

MODELO EM DINÂMICA DE SISTEMAS PARA GESTÃO DA CAPACIDADE DOS AEROPORTOS BRASILEIROS

Antonio Rodolfo Araujo Marcos¹

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção¹, UFRN
Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal-RN
rodolfoamarcos@gmail.com

Luciano Ferreira^{1,2}

Escola de Ciências e Tecnologia², UFRN
Avenida Senador Salgado Filho, 3000, Lagoa Nova, Natal-RN
ferreira@ufrnet.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. A capacidade aeroportuária pode ser explicada através das seguintes dimensões: Terminal de Passageiros, Pista e Pátio, dependentes da movimentação de passageiros e aeronaves no aeroporto, como defendem Carvalho (2006), Honrojeff *et al.* (2010), Ashford, Mumayiz e Wright (2011), e Infraero e Anac através das suas resoluções.

Os estudos acadêmicos realizados sobre o tema gestão de aeroportos apresentam dois tipos: qualitativos e quantitativos. As pesquisas qualitativas, prioritariamente, realizam análises comparativas entre os aeroportos ou realizam um histórico para projetar os desafios do setor para a região ou país. Enquanto as pesquisas quantitativas focam nos métodos de avaliação de desempenho operacional e financeiro de um determinado grupo de aeroportos (Pacheco, Fernandes e Santos, 2006; Wanke, 2012; Zhang *et al.*, 2012), em estudos sobre a qualidade do serviço utilizando diferentes abordagens para atingir os seus objetivos (Yeh e Kuo, 2003; Fernandes e Pacheco, 2010; Kuo e Liang, 2011), em relações estatísticas sobre variáveis do setor aéreo (Oum, Yu e Fu, 2003; Correia, Wirasinghe e Barros, 2008; Marrazo, Scherre e Fernandes, 2010), e avaliações da configuração física do aeroporto (Manataki e Zografos, 2009).

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 Zografos (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 os aeroportos brasileiros, juntamente com os principais conceitos envolvidos; na seção 4, apresentam-se os resultados do estudo de caso realizado; 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. Descrição do modelo proposto

A construção de um modelo de simulação em Dinâmica de Sistemas deve considerar, inicialmente, o levantamento das principais variáveis envolvidas no problema, dessa forma, considerando o escopo deste trabalho, foi necessário levantar e compreender as variáveis que estão relacionadas à capacidade de um aeroporto e seu comportamento diante da demanda de passageiros.

O termo capacidade, em linhas gerais, refere-se a um valor quantitativo que indica o fornecimento de um serviço por um determinado período de tempo. Assim, a capacidade de um aeroporto é analisada com o propósito de conduzir análises da capacidade e demanda para avaliar as necessidades de instalações aeroportuárias, como parte do processo do plano mestre; medir objetivamente a capacidade operacional dos vários componentes do sistema aeroportuário para o tratamento de passageiros projetado e fluxos de aeronaves; e estimar os atrasos e outras manifestações de restrições de capacidade vividas no sistema em diferentes níveis de demanda (ASHFORD, MUMAYIZ E WRIGHT, 2011).

A capacidade de um aeroporto está relacionada com a capacidade de seus respectivos subsistemas. Assim, a capacidade de um aeroporto depende da capacidade do Terminal de Passageiros, Pistas e Pátio, conforme apontam Honrojeff *et al.* (2010), Ashford, Mumayiz e Wright (2011), Carvalho (2006) e os órgãos brasileiros envolvidos com o transporte aéreo – Infraero e Anac. Dessa maneira, a elaboração do modelo de simulação proposto neste trabalho contempla todos estes subsistemas.

A utilização de cada subsistema do aeroporto depende da existência da demanda de passageiros, uma vez que a principal função do aeroporto está relacionada com o transporte dos mesmos. Assim, o pleno funcionamento do aeroporto com adequados níveis de serviço requer o total atendimento da demanda de passageiros. Dessa maneira, Wang (1999) reforça a utilização da demanda hora-pico no estudo da capacidade dos subsistemas de um aeroporto.

A demanda de passageiros na hora-pico é utilizada nos modelos quantitativos para gestão aeroportuária 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 1.

$$\text{Demanda Hora Pico} = 109,18 + 0,00043 * \text{Demanda Anual de Passageiros} \quad [1]$$

No modelo proposto neste trabalho, ver Figura 1, a Demanda Hora-Pico é calculada segundo as recomendações de Wang (1999) e considera os seguintes pressupostos: depende da natureza dos voos (doméstico ou internacional) e o movimento de passageiros na hora-pico é dividido igualmente em embarque e desembarque, resultando no seguinte formulação:

$$\begin{aligned} \text{Demanda Hora Pico} \\ &= (218,26 + 0.00043 * \text{Demanda Anual de Passageiros Doméstico}) \\ &+ (218,26 + 0.00043 * \text{Demanda Anual de Passageiros Internacional}) \end{aligned}$$

A partir do levantamento das dimensões que definem a capacidade de um aeroporto, elaborou-se o diagrama causal apresentado na Figura 1. O modelo proposto contempla a capacidade do subsistema de pistas, do terminal de passageiros e do pátio de estacionamento. As seções seguintes descrevem em detalhes cada um destes módulos.

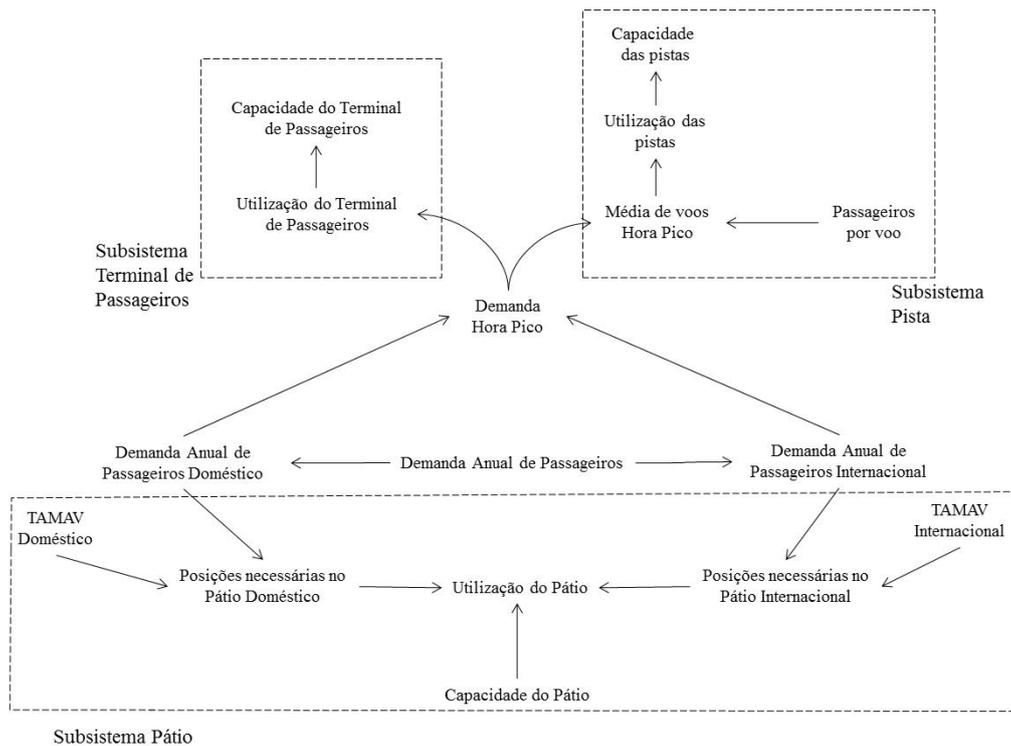


Figura 1 – Diagrama Causal
Fonte: Autores

3.1. Submodelo Terminal de Passageiros

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).

Com objetivo de proporcionar a circulação e o processamento dos serviços para os passageiros, Medeiros (2004) aponta o saguão de embarque, a sala de pré-embarque, a área para vendas e reservas de bilhetes, o *check-in*, a área para triagem e despacho de bagagens, a área de vistoria de segurança, a área de vistoria de passaportes, o saguão de desembarque, a área de restituição de bagagens, a área de desembarque internacional (imigração, área de restituição de bagagens e alfândega) como os componentes do Terminal de Passageiros.

A capacidade do terminal de passageiros utiliza a demanda de passageiros como principal variável de entrada. Assim, a partir da Demanda Anual de Passageiros encontra-se a Demanda Hora-Pico, conforme formulação apresentada previamente, e, em seguida obtém a Utilização do Terminal de Passageiros Horária pela Equação 2.

$$Utilização\ Horária\ do\ TPS = \frac{Demanda\ Hora\ Pico}{Capacidade\ Horária\ do\ TPS} \quad [2]$$

Considerando que a Capacidade do Terminal de Passageiros é avaliada em passageiros por ano, utilizou-se a Equação 3 para obter a capacidade desse subsistema em passageiros por hora, partindo do pressuposto que a capacidade é distribuída uniformemente durante as horas do dia.

$$Capacidade\ Horária\ do\ TPS = \frac{Capacidade\ do\ TPS}{365 * 24} \quad [3]$$

Outro método utilizado neste trabalho para avaliar o Terminal de Passageiros é através do modelo proposto por Medeiros (2004). Este método foi proposto para dimensionar os terminais dos aeroportos brasileiros. Para obter o dimensionamento do terminal deve ser considerada a classe na qual o aeroporto pertence (internacional, doméstico ou regional) e o nível de serviço a ser oferecido aos passageiros (alto, bom ou regular). A partir disso, encontra-se o dimensionamento adequado para o terminal de passageiros atendendo o espaço para cada passageiro na hora-pico. A determinação da Área Total do TPS é obtida pelo produto da quantidade de passageiros na hora-pico com o índice de dimensionamento (m²/pax) definido pela STBA (1983), conforme indicado na Tabela 1.

ÁREA TOTAL DO TPS			
Nível de serviço	Índices de dimensionamento (m ² /pax)		
	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

Tabela 1 – Área Total do TPS

Fonte: STBA (1983) *apud* Medeiros (2004)

Nesse trabalho será considerado apenas o nível de serviço *Bom*, uma vez que o nível *Alto* pode gerar um superdimensionamento dos componentes do TPS e o nível *Regular* não permite oscilações da demanda, além de ocasionar desconfortos aos usuários, conforme defende Carvalho (2006). Assim, a Utilização do TPS em termos dimensionais é obtida através da Equação 4.

$$\text{Utilização do TPS Dimensional} = \frac{\text{Demanda Hora Pico} * \text{Índice de dimensionamento}}{\text{Capacidade Área}} \quad [4]$$

3.2. Subsistema Pistas

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, como apontam Gilbo (1993) e Reynolds-Feighan e Button (1999), dependem das condições meteorológicas, controle de tráfego aéreo, tipo das aeronaves, natureza das operações e projeto e layout das pistas.

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, esta metodologia considera o mix de aeronaves em operação nos sistemas de pistas, o volume horário de operações de toque-arremetida, a quantidade de saídas de pistas efetivas e a determinação da capacidade horária básica. Dessa maneira, a capacidade das pistas é dada em função da quantidade máxima de movimentos em uma hora.

No Brasil, quando um aeroporto atinge um nível de utilização igual ou superior a 80% é recomendado o constante monitoramento com intuito de evitar atrasos, congestionamentos e riscos a segurança do tráfego aéreo. Tal situação normalmente ocorre na hora-pico, assim a utilização das pistas será calculada em função da média de voos na hora-pico, conforme recomenda Suryani, Chou e Chen (2010).

A média de voos na hora-pico é determinada pela quantidade de passageiros e pela quantidade média de passageiros em cada voo nesse momento de maior tráfego aéreo. Assim, a Utilização das Pistas é calculada conforme a Equação 4.

$$\text{Utilização das Pistas} = \frac{\text{Média de voos hora pico}}{\text{Capacidade das Pistas}} \quad [5]$$

Onde

$$\text{Média de voos hora pico} = \frac{\text{Demanda Hora Pico}}{\text{Passageiros por Voo}} \quad [6]$$

3.3. Subsistema Pátio

O subsistema Pátio 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 subsistema Pátio, além da capacidade do pátio, tem como elemento principal o Tamanho Médio das Aeronaves (TAMAV), esta medida indica a quantidade de passageiros processados por ano para cada uma de suas faixas, conforme apresentado na Tabela 2.

Categoria	Faixa TAMAV	Passageiros/ano/posição
R1	12 a 25	70000
R2	25 a 30	100000
R3	35 a 60	130000
A1	90 a 130	200000
A2	130 a 170	250000
A3	170 a 300	300000
A4	300 a 450	400000
A5	Mais de 450	500000

Tabela 2 – Número de passageiros anualmente por posição para cada faixa de TAMAV
Fonte: Infraero (2002)

De acordo com a categoria da aeronave e a faixa de TAMAV, a Infraero define a quantidade de passageiros embarcados e desembarcados anualmente por posição. A partir disso, obtém-se o número de posições necessárias de estacionamento de aeronaves em um determinado aeroporto, calculando a razão entre a demanda anual de passageiros e a quantidade de passageiros ao ano por posição de acordo com o TAMAV.

Em outras palavras, o aumento na demanda anual de passageiros em um aeroporto implicará em aumento na quantidade de posições necessárias no estacionamento de aeronaves ou no aumento do TAMAV. Por fim, a Utilização do Sistema de Pátios é definida pela Equação 5.

$$\text{Utilização do Pátio} = \frac{\text{Posições Necessárias do Pátio}}{\text{Capacidade do Pátio}} \quad [5]$$

onde, a variável *Posições Necessárias do Pátio* é dada pela soma entre as posições necessárias para cada natureza do voo (doméstico ou internacional).

3.4. Modelo proposto em Dinâmica de Sistemas

O modelo em Dinâmica de Sistemas proposto neste trabalho para os aeroportos brasileiros tem como foco principal de análise a capacidade dos subsistemas do aeroporto, a demanda de passageiros e na utilização de cada subsistema. Este modelo tem como pressupostos metodológicos os trabalhos de Carvalho (2006), Miller e Clarke (2007) e Suryani, Chou e Chen (2010).

A contribuição do modelo proposto em Dinâmica de Sistemas está relacionada, prioritariamente, a metodologia de cálculos da capacidade dos aeroportos brasileiros e ao ajuste da capacidade de cada subsistema de acordo com a sua respectiva utilização, tais fatores não foram avaliados em trabalhos anteriores sobre o tema.

O ajuste da capacidade do subsistema foi construído com a utilização dos recursos *estoque* e *fluxo* disponível nos modelos em dinâmica de sistemas. Essa estrutura apresenta a variável Capacidade Atual modelado 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*. As Equações 6 e 7 descrevem a equação condicional que descreve como os fluxos de entrada e saída aumentam ou diminuem a capacidade. Tomando como exemplo a primeira situação, 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.

$$\text{Aumentar Capacidade} = \text{IF Utilização} > 1 \text{ THEN } (\text{Capacidade Atual} * \text{Utilização})/n \text{ ELSE } 0 \quad [6]$$

$$\text{Diminuir Capacidade} = \text{IF Utilização} \leq 1 \text{ THEN } (\text{Capacidade Atual} * (1 - \text{Utilização}))/n \text{ ELSE } 0 \quad [7]$$

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.

A modelo de ajuste da capacidade é apresentada na Figura 2.

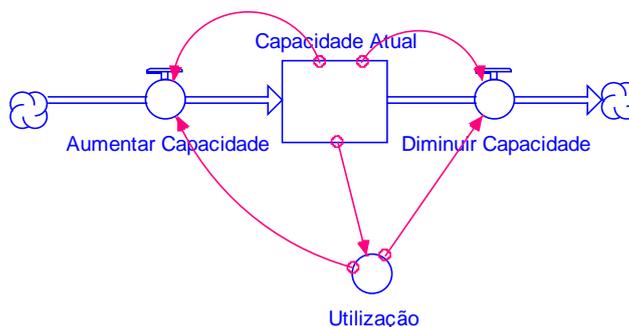


Figura 2 – Submodelo de ajuste da capacidade
Fonte: Elaborado no *iThink*

As Equações 6 e 7 são utilizadas desta forma para os subsistemas Terminal de Passageiros e Pátio, para o subsistema Pista, seguindo as recomendações da Infraero e por se tratar do subsistema bastante relacionado com a segurança aérea, o ajuste da Capacidade das Pistas ocorrerá quando a utilização desse subsistema atingir o valor de 0,8 (ou 80%), ou seja, não trabalha-se com a ideia de utilizar o sistema no seu limite (100%). O modelo proposto completo está representado na Figura 3.

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 (2005) e estatísticas obtidas a partir das publicações da Infraero, conforme apresentado em Anexo I. As simulações realizadas com o modelo compreendem o período de 10 anos (2003-2012).

Parâmetros	Unidade
Demanda Anual de Passageiros	Passageiros/ano
Passageiros por voo	Passageiros
Passageiros Domésticos	%
TAMAV Doméstico	-
TAMAV Internacional	-

Tabela 3 – Parâmetros do modelo

Os parâmetros do modelo variam conforme o aeroporto em análise, com exceção da variável “*Passageiros por voo*”, onde o valor utilizado para todos os casos foi de 150 passageiros.

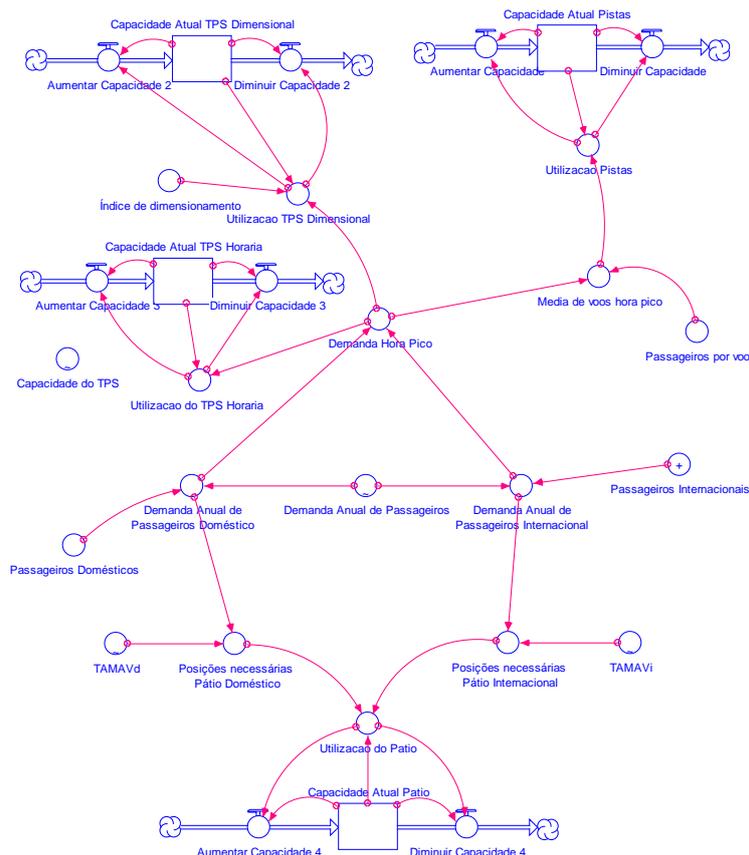


Figura 3 – Modelo proposto em Dinâmica de Sistemas

Fonte: Elaborado no *iThink*

Para este estudo em particular, foram selecionados os aeroportos do Nordeste do Brasil com previsões de investimentos até 2014 segundo pelo TCU (2012). Tais aeroportos estão localizados em estados da cidade-sede do evento esportivo Copa do Mundo de Futebol em 2014. Assim, os aeroportos escolhidos foram: Aeroporto Internacional Pinto Martins (SBFZ) localizado em Fortaleza – CE, Aeroporto Internacional Augusto Severo (SBNT) localizado em Parnamirim – RN, Aeroporto Internacional do Recife (SBRF) localizado em Recife – PE, e Aeroporto Internacional de Salvador (SBSV) localizado em Salvador – BA.

Capacidade		Aeroporto			
		SBFZ	SBNT	SBRF	SBSZ
Pista (movimentos/hora)	Simulada	26	13	27	34
	Nominal	27	27	29	25
	%	96%	48%	93%	136%
TPS Dimensional (m ²)	Simulada	64.634,0	33.935,5	63.803,8	84.453,5
	Nominal	35.660,0	18.012,8	52.000,0	69.750,0
	%	181%	188%	123%	121%
TPS Horária (Passageiros/hora)	Simulada	3200	1683	3254	4345
	Nominal	708	662	1256	1484
	%	452%	254%	259%	259%
Pátio (nº de posições)	Simulada	25	10	26	43
	Nominal	39	26	21	24
	(%)	64%	38%	124%	179%

Tabela 4 – Comparação dos dados para cada aeroporto

Fonte: *iThink*

O modelo de simulação foi executado várias vezes para os parâmetros de entrada, possibilitando estabelecer um diagnóstico dos aeroportos brasileiros que foram objeto de estudo. A partir dos resultados obtidos para cada aeroporto têm-se os valores de capacidade para cada subsistema no período analisado e as capacidades nominais referentes, conforme Tabela 4.

Diante dos resultados obtidos na simulação é conveniente analisar os resultados de cada aeroporto isoladamente, assim comparou os resultados da simulação com a capacidade instalada em cada aeroporto para cada subsistema conforme informações disponibilizadas pela Infraero para Terminal de Passageiros e Pátio e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) para Pista. De acordo com a comparação das informações classificou os subsistemas de cada aeroporto em três níveis:

- Subutilizado: a capacidade proposta pelo modelo de simulação em Dinâmica de Sistemas para determinado subsistema apresenta-se inferior à capacidade instalada no aeroporto;
- Aceitável: a capacidade proposta é igual ou próxima à capacidade instalada no aeroporto;
- Crítico: a capacidade proposta é superior à capacidade instalada no aeroporto, sendo recomendável melhoria na infraestrutura do aeroporto em questão com intuito de evitar prejuízos na qualidade do serviço aéreo.

Confrontando os resultados obtidos no modelo proposto em Dinâmica de Sistemas apresentado na Tabela 4 com as informações sobre os aeroportos apresentado no Anexo II pode-se realizar as seguintes conclusões. O subsistema Terminal de Passageiros dos aeroportos localizados em Fortaleza, Natal, Recife e Salvador encontra-se em situação crítica necessitando de investimentos com objetivo de aumentar a capacidade desse subsistema na hora-pico, tanto no processamento de passageiros por hora quanto nas áreas dos componentes do próprio terminal.

Quanto ao subsistema Pista, o aeroporto de Natal apresenta situação de subutilização da desse subsistema, uma vez que a capacidade instalada é duas vezes superior a movimentações de aeronaves na hora-pico. Entretanto, os aeroportos de Fortaleza, Recife e Salvador possuem situações críticas na hora-pico, podendo provocar congestionamentos no lado aéreo do aeroporto e implicando em diminuição da segurança aérea como apontam Ashford, Mumayiz e Wright (2011). Tal situação torna-se mais preocupante no aeroporto de Salvador, onde a movimentações de aeronaves na hora-pico é aproximadamente 50% superior a capacidade instalada.

No que diz respeito ao subsistema Pátio a situação é similar ao que ocorre no subsistema Pista, confirmando a ligação entre os componentes que formam o lado aéreo de um aeroporto. Os resultados da simulação apontam o aeroporto de Fortaleza e Natal com o subsistema Pátio subutilizado e os aeroportos de Recife e Salvador em situação crítica. No entanto, o aeroporto de Salvador necessita de um aumento de 70% nas posições de estacionamento na hora-pico, se comparado ao número de posições apresentadas no aeroporto.

5. Considerações Finais

O modelo proposto em Dinâmica de Sistemas para os aeroportos brasileiros consiste em método para avaliar a capacidade dos subsistemas desses 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.

Para fins comparativos e para efeitos de validação do modelo proposto, os resultados apresentados neste trabalho apresentam resultados similares aos apresentados em trabalhos como de Carvalho (2006) e Mckinsey & Company (2010), conforme apresentado no Anexo II. Carvalho (2006) projetava uma situação preocupante nos aeroportos de Fortaleza, Natal, Recife e Salvador para o ano de 2015 nos subsistemas Terminal de Passageiros e Pátio, e o estudo realizado pela consultoria Mckinsey & Company (2010) para o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social) apontava situação de saturação dos subsistemas dos referidos aeroportos nos próximos anos.

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.

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/UF RJ.
- 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, n° 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.

Anexos

Anexo I – Parâmetros do modelo de simulação

Aeroporto	Demanda Anual de Passageiros (Doméstico e Internacional)									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
SBFZ	1.868.699	2.317.869	2.774.240	3.282.979	3.614.439	3.465.791	4.211.651	5.072.721	5.647.104	5.964.223
SBNT	875.151	1.127.952	1.299.144	1.391.956	1.578.165	1.643.369	1.894.113	2.415.833	2.586.220	2.660.864
SBRF	2.733.424	3.173.672	3.604.652	3.953.845	4.188.081	4.679.457	5.250.565	5.958.982	6.383.369	6.403.416
SBSV	3.454.554	4.145.371	4.554.572	5.425.747	5.932.461	6.042.307	7.052.720	7.696.307	8.394.900	8.528.837
TAMAV										
2003 a 2010 A partir de 2010										
Aeroporto	Doméstico		Internacional		Doméstico		Internacional		Passageiros Domésticos (%)	
SBFZ	129	193	135	198					93	
SBNT	129	193	135	198					89	
SBRF	134	164	138	170					95	
SBSV	126	162	129	173					94	

Anexo II – Comparação dos resultados da simulação com outros trabalhos

Aeroporto	Pista (movimentos/hora)			TPS Dimensional (m ²)		TPS Horária (Passageiros/hora)		Pátio (n° de posições)		
	Simulação	Carvalho (2006)	Mckinsey & Company (2010)	Simulação	Carvalho (2006)	Simulação	Mckinsey & Company (2010)	Simulação	Carvalho (2006)	Mckinsey & Company (2010)
SBFZ	96%	44%	ok	181%	156%	452%	Saturado	64%	153%	2030
SBNT	48%	13%	ok	188%	320%	254%	2014	38%	45%	Saturado
SBRF	93%	49%	2030	123%	144%	259%	2020	124%	106%	2030
SBSV	136%	69%	2020	121%	130%	293%	2014	179%	141%	Saturado