

# MUV - Mais Um Voo, Simulador para Estimar Atrasos Conforme Fluxo de Passageiros no Aeroporto de Guarulhos

Miguel Antonio Copatti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escola do Mar, Ciência e Tecnologia  
Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)  
Caixa Postal 360 – 88302-202 – Itajaí – SC – Brazil

miguel\_copatti@live.com

**Abstract.** *Using discrete simulation to model the problem in order to estimate when there is an increased demand for flights at Guarulhos airport, whether due to external factors such as high passenger demand, climatic factors, objects on the runway, among other types of events that may generate some type of airport delay.*

*Given the context of arrivals, departures and rush, the airport of Guarulhos denotes a need for management of all fleets of companies present at the airport. With this in mind, a simulation was performed that seeks, demonstrates, instructs, decodes the reality about airport management, with its internal operating rules and norms, through a program that seeks to transmit behavior, triggers, sliders and configuration of each airplane. s*

**Resumo.** *Utilizando da simulação discreta para modelar o problema a fim de estimar quando ocorre maior demanda por voos no aeroporto de Guarulhos, seja por fatores externos, como alta demanda de passageiros, fatores climáticos, objetos na pista, entre outros tipos de eventos que podem gerar algum tipo de atraso no aeroporto.*

*Dado o contexto dos chegadas, saídas e arremetidas, no aeroporto de Guarulhos denota-se uma necessidade de gerenciamento de todas as frotas das companhias presentes no aeroporto. Com este intuito foi realizado uma simulação que busca, mostrar, instruir, decodificar a realidade sobre o gerenciamento do aeroporto, com suas regras de operação interna e normas, através de um programa que procura transmitir comportamento, gatilhos, sliders e configuração de tamanhos de cada avião.*

## 1. Introdução

Atualmente o aeroporto internacional de Guarulhos ostenta o título de maior aeroporto do Brasil. Sua capacidade total de embarque e de desembarque é de 15.352 considerando todos voos, domésticos e internacionais (GRU Airport, 2018). A maior movimentação ocorre no terminal 3 (internacional) onde o fluxo é de 8.333 passageiro/hora. Contudo a capacidade de passageiro/hora pode ser afetada pela quantidade de aeronaves estacionadas no pátio do terminal aeroportuário. Mesmo em tempo de recessão em 2017 o aeroporto registrou aumento de 3,2% se comparado com os dados de 2016. O Aeroporto planeja aumento no volume de passageiros e espera receber 60 milhões passageiro/ano, frente ao 36,6 milhões registrados no ano anterior. Para isso seja possível, será construído

um novo pátio para aeronave e um novo pier até 2021 para o terminal 3, (Aero Mazine, 2013).

Desde da sua inauguração no ano 1985, com uma área de 14 km quadrado, obteve uma movimentação de pessoas estimada em 37 milhões de passageiros com uma lotação total cerca de 40 milhões de aviões. Portanto observa-se que a capacidade máxima de passageiros será alcançada em um momento de pico, ocasionado por atrasos imprevistos ou datas comemorativas [Moser 2007].

Este trabalho tem por objetivo coletar, avaliar e mensurar o tempo médio entre uma aterrissagem e decolagem de cada avião no aeroporto de guarulhos, obtendo assim alguns parâmetros para a simulação computacional, funcional do aeroporto com sua infraestrutura atual. Posteriormente será aplicada mudanças nas variáveis quantitativas.

mostrando assim um procedimento ou melhoria destinada a população dos estados do Brasil, principalmente do estado SP assim como de outros países, para que não enfrentam congestionamentos ou cancelamentos de voos dada a densidade populacional e a quantidade de aviões.

O terceiro objetivo deste trabalho é medir a satisfação dos clientes, dada a localização, ou seja a satisfação dos clientes no aeroporto de guarulhos, seja pela quantidade de voos ou se teve atrasos ou não.

Essa satisfação será calculada de acordo com o pouso ou e a decolagem com seu respectivo atraso, preço da passagem, entrega e devolução da bagagem e também será observada o nível de contentamento dos clientes com o espaço do aeroporto, como por exemplo, praça a alimentação, comércio, infraestrutura interna como por exemplo ar-condicionado, bancos, toaletes, etc.

Este artigo é estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta alguns trabalhos relacionados a este, apontando algumas das abordagens discutidas na literatura, em seguida, a Seção 3 apresenta a metodologia e técnicas utilizadas para a construção do simulador e seus artefatos produzidos neste trabalho, a Seção 4 descreve o ambiente, a seção 5 discute como pode ocasionar um atraso e define como pode ser entendida e trata da, seção 6 e 7 discutem respectivamente modelos de simulação e a ferramenta adotada nesse projeto e a conclusão descreve e analisa os resultados obtidos através da utilização do simulador.

## **2. Revisão bibliográfica**

A diferença crescente entre a demanda prevista e o número de operações efetivamente realizadas impõe aos usuários restrições de oferta de voos pelas companhias aéreas que, impedidas de aumentar suas frequências em Congonhas, são obrigadas a criar novos voos partindo de outros aeroportos, como Guarulhos e Campinas [Medau and Gualda 2009a].

Em contrapartida, a ANAC vem adotando medidas de restrição de tráfego cada vez mais severas em Congonhas, tais como: alocação de slots para operações, proibição de operação de aeronaves comerciais na pista auxiliar e determinação de tempo máximo de permanência de aeronaves nos boxes de estacionamento, entre outras[Medau and Gualda 2009b].

### 3. Metodologia

Dado o contexto dos chegadas, saídas e arremetidas, no aeroporto de Guarulhos denota-se uma necessidade de gerenciamento de todas as frotas das companhias presentes no aeroporto. Com este intuito foi realizado uma simulação que busca, mostrar, instruir, decodificar a realidade sobre o gerenciamento do aeroporto, com suas regras de operação interna e normas, através de um programa que procura transmitir comportamento, gatilhos, sliders e configuração de tamanhos de cada avião.

departures:			arrials:		
Hora	Boing	Airbus	Hora	Aibus	Boing
15:54	777		16:24	a380	
15:54		a319	16:25	a320	
16:15	737		16:27		737
16:15		a320	16:30	a320	
16:15	737		16:32		727
16:15		a320	16:36	a320	
16:16	737		16:40	a320	
16:16		a320	16:48		737
16:20	767		16:49	a320	
16:20	737		16:51	a319	
16:22		a350	16:55	a320	
16:22		a320	16:59		777
16:24		a321	17:08	a320	
16:27	777		17:15	a321	
16:27		a350	17:16		737
16:30		a320	17:22	a320	
16:30			17:24		737
16:55	737		17:28	a320	
16:55		a320	17:31	a320	
16:59	737		17:36	a320	
17:00	737		17:39		737
			17:40	a330	

Figura 1. Resultados aferidos através da análise no site

#### 3.1. FlightRadar24h

O FlightRadar24 é um site e aplicativo mobile que disponibiliza a visualização de aviões do mundo todo, em tempo real, através de mapas fornecidos pela Google.

Foi analisado e coletado dados, na segunda-feira e terça-feira (25 e 26 de junho), durante o periodo da tarde, durante pelo menos 1 hora, diariamente foi analisado 21 aeronaves saindo (decolagem) 22 aeronaves chegando (aterrisando), foi desconsiderado voos do tipo privado, esses que não podem ser comprado uma passagem por qualquer individuo num aeroporto.

Durante o levantamento de dados para a modelagem do sistema, nota-se que grande parte da frota de aeronaves são Airbus a320 e Boeing 737, que são considerados avioes de média capacidade, limitada a 120 a 220, passageiros e o Boeing 737 85 até 215 passageiros dependendo do tipo de configuração, versão e quantidade de classes na aeronave.

Foi observado também aeronaves maiores com capacidade acima de 300 passageiros, porém foi um número muito pequeno e apenas voos internacionais usam esse tipo de aeronave.

### **3.2. Sistemas para análise do aeroporto**

Foram utilizadas algumas ferramentas para medição e análise do aeroporto internacional de Guarulhos. De modo geral é possível verificar o tráfego aéreo no site (Flight Radar 24.com, 2018). Nesse site afere-se os pousos e decolagens bem como os aviões que estão aguardando autorização para pousar ou decolar. Outra ferramenta para análise é a o site da Infraero. Porém ele é possível apenas obter os pousos e decolagens, não sendo possível por exemplo saber os voos com que não pousaram no aeroporto de Guarulhos. É possível também verificar in loco, observando pousos e decolagens, porém nesse estudo torna-se desnecessário, visto que os mesmos dados podem ser obtidos através do flight radar ou do site da Infraero em tempo quase real.

### **3.3. Levantamentos dos dados de entrada da modelagem**

O planejamento de um estudo, em particular quanto aos dados de entradas necessários para o modelo, é essencial para sua qualidade final. Pode-se simplificar a existência de três tipos de dados: Físico, demanda e tráfego. Abaixo uma breve descrição dos tipos de dados de entrada.

**Físico:** É aquilo que não se move, faz parte da configuração física do aeroporto ou espaço aéreo, como por exemplo pistas, taxiway, pátio, gates, etc.

**Demanda:** São aqueles dados dinâmicos. Dentro dessa classe podem ser inclusos os dados estáticos provenientes de levantamentos de campos, tais como atrasos em solo em relação aos horários programados, números de aeronaves processadas num determinado período (pouso e decolagem por pista por exemplo).

Uma vez que a validação do modelo e conclusões da análise dependem da escolha de um dia específico de movimentação ou por um período de tráfego significativo, esse período deve ser do pico de tráfego do aeroporto.

**Regras de Tráfego:** São as regras da aviação. Basicamente pode-se resumir em procedimentos e restrições imposto no modelo. Incluem critérios de separação de uma aeronave a outra, velocidade do taxiamento, gerenciamentos dos pátios ou gates.

### **3.4. Validação do Modelo Base**

Validar modelo é uma etapa muito importante e necessária para torná-lo utilizável na prática. O grande objetivo desta etapa é verificar se os resultados produzidos no modelo são coerentes com a realidade das operações do aeroporto internacional de Guarulhos, por meio de métricas. É Verificado a conformidade dos valores obtidos com aqueles observados na situação real, por meio de medições em campo, tais como atrasos, movimentação de aeronaves por hora, por pista, por operação, etc.

A aderência do modelo as regras de gerenciamento de tráfego, tanto em espaço aéreo quanto em solo, são válidas também.

## **4. Configuração do aeroporto**

A configuração do sistemas de pistas em geral, o fator mais importante para determinar a capacidade de um aeroporto, sendo que o mais comum gargalo do sistema aeroportuário como um todo. Quando capacidade do sistema de pistas é excedido, o aeroporto invariavelmente começa a sofrer atrasos.

## 5. Definição de Capacidade e atrasos

Existem duas formas mais comuns de se tratar a capacidade. A primeira delas é denominada capacidade prática que pode ser entendida como o número de operações de aeronaves durante um intervalo de tempo, correspondente a um nível tolerável de atraso médio. A segunda é chamada de capacidade última, que é a capacidade máxima ou máxima taxa de processamento. Pode ser definida como o número máximo de aeronaves que um aeródromo pode acomodar durante um específico intervalo de tempo, quando submetido a uma demanda contínua de serviço. Uma demanda contínua significa que há sempre uma aeronave pronta para pouso ou decolagem.

[illegible]

**Figura 2. Planta geral do aeroporto de Guarulhos**

Durante os períodos de pico a demanda pode exceder a capacidade , o que provocará a formação de filas. São raros os casos em que a aeronave realiza um voo em perfeita e contínua sequência, sem nenhum atraso.

### **5.1. Fatores que podem afetar a capacidade e atraso**

Os principais fatores que implicam atrasos nos aeroportos são:

1. Configuração do aeroporto: configuração geométrica relativa das pistas em uso.
2. Picos de demanda: períodos do dia em que a demanda de tráfego é muito alta.
3. Composição de frota: proporção entre os tipos de aeronave que operam no aeroporto, classificadas principalmente por peso e envergadura.
4. Meteorologia: condições climáticas no aeroporto e a tecnologia de instrumentação disponíveis

## **6. Modelagem e simulação**

Conforme Bateman, 2013, Simulação é uma ferramenta poderosa no desenvolvimento de sistemas mais eficientes, como por exemplo um simulador.

A melhoria de produtividade passou de desejo a necessidade, num mundo cada vez mais marcado pela globalização de mercados e pela velocidade da tecnologia da informação, onde as empresas vencedoras são aquelas que respondem de forma rápida e flexível às necessidades de seus clientes. Simulação é uma ferramenta poderosa no desenvolvimento de sistemas mais eficientes. Através dela podemos construir modelos e reconfigurar sistemas reais em questão de dias. Esta obra apresenta fundamentos de modelagem a processos contínuos [Bateman 2013].

A melhoria de produtividade passou de desejo a necessidade, num mundo cada vez mais marcado pela globalização de mercados e pela velocidade da tecnologia da informação, onde as empresas vencedoras são aquelas que respondem de forma rápida e flexível às necessidades de seus clientes.

Através dela podemos construir modelos e reconfigurar sistemas reais em questão de dias. Esta obra apresenta fundamentos de modelagem a processos contínuos, (Bateman, 2013)

Modelo é uma abstração da realidade , uma representação adaptada de acordo com o problema a ser analisado . O objetivo da simulação não é reproduzir a realidade em todos os aspectos, o que seria quase inviável, mas sim considerar aspectos relevantes a um sistemas determinado. Pode-se dizer também que simulação é o processo de elaborar um modelo de um sistema real e conduzir experimento, com o proposito de compreender o comportamento e/ou avaliar várias estratégias para a operação do mesmo. Desta forma a simulação traz vantagens como:

1. Possibilidade de Testar novos procedimentos operacionais, tomadas de decisões, estratégias de uso de pista de pouso e de rolamento, ou seja, podem ser avaliadas novas estratégias sem comprometer ou intervir nas operações do aeroporto.
2. Possibilidade de testar possíveis configurações de pista de pouso pista de rolamento e terminais do aeroporto antes mesmo de sua construção, bem como alterações nos arranjos físicos existentes (novas pistas de pouso e rolamento, terminais entre outros), antes do emprego de recursos para sua implantação.

3. Identificação de gargalos do sistemas , verificando quais são os subsistemas, componentes ou processos que limitam o sistemas como um todo.
4. Compreensão de quais variáveis são mais importantes para a capacidade e como essas variáveis interagem.

Deve-se tomar cuidado com os dados obtidos na análise, pois o resultado da simulação nunca será igual a realidade. Uma boa análise requer treinamento especializado , qualidade do modelo e capacidade do analista.

## 7. Ferramenta de Simulação

Para simulação será utilizada a Engine unity 3D, ele conta com um motor gráfico potente e possui um tempo de aprendizagem relativamente baixa.

Outros recursos importantíssimos ela possui, como por exemplo a física, *pathfind* entre outros. Uma coisa que vale destacar é que a unity tem *Assets store* que contém scripts, animação, entre outros.

A principal motivação é que a **unity3D** tem sua programação já modelada em agentes.

## 8. Conclusão

O problema discutido neste estudo foi apresentar uma visão abrangente sobre os benefícios da utilização da simulação de sistemas. Para tanto, foi utilizados ferramentas aplicáveis aos problemas de análise e configurações aeroportuárias, selecionando especificamente o aeroporto Internacional de Guarulhos, para aplicação dessa metodologia, avaliando os resultados dessa aplicação, verificando os riscos e impactos de uma possível alteração em sua infraestrutura atual, causada por passageiros em excesso ou demanda de aeronaves em determinado momento, que podem ocorrer por diversos fatores.

Para que a proposta seja concisa, foi modelado o espaço transitável de aviões, para que pode ser observada o caminho de cada avião, além de ser utilizados os recursos da *engine*, o projeto foi pensado em comando em dois agente principais, o avião e uma central de controle. O avião é responsável por se locomover nos espaços estipulados, pela central de controle e dizer quanto tempo é necessário ficar no área de taxi, a central de controle tem por sua vez a responsabilidade de gerenciar todo o espaço do aeroporto enviando portanto qual destino o avião deve seguir, ou seja, se ele tem permissão de pouso, ou se tem que ir para uma fila de espera ou tem que arremeter.

Diante da simulação conclui-se que existe dois fatores básicos que promove um perfeito funcionamento do aeroporto sem atrasos, os dois fatores especiais são a taxa de pouso de cada avião mais o tempo que cada avião deve esperar dividido por espaços disponíveis de estacionamento.

## Referências

- Bateman, R. (2013). *simulação de sistemas aprimoramento de logística, serviços e manufatura*. Addison-Wesley, 2th edition.
- Medau, J. and Gualda, N. (2009a). Estudo de capacidade associada a nível de serviço da Área de movimentação do aeroporto de são paulo - congonghas por meio de simulação

computacional. In Gualda, N. D. F. and Medau, J. C., editors, *New Trends in Animation and Visualization*. Conference Paper.

Medau, J. C. and Gualda, N. D. F. (2009b). Estudo de capacidade associada a nível de serviço da Área de movimentação do aeroporto de são paulo - congonhas por meio de simulação computacional. In USP, editor, *aplicação ao Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos*, page 90. Tese de Mestrado.

Moser, R. F. (2007). Simulação e análise de configurações aeroportuárias utilizando visual simmod. In USP, editor, *aplicação ao Aeroporto Internacional de São Paulo/Guarulhos*, page 138. Tese de Mestrado.