

MODELO DE SIMULAÇÃO PARA GESTÃO DA CAPACIDADE AEROPORTUÁRIA

Antonio Rodolfo Araujo Marcos

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRN
Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal-RN
rodolfoamarcos@gmail.com

Luciano Ferreira

Escola de Administração, UFRGS
Rua Washington Luiz, 855 - Centro Histórico. Porto Alegre/ RS
Ferreira.Luciano@ufrgs.br

Resumo

A importância do setor aéreo no desenvolvimento de uma região e o crescimento da demanda aérea brasileira implica na necessidade de uma gestão dos aeroportos eficiente, visando o equilíbrio entre a capacidade de um aeroporto e a demanda aérea. Diante disso, o artigo apresenta um modelo em Dinâmica de Sistemas capaz de auxiliar a gestão aeroportuária brasileira no dimensionamento dos subsistemas de um aeroporto (Terminal de Passageiros, Pistas e Pátio). Utilizando os dados sobre demanda aérea de passageiros, percentual de voos domésticos e do tamanho médio das aeronaves este trabalho analisou a situação de quatro aeroportos brasileiros. Por fim, através da comparação dos dados da simulação com o da capacidade instalada, analisou a necessidade de alterar a capacidade dos subsistemas dos aeroportos estudados.

Palavras-chave: Aeroporto. Dinâmica de Sistemas. Capacidade.

Abstract

The importance of the aviation sector in the development of a region and the growth of the Brazilian airline demand implies the need for an efficient management of airports, aiming at a balance between the capacity of an airport and airport demand. Thus, this paper presents a System Dynamics model able to assist airport management in Brazilian sizing subsystems an airport (Passenger Terminal, Runway and Patio). Using data on air passenger demand, percentage of domestic flights and the average size of aircraft, this work analyzed the situation of four airports. Finally, by comparing the simulation data with the installed capacity, examined the need to alter the capacity of some subsystem of the airports studied.

Keywords: Airport. System Dynamics. Capacity.

1. Introdução

Desde a sua criação os meios de transporte se tornaram essenciais para o deslocamento de pessoas e objetos, se associando diretamente com o crescimento econômico das nações. Diante das condições de rapidez no deslocamento das pessoas e das cargas, e da relação custo/benefício, quando comparado com outros tipos de transporte, o transporte aéreo se popularizou no Brasil. Com o crescimento do setor aéreo, influenciado por diversos fatores, as administrações dos aeroportos e das companhias aéreas se tornaram um dos principais desafios para o desenvolvimento brasileiro.

O transporte aéreo apresenta características que o torna um setor estratégico, tanto para o governo como para analistas setoriais. Para Salgado, Vassalo e Oliveira (2010) as características que mais qualificam o setor aéreo como estratégico no Brasil são: a inserção internacional do país, a integração e desenvolvimento regional, a posição no Mercosul e América Latina, a importância na economia, os impactos no crescimento econômico, a interação com a indústria aeronáutica nacional, a qualificação da mão-de-obra e a geração de investimentos.

O setor aéreo brasileiro apresentou um grande crescimento nos últimos anos, segundo Infraero (2013), a movimentação de passageiros e o fluxo de aeronaves apresentam um crescimento acumulado entre 2003 e 2012 de, respectivamente, 169% e 70,3%. O estudo realizado pela McKinsey & Company (2010) corrobora com a tendência de crescimento do setor, apontando que até 2030, serão necessários investimentos para aumentar a capacidade atual em 2,4 vezes, ou seja, aumentar a capacidade de 130 milhões para 310 milhões de passageiros por ano. No cenário atual, também aponta que os aeroportos de Guarulhos, Viracopos e Congonhas concentram mais de 80% da margem operacional entre os aeroportos da Infraero, auxiliando a subsidiar os 39 aeroportos deficitários administrados pela estatal.

Portanto, o assunto capacidade aeroportuária consiste em uma das grandes preocupações no gerenciamento de aeroportos no Brasil. Nos últimos anos, diferentes trabalhos acadêmicos tem sido desenvolvidos sobre o tema, a Tabela 1 apresenta uma síntese dos modelos quantitativos desenvolvidos sobre gestão aeroportuária, bem como os métodos utilizados pelos modelos quantitativos para gestão aeroportuária. O método DEA (do inglês, Data Envelopment Analysis) é visivelmente o mais utilizado, tanto em trabalhos realizados por pesquisadores brasileiros, como por pesquisadores estrangeiros. A Dinâmica de Sistemas vem sendo utilizada recentemente em modelos de simulação para gestão aeroportuária, especialmente em trabalhos que procuram confrontar a demanda com a capacidade instalada (ou capacidade a ser instalada), projetar o crescimento do setor e avaliar cenários futuros.

Um dos primeiros trabalhos analisados durante o desenvolvimento desta pesquisa foi de autoria de Miller e Clarke (2007), onde os autores avaliaram o valor estratégico da infraestrutura de transporte aéreo, como uma alternativa para apoiar a aplicação dos investimentos necessários para expansão de capacidade. Mais tarde, Manataki e Zógrafos (2009) desenvolveram um modelo para o aeroporto internacional de Atenas com objetivo de encontrar o equilíbrio entre a demanda e a configuração física dos terminais. Mais recentemente, Suryani, Chou e Chen (2010) utilizaram o método para prever a demanda futura de passageiros e avaliar a capacidade da pista e do terminal de passageiros do aeroporto de Taiwan para suportar seu crescimento em longo prazo. Por último, Suryani, Chou e Chen (2012) apresentaram um modelo de previsão da demanda e avaliação da capacidade do terminal de cargas.

Ao analisar os trabalhos brasileiros publicados sobre o tema, tanto em periódicos do Brasil, como do exterior, verifica-se que os mesmos não consideram a avaliação e o crescimento do setor em longo prazo, são limitados a determinados recortes temporais e a dados históricos e não fazem projeções futuras. O objetivo deste trabalho é ampliar o escopo dos trabalhos prévios sobre avaliação de capacidade dos aeroportos e adaptá-los para a realidade brasileira, considerando que a capacidade aeroportuária deve ser explicada através das seguintes dimensões: Terminal de Passageiros, Pista e Pátio, como defendem Carvalho (2006), Honrojeff *et al.* (2010),

Ashford, Mumayiz e Wright (2011), e Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) por meio de suas resoluções.

Tabela 1 – Trabalhos relacionados

Método	Autores
DEA	Gillen e Lall (1997); Martín e Román (2001; 2006); Fernandes e Pacheco (2002; 2003; 2007); Sarkis e Talluri (2004); Pacheco, Fernandes e Santos (2006); Almeida, Mariano, Rebelatto (2007); Barros e Dieke (2008); Curi, Gitto e Mancuso (2010); Yu (2010); Pires e Fernandes (2012), Wanke (2012)
Multicritério	Yeh e Yuo (2003); Mello et al. (2005); Kiyildi e Karasahin (2008); Fernandes e Pacheco (2010); Kuo e Liang (2011)
Programação Linear	Gilbo (1993)
Método Estatístico	Hooper e Hensher (1997), Oum, Yu e Fu (2003); Correia, Wirasinghe, Barros (2008); Marazzo, Scherre e Fernandes (2010); Assaf, Gillen e Barros (2012)
Simulação	Miller e Clarke (2007), Manataki e Zografos (2009; 2010); Suryani, Chou e Chen (2010), Suryani, Chou e Chen (2012)

Fonte: Elaborado pelos autores

A Dinâmica de Sistemas é um método que vêm sendo utilizados recentemente na área de gestão de aeroportos. Um dos primeiros trabalhos publicados nessa área foi de autoria de Miller e Clarke (2007), onde os autores utilizaram a Dinâmica de Sistemas juntamente com a Simulação de Monte Carlo para desenvolver e ilustrar uma metodologia com objetivo de avaliar o valor estratégico da infraestrutura de transporte aéreo, em particular, os benefícios associados à capacidade de reagir rapidamente às mudanças no mercado. Mais tarde, Manataki e Zógrafos (2009) desenvolveram um modelo para o aeroporto internacional de Atenas com objetivo de encontrar um equilíbrio entre a demanda e a configuração física dos terminais. Mais recentemente, Suryani, Chou e Chen (2010) utilizaram o método para analisar e prever a demanda futura de passageiros relacionada com a capacidade da pista e do terminal de passageiros para suportar o crescimento no longo prazo, no contexto aeroportuário de Taiwan.

De forma complementar aos trabalhos anteriormente citados, este artigo apresenta um modelo em Dinâmica de Sistemas capaz de auxiliar no dimensionamento da capacidade dos aeroportos, tanto em relação à capacidade das pistas, como em relação à capacidade do terminal de passageiros e do pátio de estacionamento das aeronaves, a partir da demanda por passagens aéreas, percentual de voos domésticos e do tamanho médio das aeronaves. A perspectiva de avaliar a capacidade dos aeroportos brasileiros a médio e longo prazo motiva-se tanto pelas suas implicações para o desenvolvimento do país como pela carência do desenvolvimento de modelos quantitativos para apoiar a tomada de decisão no setor.

O restante deste trabalho está estruturado da seguinte forma: na seção 2 são apresentados os conceitos referentes à Dinâmica de Sistemas; na seção 3 apresenta-se o modelo desenvolvido para gestão da capacidade, juntamente com os principais conceitos envolvidos; na seção 4 apresentam-se os resultados obtidos na avaliação dos quatro maiores aeroportos brasileiros; e, por fim, a seção 5 está reservada para as conclusões e considerações finais.

2. Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de Sistemas foi inicialmente publicada no livro *Industrial Dynamics* de autoria do engenheiro electricista Jay Forrester em 1961. Nessa publicação Forrester (1961) apresentou as ideias sobre o método, segundo Fernandes (2003) foi demonstrado como a estrutura de um sistema e as políticas para controlá-lo determinam o seu comportamento resultante, ou seja, foi mostrada a conexão entre decisão, estrutura do negócio e desempenho.

Como um método inicialmente criado para uso no setor industrial, a dinâmica de sistemas pode ser definida como uma forma de estudar o comportamento dos sistemas industriais para mostrar como diretrizes, decisões, estruturas e retardos se inter-relacionam para influenciar o crescimento e a estabilidade (FORRESTER, 1961). Além disso, a Dinâmica de Sistemas tem a

capacidade de representar a complexidade do mundo real aceitando a complexidade, a não linearidade, e estruturas de loop de *feedback* que são inerentes a sistemas sociais e físicos (FORRESTER, 1994).

A Dinâmica de sistemas não está interessada, em geral, em valores precisos, em um determinado instante de tempo para as variáveis de um sistema, dado que seu foco principal são tendências dinâmicas do sistema. O objetivo é saber se o sistema é estável ou instável, se ele tende a crescer, a oscilar, a declinar ou se tende ao equilíbrio (STERMAN, 2000).

O elemento essencial na construção do modelo de Dinâmica de Sistemas é o Diagrama Causal (ou de Diagrama de Enlace Causal). Os diagramas causais, para Sterman (2000), são excelentes para capturar rapidamente as hipóteses sobre as causas da dinâmica, identificar e capturar o modelo mental de indivíduos ou equipes, e comunicar importantes *feedbacks* que são responsáveis pelo problema.

Um Diagrama Causal consiste de variáveis conectadas por setas denotando influências causais entre as variáveis, ou seja, o diagrama causal é uma representação qualitativa das relações de causa e efeito entre as variáveis. Existem dois tipos de enlace de *feedback*: positivo ou reforçador e negativo ou balanceador. As variáveis são conectadas por setas que apresentam a relação (positiva ou negativa) existente entre elas. Em uma relação positiva, aumento numa variável implica no crescimento da outra. Entretanto, se a relação for negativa, o efeito é contrário, a causa do aumento na variável terá como efeito a redução da variável relacionada.

O Diagrama Causal deve ser representado na forma de Diagrama de Estoque e Fluxo para ser possível estabelecer as relações quantitativas entre as variáveis do sistema e realizar a simulação em Dinâmica de Sistemas. Nessa perspectiva, Andrade (1997) afirma que qualquer sistema pode ser descrito em um Diagrama de Estoque e Fluxo, numa linguagem composta de quatro elementos:

- a) estoques (*stocks* ou níveis): representam as acumulações de um recurso;
- b) fluxos (*flows*): são atividades que produzem crescimento ou redução dos estoques, o movimento de materiais e a informação dentro do sistema;
- c) auxiliares (conversores e constantes): são componentes para a realização de operações algébricas, que processam informações a respeito dos estoques e fluxos ou representam fontes de informação externas ao sistema;
- d) conectores: são *links* de informação que descrevem a relação entre estoques, fluxos e auxiliares.

3. Formalização do modelo proposto

Esta seção apresenta em detalhes a formalização do modelo de simulação proposto neste trabalho para avaliação da capacidade dos aeroportos brasileiros, conforme etapas metodológicas descritas em Sterman (2000).

Inicialmente, foram realizadas entrevistas com especialistas do setor e uma extensiva pesquisa bibliográfica sobre os principais trabalhos publicados na área de modelo quantitativos para gestão aeroportuária, cujo objetivo foi entender o funcionamento do setor e identificar possíveis lacunas existentes, conforme sistematização previamente apresentada na Tabela 1. Após, dados da Infraero (2013), ANAC (2007) e consultorias realizadas no setor (ver, por exemplo, Mckinsey & Company (2010)) foram analisados e sistematizados. Com isso, foi possível identificar o principal alvo desta pesquisa: a avaliação da capacidade dos aeroportos brasileiros em médio e longo prazo frente a crescente demanda do setor. Nesta etapa também foram identificadas as variáveis-chaves para o modelo de simulação e o horizonte de tempo da análise.

As principais variáveis-chaves elencadas durante o estudo e elaboração do modelo de simulação foram as seguintes: demanda anual de passageiros, capacidade do terminal de passageiros, capacidade das pistas e capacidade do pátio de um aeroporto. Já o horizonte de tempo estabelecido para validar o modelo de simulação, compreendeu os anos de 2005 a 2015, pela disponibilidade de dados para confrontar com os resultados gerados pelo modelo. Para os a prospecção de cenários e análises futuras, considerou-se o ano de 2030 como o marco final, em

função da finalização das obras previstas para o setor e também pelas previsões de crescimento da demanda. Após estas etapas, o modelo pode ser utilizado livremente para qualquer tipo de projeção e análise que se queira realizar, dado que todas as relações e suposições metodológicas conduzidas foram validadas.

Nesta etapa também foi definido o escopo do conceito de capacidade aeroportuária, definida neste trabalho como sendo a capacidade de cada um dos subsistemas que compõe um aeroporto, ou seja, capacidade do terminal de passageiros, capacidade da pista e capacidade do pátio de estacionamento das aeronaves, conforme trabalhos prévios analisados, tais como Carvalho (2006), Honrojeff *et al.* (2010), Ashford, Mumayiz e Wright (2011), Infraero (2013) e Anac (2007).

3.1. Diagrama Causal

O Diagrama de Enlace Causal representa as principais relações e laços reforçadores do sistema analisado. A demanda de passageiros é o elemento central do Diagrama Causal projetado neste trabalho, dado que o objetivo do atual modelo é atender completamente a demanda de passageiros em níveis adequados de serviço. A Figura 1 apresenta o Diagrama Causal desenvolvido, o qual está dividido em três sub-modelos: subsistema Terminal de Passageiros, subsistema Pista e subsistema Pátio.

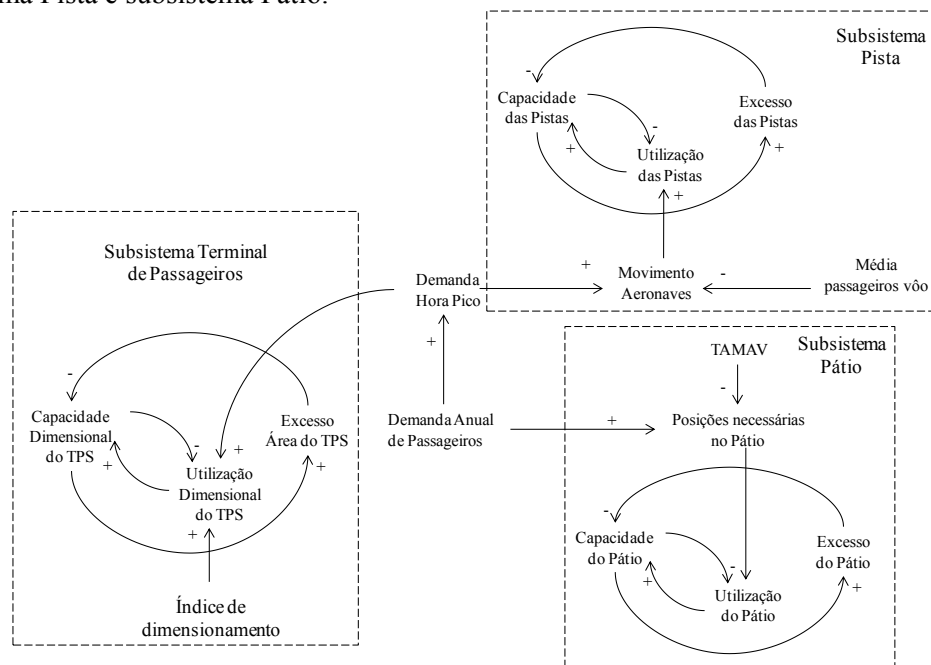


Figura 1 – Diagrama Causal

Fonte: Autores

As setas no Diagrama Causal representam uma polaridade (positiva ou negativa) para indicar o sentido da mudança na variável dependente. No modelo apresentado na Figura 1 há dois *loopings* em cada sub-modelo para manter o sistema em equilíbrio, seu objetivo é balancear a capacidade de cada subsistema em função da demanda, conforme descrito a seguir:

$$\begin{array}{l}
 \text{Excesso de Capacidade do Subsistema} \xrightarrow{-} \text{Capacidade do Subsistema} \xrightarrow{+} \text{Excesso de Capacidade} \\
 \text{do Subsistema} \\
 \text{Capacidade do Subsistema} \xrightarrow{-} \text{Utilização} \xrightarrow{+} \text{Capacidade do Subsistema}
 \end{array}$$

Na primeira situação, o excesso de capacidade do subsistema influencia negativamente a capacidade do sistema, ou seja, quando há excesso de capacidade (sistema sub-utilizado) o modelo busca diminuir a capacidade do subsistema e quando não há excesso de capacidade (sistema super-utilizado), o modelo busca aumentar a capacidade do subsistema; por outro lado, a capacidade do subsistema influencia positivamente o excesso, ou seja, sempre que a capacidade do sistema for ultrapassada (utilização maior que 100%), o excesso de capacidade deve ser aumentado, caso contrário, o excesso de capacidade deve ser diminuído. Na segunda situação, a capacidade do subsistema influencia negativamente sua utilização, ou seja, sempre que aumentar a capacidade, a utilização tende a diminuir; por outro lado, a utilização influencia positivamente a capacidade do subsistema, ou seja, quando aumenta a utilização, o modelo procura o equilíbrio e tende a aumentar a capacidade do subsistema.

3.2. Diagrama de Estoque e Fluxo

A construção do Diagrama de Estoque e Fluxo foi realizado através do software *iThink*[®], utilizando como base o Diagrama Causal apresentada na seção anterior. O modelo desenvolvido segue os pressupostos metodológicos dos trabalhos de Carvalho (2006), Medeiros (2004), Miller e Clarke (2007) e Suryani, Chou e Chen (2010).

Inicialmente, o modelo prevê, em cada sub-modelo, uma estrutura lógica para ajustar a capacidade dos subsistemas. Esta estrutura representa a variável *Capacidade Atual* como um *estoque*, cujo valor inicial é pré-definido pelo usuário, a partir de 1, além de um fluxo de entrada (*Aumentar Capacidade*) e um fluxo de saída (*Diminuir Capacidade*) que são responsáveis por ajustar a capacidade, conforme o valor da variável *Utilização*, conforme Equações 1 e 2.

$$\begin{aligned} \text{Aumentar Capacidade} &= \text{Se Utilização} > 1 \text{ Então } (\text{Capacidade Atual} * \text{Utilização})/n \\ \text{Senão } &0 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Diminuir Capacidade} &= \text{Se Utilização} \leq 1 \text{ Então } (\text{Capacidade Atual} * (1 - \\ \text{Utilização}))/n \text{ Senão } &0 \end{aligned} \quad (2)$$

De acordo com a Equação 1, sempre que a utilização foi maior do que 1, a capacidade deve ser aumentada, então o fluxo de entrada aumentar capacidade é atualizado com o valor da multiplicação da capacidade atual pela utilização, caso contrário, quando a utilização for menor do 1, o fluxo de entrada é atualizado com o valor zero e a capacidade permanecerá com o mesmo valor. O denominador destas equações (*n*) é utilizado para suavizar a convergência da capacidade para seu valor ótimo e, também, para evitar mudanças abruptas no seu valor. Após a atualização dos valores dos fluxos de entrada e saída, são atualizados os valores da capacidade atual e da utilização do sub-modelo em análise, conforme Equações 3 e 4.

$$\text{Capacidade Atual} = \text{Aumentar Capacidade} - \text{Diminuir Capacidade} + \text{Capacidade Atual} \quad (3)$$

$$\text{Utilização} = \text{Demanda} / \text{Capacidade Atual} \quad (4)$$

O Diagrama de Estoque e Fluxo completo é apresentado na Figura 2, cada um dos sub-modelos são descritos a seguir. O Terminal de Passageiros é responsável por interligar o lado terrestre com o lado aéreo do aeroporto. Ainda, o Terminal de Passageiros (TPS) é a edificação onde os passageiros realizam todo o processo de embarque e desembarque (ASHFORD, MUMAYIZ e WRIGHT, 2011). O método utilizado neste trabalho para estimar a capacidade do terminal de passageiros está definido em Medeiros (2004), onde há a definição de um índice global para dimensionar o terminal de passageiros, em metros quadrados. Este índice considera a classe na qual o aeroporto pertence (internacional, doméstico ou regional) e o nível de serviço estabelecido para atender os passageiros (alto, bom ou regular), conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Área Total do TPS

Nível de Serviço	Tipo de aeroporto		
	Internacional	Doméstico	Regional
Alto	25,00	18,00	15,00
Bom	22,00	15,00	12,00
Regular	18,00	12,00	10,00

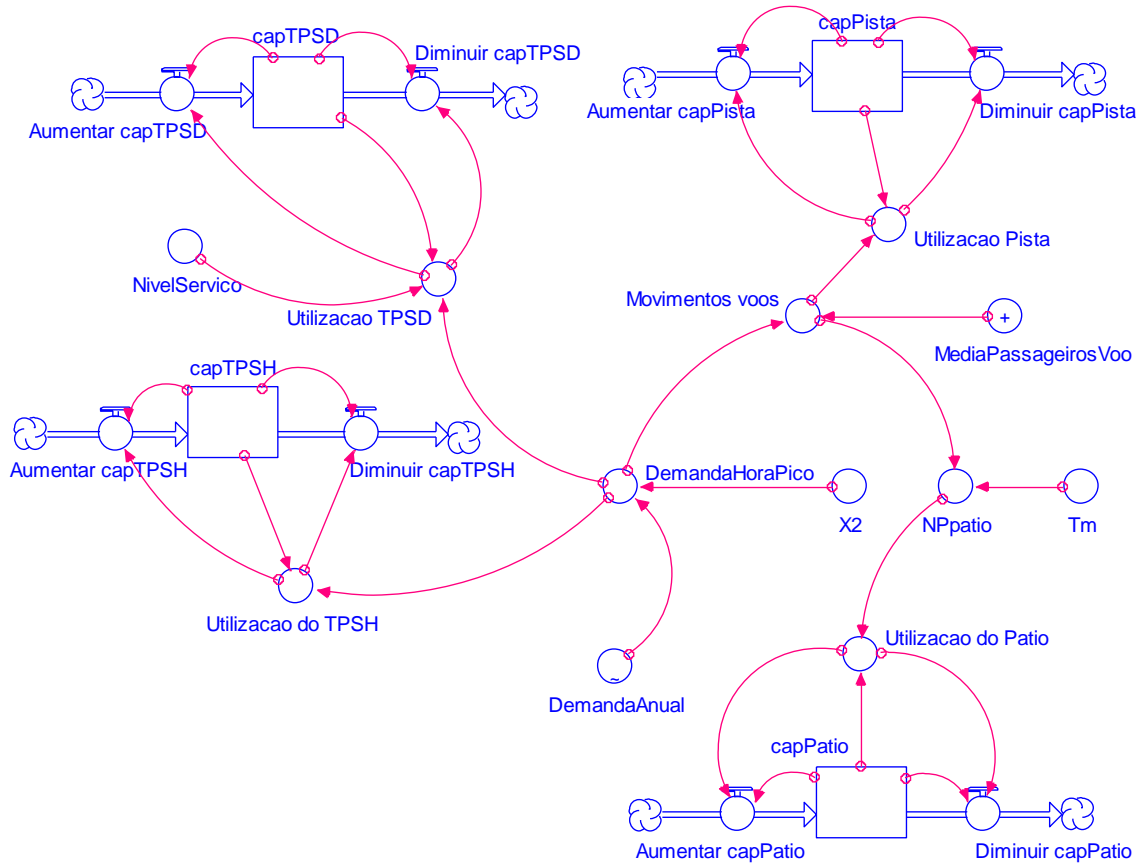


Figura 2 – Modelo proposto em Dinâmica de Sistemas

Fonte: Elaborado no *iThink* pelos autores

A partir destas variáveis, a capacidade do TPS de passageiros, em metros quadrados, pode ser estimada através da seguinte formalização:

$$Capacidade\ Atual\ TPS\ Dimensional = \frac{Demanda\ Hora\ Pico * Índice\ de\ dimensionamento}{Utilização\ do\ TPS\ Dimensional} \quad (5)$$

onde, o índice de dimensionamento é escolhido pela Tabela 6. A demanda de passageiros na hora-pico foi escolhida por representar o período de tempo com maior utilização dos serviços aéreos, sendo essencial para avaliar o nível adequado de atendimento dos serviços, pois possibilita estudar o sistema sob condições limite, onde diversos problemas podem ocorrer, tais como congestionamentos, filas, atrasos, entre outras situações.

Wang (1999) realizou um estudo com 48 aeroportos brasileiros administrados pela Infraero para determinar a demanda hora-pico de projeto dos aeroportos. A partir deste trabalho, o autor define, matematicamente, a demanda hora-pico dos aeroportos brasileiros através da Equação 6.

$$Demanda\ Hora\ Pico = 109,18 + 0,00043 * Demanda\ Anual\ de\ Passageiros \quad (6)$$

O subsistema Pistas envolve exclusivamente o lado aéreo do aeroporto. A capacidade da pista é definida pela quantidade de movimentos (pousos e decolagens de aeronaves) por hora, conforme Gilbo (1993) e Reynolds-Feighan e Button (1999). A Infraero considera o método criado pelo órgão norte-americano *Federal Aviation Administration* (FAA) para calcular a capacidade do sistema de pistas dos aeroportos brasileiros, onde a capacidade das pistas é dada em função da quantidade máxima de movimentos em uma hora. Dessa forma, o cálculo da capacidade da pista pode ser formulado como segue:

$$\text{Capacidade Atual Pistas} = \frac{\text{Movimentos na hora pico}}{\text{Utiliza o Pistas}} \quad (7)$$

Onde

$$\text{Movimentos na hora pico} = \frac{\text{Demanda Hora Pico}}{\text{Passageiros por Voo}}$$

O Pátio de um aeroporto é responsável pela ligação entre o lado terrestre e lado aéreo do aeroporto e onde ocorre a transferência de passageiros e cargas entre esses lados do aeroporto. No pátio, onde ficam estacionadas as aeronaves, a capacidade é definida pela quantidade de posições de estacionamento de aeronaves, conforme defendem Ashford, Mumayiz e Wright (2011).

O número de posições no pátio de estacionamento é diferente do número de movimentos na pista (ASHFORD *et al.*, 1984). A capacidade da pista resultante da Equação 7 corresponde ao somatório do número de pousos e decolagens na hora-pico. Dessa forma, como cada aeronave pousa e decola, têm-se dois movimentos para o aeroporto, mas requer apenas uma operação no pátio. O projeto de um pátio de estacionamento deve considerar, portanto, o maior número dentre pousos e decolagens (HORONJEFF *et al.*, 2010). Dessa forma, pode-se formalizar o número de posições de estacionamento de um aeroporto como:

$$\text{Capacidade Atual Patio} = \frac{\text{Posi es Necess rias do P tio}}{\text{Utiliza o do P tio}} \quad (8)$$

onde,

$$\text{Posi es Necess rias do P tio} = \frac{V * T_m}{60 * U}$$

onde, V é movimento máximo de aeronaves na hora-pico, U é utilização do pátio de estacionamento e T_m é o tempo médio, em minutos, de ocupação do pátio de estacionamento pelas aeronaves.

4. Experimentos com o modelo

Esta seção apresenta um conjunto de experimentos realizados com o modelo para demonstrar sua validade e sua adequabilidade como uma ferramenta de avaliação da capacidade dos aeroportos brasileiros. Os experimentos realizados com o modelo proposto utilizaram os parâmetros apresentados na Tabela 3, os quais foram obtidos através das estatísticas publicadas pela Infraero e Anac correspondente ao período analisado, pelo estudo da Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros (2015) e estatísticas obtidas a partir das publicações da Infraero.

Foram selecionados os três maiores aeroportos brasileiros para experimentos com o modelo, a saber: Aeroporto Internacional de Guarulhos (SBRG), Aeroporto Internacional do Galeão (SBGL) e Aeroporto Internacional de Brasília (SBBR).

Parâmetros	Unidade	SBRG	SBGL	SBBR
Demanda Anual de Passageiros	Passageiros/ano	52.991.700,10	11.633.576,36	11.831.112,50
Passageiros por voo	Passageiros	180	105	144
TAMAV Doméstico	-	134	139	136
TAMAV Internacional	-	211	211	106

Tabela 3 – Parâmetros do modelo (média 2003-2014)

O modelo de simulação foi executado várias vezes para os parâmetros de entrada, possibilitando estabelecer um diagnóstico dos aeroportos que foram objeto de estudo. A partir dos resultados obtidos para cada aeroporto têm-se os valores médios de capacidade para cada subsistema no período analisado e as capacidades nominais referentes, conforme Tabela 4. Onde os resultados consideram uma taxa de crescimento da demanda de passageiros no Brasil de 5% ao ano, considerando apenas a avaliação mais conservadora dos analistas do setor aéreo. Quando se considera um crescimento de 11% para a demanda de passageiros, correspondente ao crescimento médio da movimentação de passageiros nos aeroportos brasileiros nos últimos dez anos, todos os subsistemas extrapolam a utilização máxima permitida.

Subsistema x Aeroporto	Pista			Terminal de Passageiros			Pátio		
	Previsto	Simulado	Utilização	Previsto(m ²)	Simulado(m ²)	Utilização	Previsto	Simulado	Utilização
Brasília	44	46	1,05	80.000	173.619	2,17	40	68	1,70
Galeão	40	44	1,10	280.681	126.203	0,45	62	60	0,97
Guarulhos	45	50	1,11	175.000	213.979	1,22	61	72	1,18

Tabela 4 – Resultado da simulação para cenário futuro

Analisando a situação desses aeroportos, pode-se verificar que, na hora-pico, praticamente todos os subsistemas dos aeroportos analisados precisam ampliar a capacidade. O Terminal de Passageiros e o Pátio, pela ordem, são os subsistemas em situação mais crítica, enquanto que o subsistema Pista apresentou melhor dimensionado para atender a demanda na hora-pico, mesmo assim, com utilização acima da capacidade. Essas limitações provocam atrasos e diminuição dos níveis de serviços prestados.

Após, analisou-se a situação dos aeroportos que fazem parte da amostra deste trabalho para verificar a evolução da utilização dos seus subsistemas até o ano de 2030. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5. A idéia foi verificar até que ponto a capacidade atual destes aeroportos consegue suportar o crescimento anual de 5% da demanda anual de passageiros. De acordo com os dados da Tabela 5, o Pátio e o Terminal de Passageiros do aeroporto de Brasília já estavam com sua capacidade esgotada em 2013, enquanto que a Pista tem capacidade suficiente para atender a demanda até o ano de 2026. O aeroporto do Galeão apresenta-se em situação mais confortável, pois a Pista tem capacidade suficiente para atender a demanda até 2025, o Pátio até 2026 e o Terminal de Passageiros tem capacidade suficiente para atender a demanda até 2030 na demanda hora-pico projetada. Por fim, o aeroporto de Guarulhos apresenta a Pista como o subsistema em melhor situação, tendo capacidade suficiente para atender a demanda projetada até 2023, seguido do Terminal de Passageiros com capacidade suficiente até 2018 e, por último, o Terminal de Passageiros com capacidade suficiente até 2016.

5. Considerações Finais

O setor aéreo é importante para o crescimento e desenvolvimento econômico do país. Dessa maneira, a gestão dos aeroportos torna-se um elemento estratégico, sendo necessário oferecer um serviço de qualidade para os passageiros. No decorrer deste trabalho, apresentou-se a estruturação de um modelo em Dinâmica de Sistemas para avaliar a capacidade de aeroportos na hora-pico.

O modelo em Dinâmica de Sistemas proposto neste trabalho consiste em um método formal para avaliar a capacidade dos subsistemas dos aeroportos e, assim, auxiliar a gestão aeroportuária. Contudo, devem-se considerar o pressuposto do funcionamento do aeroporto na hora-pico no qual o modelo foi construído ao decidir sobre as melhores ações a serem realizadas na alteração da capacidade dos subsistemas do aeroporto.

Portanto, pode-se inferir, a partir dos experimentos e das análises comparativas realizadas com os dados produzidos, que o modelo apresentado neste trabalho pode ser utilizado como uma

boa ferramenta de apoio no planejamento do sistema aeroportuário proporcionando adequações na capacidade dos subsistemas dos aeroportos. Entre os trabalhos futuros estão a realização de experimentos com dados de outros aeroportos brasileiros, a modelagem da demanda uma variável não determinística e a validação do modelo com especialistas do setor.

Tabela 5 – Resultado da simulação para cenário futuro

Ano	Brasília			Galeão			Guarulhos		
	Pista	Pátio	TPS	Pista	Pátio	TPS	Pista	Pátio	TPS
2013	0.73	1.08	1.49	0.73	0.61	0.28	0.77	0.70	0.84
2014	0.74	1.25	1.57	0.75	0.87	0.30	0.79	0.80	0.89
2015	0.76	1.38	1.67	0.77	0.73	0.32	0.81	0.87	0.94
2016	0.78	1.39	1.63	0.79	0.74	0.31	0.83	1.14	0.92
2017	0.81	1.19	1.71	0.81	0.76	0.33	0.86	0.99	0.97
2018	0.83	1.32	1.84	0.84	0.66	0.35	0.88	0.95	1.04
2019	0.85	1.34	1.77	0.86	0.85	0.34	0.90	1.11	1.00
2020	0.87	1.45	1.87	0.88	0.83	0.36	0.93	0.93	1.06
2021	0.89	1.32	2.03	0.90	0.78	0.39	0.95	1.02	1.14
2022	0.92	1.35	1.93	0.93	0.97	0.37	0.97	1.23	1.09
2023	0.94	1.66	2.06	0.95	0.81	0.39	1.00	1.06	1.16
2024	0.96	1.56	2.01	0.98	0.93	0.38	1.03	1.20	1.13
2025	0.99	1.53	2.11	1.00	0.91	0.40	1.05	1.22	1.19
2026	1.02	1.75	2.26	1.03	1.03	0.43	1.08	1.10	1.27

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pelo auxílio financeiro para realização desta pesquisa, processo número 472897/2013- 6 e a CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Referências

- ANAC. Disponível em: <<http://anac.gov.br/>>. Acesso em: 02. abril. 2013.
- ANDRADE, A. L. (1997). Pensamento sistêmico: um roteiro básico para perceber as estruturas da realidade organizacional. READ, v. 3, n. 1.
- ASHFORD, N.; MUMAYIZ, S.; WRIGHT, P. H. (2011) Airport Engineering: Planning, Design, and Development of 21st Century Airports. John Willey & Sons. New York, 4ª ed.
- CARVALHO, B. G. (2006). Uma metodologia para obtenção de um diagnóstico dos principais aeroportos no Brasil através da avaliação da demanda e capacidade. Tese de Doutorado. São José dos Campos: ITA.
- CORREIA, A. R.; WIRASINGHE, S. C.; BARROS, A. G. (2008). Overall level of service measures for airport passenger terminals. Transportation Research Part A, v. 42, p. 330-346.
- FERNANDES, A. C. (2003). Scorecard Dinâmico – em direção a integração da Dinâmica de Sistemas com o Balanced Scorecard. Tese de Doutorado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.
- FERNANDES, E.; PACHECO, R. R. (2010). A quality approach to airport management. Quality & Quantity, v. 44, p. 551-564.
- FORRESTER, J. W. (1961). Industrial Dynamics. Cambridge, MIT Press.
- FORRESTER, J. W. (1994). System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR. System Dynamics Review, v. 10, nº 2, p. 1-14.
- GILBO, E. P. (1993). Airport Capacity: Representation, Estimation, Optimization. IEEE Transactions on Control Systems Technology, v. 1, n. 3.
- HORONJEFF, R.; MCKELVEY, F. X.; SPROULE, W. J.; YOUNG, S. B. (2010). Planning and Design of Airports. McGraw Hill: 5ª Edição.

- INFRAERO.** Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/>>. Acesso em: 02. abril. 2013.
- INSTITUTO DE AVIAÇÃO CIVIL.** (2005) Estudo de Demanda Detalhada dos Aeroportos Brasileiros. Rio de Janeiro, vol. 1.
- KUO, M. S.; LIANG, G. S.** (2011). Combining VIKOR with GRA techniques to evaluate service quality of airports under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, v. 38, p. 1304-1312.
- MANATAKI I. E., ZOGRAFOS, K. G.** (2009). A generic system dynamics based tool for airport terminal performance analysis. *Transportation Research Part C*, v. 17, p. 428-443.
- MANATAKI I. E., ZOGRAFOS, K. G.** (2010). Assessing airport terminal performance using a system dynamics model. *Journal of Air Transport Management*, v. 16, p. 86-93.
- MARAZZO, M.; SCHERRE, R.; FERNANDES, E.** (2010). Air transport demand and economic growth in Brazil: A time series analysis. *Transportation Research Part E*, v. 46, p. 261-269.
- MCKINSEY & COMPANY.** (2010). Estudo do Setor de Transporte Aéreo do Brasil. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.
- MEDEIROS, A. G. M.** (2004). Um método para dimensionamento de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros. Dissertação de Mestrado. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica.
- MILLER, B.; CLARKE, J. P.** (2007). The hidden value of air transportation infrastructure. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 74, p. 18-35.
- OUM, T. H.; YU, C.; FU, X.** (2003). A comparative analysis of productivity performance of the world's major airports: summary report of the ATRS global airport benchmarking research report – 2002. *Journal of Air Transport Management*, v. 9, p. 285-297.
- PACHECO, R. R.; FERNANDES, E.; SANTOS, M. P. S.** (2006). Management style and airport performance in Brazil. *Journal of Air Transport Management*, v. 12, p. 324-330.
- REYNOLDS-FEIGHAN, A. J.; BUTTON, K. J.** (1999). An assessment of the capacity and congestion levels at European Airports. *Journal of Air Transport Management*, v. 5, p. 113-134.
- SALGADO, L. H.; VASSALLO, M.; OLIVEIRA, A.** (2010). Regulação, Políticas Setoriais, Competitividade e Formação de Preços: Considerações sobre o Transporte Aéreo no Brasil. *Revista de Literatura dos Transportes*, v. 4, p. 7-48.
- STERMAN, J. D.** (2000) *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for a Complex World*. USA: McGraw-Hill Higher Education.
- SURYANI, E., CHOU, S. Y.; CHEN, C. H.** (2010). Air passenger demand forecasting and passenger terminal capacity expansion: A system dynamics framework. *Expert Systems with Applications*, v. 37, p. 2324–2339.
- TCU – Portal de Fiscalização da Copa 2014.** Disponível em: <<http://portal2.tcu.gov.br/portal/page/portal/TCU/copa2014/documentos>>. Acesso em: 30. novembro. 2012.
- WANG, P. T., PITFIELD, D. E.** (1999). The derivation and analysis of the passenger peak hour: an empirical application to Brazil. *Journal of Air Transport Management*, v. 5, p.135-141.
- WANKE, P. F.** (2012). Capacity shortfall and efficiency determinants in Brazilian airports: Evidence from bootstrapped DEA estimates. *Socio-Economic Planning Sciences*, v. xxx, p. 1-14.
- YEH, C. H.; KUO, Y. L.** (2003). Evaluating passenger services of Asia-Pacific international airports. *Transportation Research Part E*, v. 39, p. 35-48.
- ZHANG, B.; WANG, J.; LIU, C.; ZHAO, Y.** (2012). Evaluating the technical efficiency of Chinese airport airside activities. *Journal of Air Transport Management*, v. 20, p. 23-27.