

## MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO EMBARQUE DE PASSAGEIROS EM TERMINAIS AEROPORTUÁRIOS

**Maria Giuliana Occhioni Martins Villela**

**Ricardo Villarroel Dávalos**

**Marco Antonio Martins Cavaco**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico

### RESUMO

A simulação é uma importante ferramenta para a melhoria dos processos, por possibilitar um conjunto de análises e testes de hipóteses. Com isso, este artigo objetiva modelar e simular o comportamento do sistema de terminais aeroportuários de embarque de passageiros com a alteração do método de chegada de passageiros e acompanhantes, seu impacto no nível de detalhamento em processos subsequentes e analisar os resultados dessas alterações no sistema. Aplica-se a simulação a eventos discretos para realizar uma análise mais profunda do sistema, sendo realizada a comparação entre diferentes formas de modelagem de chegada. Com isso, foi possível perceber um grande impacto nos indicadores, como tempo de espera e quantidade de passageiros na fila, quando comparado com outras formas de modelagem.

### ABSTRACT

The simulation is an important tool for processes improvement since it allows a set of analyzes and tests of hypotheses. This article aims to model and simulate the behavior of the airport terminal passenger board system. This technique alters the method that a passenger arrives along with their travel companions. It studies the impact on the level of detail in subsequent processes and analyze the results of these changes in the system. The simulation is applied to discrete events to carry out a deeper analysis of the system, comparing different forms of arrival modeling. Therefore, it was possible to perceive a great impact on the indicators as waiting time and number of passengers in queue when compared with other forms of modeling.

### 1. INTRODUÇÃO

A aplicação da Pesquisa Operacional nos sistemas de transporte é com certeza uma grande preocupação, pois no estudo dos meios de transporte, existe um especial foco nos métodos de transporte de longa distância que, segundo FDC (2019), respondem por 40,1% do custo logístico total.

Nessa categoria se encontra o transporte aéreo, que contempla também o transporte de passageiros. Uma das principais preocupações quando se trata desse tipo de transporte pelo meio aéreo é com a estrutura dos terminais aeroportuários.

Mas, embora haja todo esse foco neste assunto, segundo Mendonça (2009), existem estudos e análises sendo realizadas com abordagens simplificadas, o que pode comprometer a realização de projetos de terminais aeroportuários.

Considerando isso, este artigo objetiva modelar e simular o comportamento do sistema do terminal de embarque com a alteração do método de chegada de passageiros e acompanhantes, seu impacto no nível de detalhamento em processos subsequentes e analisar os resultados dessas alterações no sistema.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Simulação de processos

Com o aumento da complexidade dos processos no mundo moderno, diversos problemas estruturais se tornaram mais visíveis, entre eles pode-se citar a falta de elementos quantitativos na tomada de decisão dentro das mais diversas organizações. Uma alternativa para este problema, quando se trata de processos, são os modelos de simulação, que, segundo Almeida (1998), são aqueles que, utilizando representações matemáticas e lógicas do mundo real, convertem parâmetros e dados de entrada em saídas que caracterizam o sistema em questão.

Quando utilizadas essas representações, existe a possibilidade de se aperfeiçoar diversos tipos de sistemas, incluindo áreas como produção de bens e prestação de serviços, onde, no segundo caso, encontra-se o setor aeroportuário. Entre diversos assuntos pertinentes a melhoria da prestação de serviços neste setor, encontra-se elementos de grande importância para a organização, como a gestão de capacidade, que, como afirmado por Marcos e Ferreira (2015), tem a sua gestão como um elemento estratégico.

### 2.2. Sistema aeroportuário

No aeroporto, segundo Ribeiro (2003), existe o objetivo básico de permitir, através de suas atividades operacionais, que transferências ocorram de forma eficiente.

Com isso, pode-se notar que uma análise adequada do sistema pode ser de grande valia para o dimensionamento e a avaliação da capacidade de um terminal de passageiros, podendo ser percebido pela constatação de Alves (2018), que menciona estes são requisitos fundamentais para planejadores e operadores de aeroportos.

Como métodos para a melhora do sistema aeroportuário, pode-se citar a simulação computacional, que, segundo Rolim (2016), permite conhecer o comportamento do fenômeno de análise e, ainda, gerar cenários alternativos.

Com ferramentas como a simulação computacional é possível realizar uma avaliação do sistema que, segundo Alves (2018), possui a ideia básica de aferir se os recursos existentes comportam a demanda existente ou comportarão a demanda projetada, enquanto o dimensionamento trata de quantificar as necessidades de recursos em função da demanda prevista.

Outras utilidades da simulação na avaliação de serviço são, segundo Rolim (2016), determinar os níveis em que a capacidade está suprindo a demanda do sistema e estudar os fatores que influenciam na formação da capacidade e da demanda.

Na realização da simulação computacional, existem diversos fatores que devem ser definidos para determinar o método a ser utilizado.

Quando avaliado o sistema de embarque de passageiros, o principal fator a ser analisado é o método de modelagem do fluxo no terminal de embarque, no qual se encontra o método de Momento de Maior Solicitação (MMS), que, segundo Alves (2018) avalia o instante de maior solicitação dos componentes através de propagações e sobreposições dos fluxos relativos aos diversos voos.

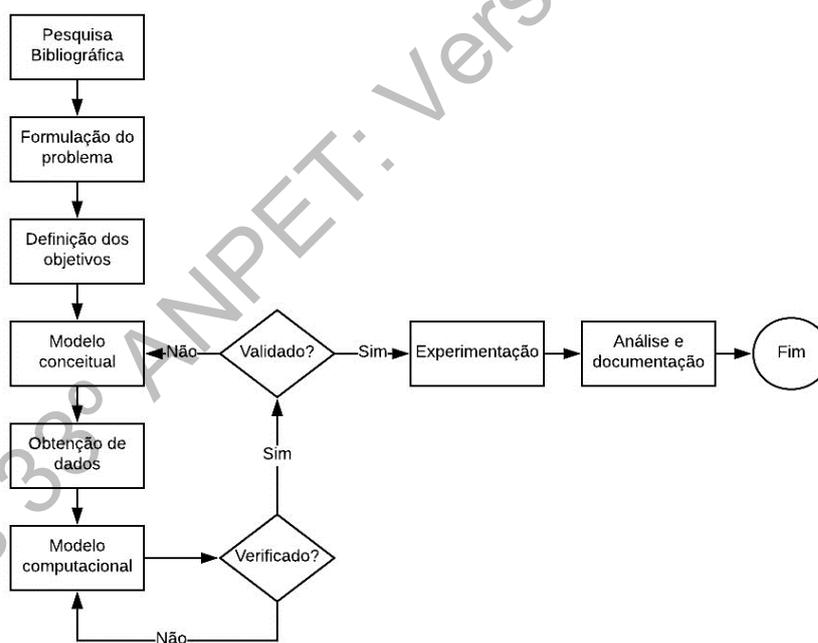
Outro conceito amplamente utilizado para a análise do embarque de passageiros é o conceito de Hora-pico, que apresenta diversas definições. Uma das definições utilizadas é da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), onde a hora-pico de passageiros é definida como a hora tal que a soma de todas as outras horas nos últimos 12 (doze) meses com movimento superior a ela totalize um volume acumulado de 3,5% (três e meio por cento) do movimento nesse mesmo período. Essa hora deverá ser obtida para cada tipo de tráfego (doméstico/internacional, embarque/desembarque) e suas possíveis combinações.

### 3. METODOLOGIA

Esta pesquisa, em relação à natureza, classifica-se como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para a aplicação prática dirigida à solução de problemas específicos, neste caso, a chegada de passageiros para embarque em um aeroporto nacional.

Sob o enfoque da abordagem, esta pesquisa, ao empregar a simulação de eventos discretos como técnica de execução, pode ser classificada como quantitativa, visto que “traduz em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las” (Silva e Menezes, 2005).

Este trabalho baseia-se nas metodologias de Banks *et al.* (2004), cujas etapas descritas a seguir se inserem num amplo contexto de desenvolvimento de um estudo de simulação tal como apresentado na figura a seguir.



**Figura 1:** Metodologia utilizada  
Fonte: Adaptado de Banks *et al.* (2004)

Na primeira etapa, foi feita a pesquisa bibliográfica, onde foi obtida a base para a realização do estudo, seguido pela etapa de formulação do problema onde o fenômeno foi melhor analisado e estudado, para possibilitar a etapa de definição dos objetivos, onde o escopo principal do estudo foi definido.

Após a realização das etapas iniciais, foi feita a formulação do modelo conceitual, onde pôde-se tirar maiores informações acerca das condições que interferem nos processos do sistema e

de seu funcionamento como um todo. Partindo para a obtenção de dados, onde pôde-se obter os dados necessários principalmente a partir de estudos anteriores, que mapearam o comportamento de passageiros em relação a chegada ao terminal, a realização do modelo conceitual, que permitiu uma melhor visão acerca do fenômeno analisado, e a realização do modelo computacional que representasse o sistema analisado.

Na etapa de validação ocorreram testes lógicos para assegurar a funcionalidade do modelo e de premissas realizadas e, no projeto experimental, foram obtidos dados reais de horários de voos para que pudessem ser analisadas as variações no decorrer do tempo em relação aos dados obtidos.

#### 4. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A primeira etapa mediante a modelagem do processo foi a criação de um modelo conceitual, como mostrado na figura 2. A partir das características do modelo, foi discutido acerca do método a ser utilizado para esse sistema.

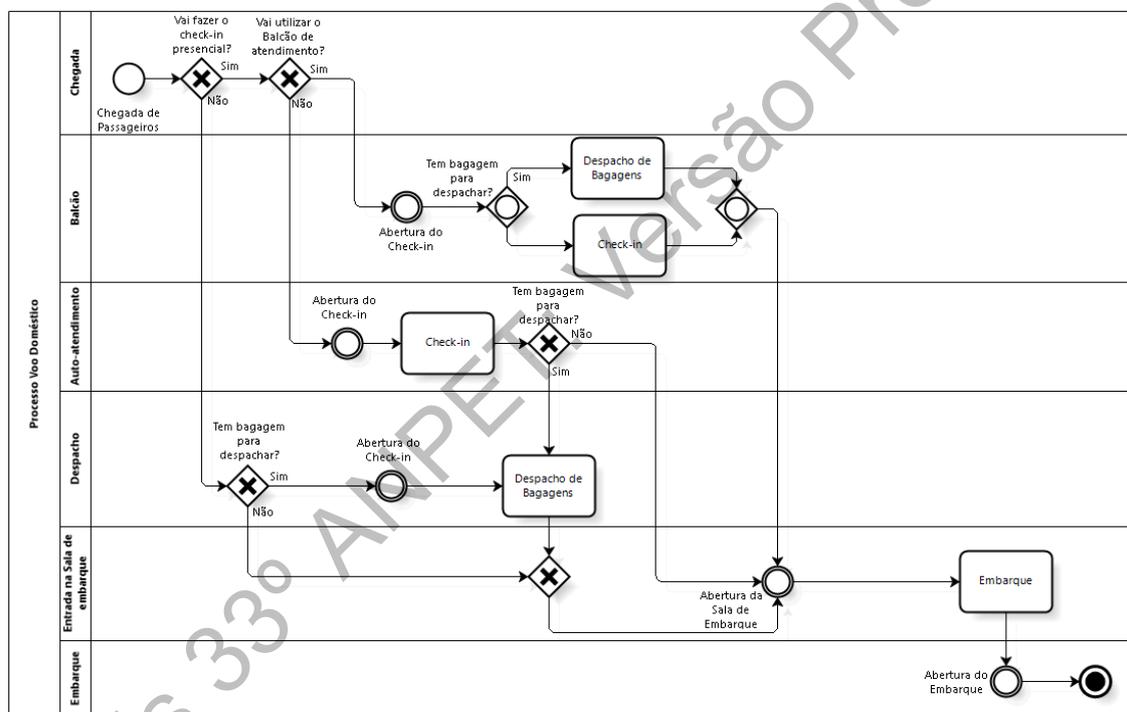


Figura 2: Modelo conceitual de embarque para um voo doméstico

Após a ponderação dos benefícios de cada método, optou-se por realizar uma simulação baseada no método de Momento de Maior Solicitação (MMS) para o dimensionamento da chegada de passageiros no terminal. Foi possível, com isso, pesquisar pelos dados que melhor se encaixariam na modelagem utilizada.

A partir disso, foram encontrados diversos dados, principalmente sobre a relação entre horário de *check-in* e horário de voos. Com isso obteve-se duas principais opções de modelagem para a chegada de passageiros. A primeira seria referente a antecedência de chegada no balcão de *check-in*, enquanto a segunda a antecedência de chegada no meio fio de embarque. Ao analisar as opções, foi percebido que a segunda opção possibilita uma análise mais detalhada do problema, podendo-se considerar fatores como a realização do *check-in online* e no

autoatendimento no modelo. Fora isso, como a análise considera a alteração do fluxo de passageiros em relação ao tempo, a escolha da primeira opção estaria desconsiderando a variação do tempo de espera na fila do balcão de *check-in*.

Utilizando das informações obtidas, foi possível chegar-se aos conceitos básicos abordados no algoritmo e, utilizando informações de voos de um aeroporto real, foi possível analisar a probabilidade de antecedência de chegada de passageiros no meio fio de embarque e obter, com isso, a distribuição de probabilidade de horário de chegada para cada voo.

Com base nas informações coletadas, foi possível manipular os dados para extrair informações relevantes ao sistema. Com o número da matrícula das aeronaves utilizadas no voo, foi possível identificar o modelo de aeronave e, junto com a companhia a qual a aeronave pertence, identificar o número de assentos de cada aeronave utilizada nos voos. Com isso, foi possível categorizar os voos também por companhia, destino e capacidade da aeronave. Como o período analisado se encontra categorizado como de alto fluxo em aeroportos, foi decidido por considerar uma taxa de ocupação de 100% nas aeronaves.

Outro fator analisado foi o destino do voo, foi feita uma análise da relação entre o comportamento do passageiro e o tipo de voo ao qual ele estava alocado. Baseado nessa análise, foi possível distinguir o comportamento dos passageiros de voos internacionais quanto a antecedência de chegada, quantidade de acompanhantes por passageiro e o percentual de passageiros com uma ou mais malas, que são maiores quando comparados a voos domésticos. Por isso, foi necessária uma categorização do passageiro quanto ao destino de seu voo.

Olhando desta vez para as características do processo, foi necessária a distinção dos processos de acordo com a companhia aérea para a utilização do balcão de *check-in* e de autoatendimento. Outro fator considerado foi a distinção de características dos processos, como a duração de cada processo, referentes ao destino do voo.

Combinando os fatores de maior impacto na análise do comportamento do passageiro, chegou-se à conclusão de que os fatores a serem analisados para cada passageiro seria o voo a qual ele está alocado, o horário de seu voo e o destino de seu voo, enquanto o modelo deveria considerar fatores como o horário de abertura de cada processo, o destino do voo e a capacidade de cada aeronave a fim de garantir um resultado coerente.

Com isso, foi construída a primeira parte do modelo, onde se encontra a lógica de chegada. Um exemplo da lógica utilizada para a construção desta etapa se encontra na esquemática da figura 3, onde podemos perceber as características a serem analisadas antes do momento de chegada do passageiro no aeroporto.

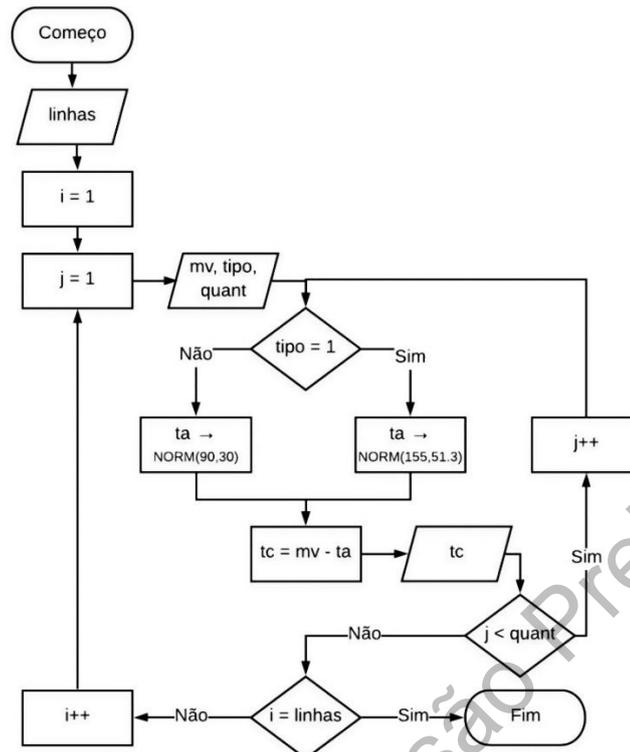


Figura 3: Esquemática da chegada de passageiros

em que  $i$ : sequência do voo analisado;  
 $j$ : número do passageiro do voo analisado;  
 $linhas$ : quantidade de voos a serem analisados;  
 $m_v$ : momento do voo;  
 $quant$ : quantidade de passageiros alocados ao voo;  
 $t_a$ : tempo de antecedência em relação ao horário do voo;  
 $t_c$ : tempo de chegada do passageiro; e  
 $tipo$ : tipo de voo (internacional ou doméstico).

A segunda parte do modelo abrange a criação dos acompanhantes e da realização de *check-in online*. Nessa etapa são definidos códigos para cada passageiro, a fim de identificar a qual passageiro cada acompanhante está atrelado. Após isso, são criados acompanhantes para cada passageiro, que compartilham do mesmo código para posterior identificação. A realização ou não do *check-in online* se dá por uma distribuição de probabilidade, já que esta atividade não está relacionada com características atuais do sistema.

Durante todas as etapas é feito simultaneamente um controle da abertura de processos, onde, conforme o horário do voo e o horário atual na simulação, são feitas alterações em variáveis para possibilitar que aquele processo seja realizado para determinado voo. Essa mesma dinâmica é utilizada para o fechamento e alteração da prioridade na fila do balcão de *check-in*.

A terceira parte do modelo abrange desde o momento de chegada do passageiro no aeroporto até o momento de entrada na fila para a entrada no canal de inspeção.

Caso o passageiro esteja alocado a um voo com prioridade na fila, isto é, com a decolagem próxima, este irá se dirigir diretamente a um balcão prioritário. Caso contrário, nesse momento

é definido o tipo de *check-in* presencial realizado pelo passageiro. A escolha da realização do *check-in* por autoatendimento ou no balcão é realizada com base em condições, onde cada passageiro faz uma projeção do tempo de espera para cada opção de *check-in* na estrutura de sua companhia aérea.

Na realização dessa projeção é considerado primeiramente o tempo médio de cada processo e a quantidade de pessoas na fila para cada balcão/máquina de autoatendimento. O cálculo do tempo gasto no *check-in* na máquina de autoatendimento é descrito pela equação 1.

$$T_a = \frac{F_a}{Q_a} \cdot T_{ma} \quad (1)$$

em que  $T_a$ : tempo estimado de espera na máquina de autoatendimento;  
 $F_a$ : quantidade de passageiros na fila da máquina de autoatendimento;  
 $Q_a$ : quantidade de máquinas de autoatendimento; e  
 $T_{ma}$ : duração média do processo na máquina de autoatendimento.

Como um passageiro com bagagem teria que entrar em outra fila para o despacho da bagagem, é considerado neste momento se o passageiro tem bagagem a despachar. No caso de presença de bagagem, é adicionada uma projeção relacionada ao tempo gasto com o despacho da bagagem no caso de uso da máquina de autoatendimento. O tempo de espera estimado para esse procedimento se encontra descrito na equação 2.

$$T_d = \frac{(F_a \cdot P_b + F_d) T_{md}}{Q_d} \cdot B_p \quad (2)$$

em que  $T_d$ : tempo estimado de espera no despacho;  
 $P_b$ : probabilidade de um passageiro ter bagagem a despachar;  
 $F_d$ : quantidade de passageiros na fila do despacho;  
 $Q_d$ : quantidade de locais para despacho disponíveis;  
 $T_{md}$ : tempo médio do processo de despacho; e  
 $B_p$ : binário que indica se o passageiro possui bagagem a despachar.

Utilizando de ambas as projeções, é realizada uma projeção do tempo total gasto na escolha do uso do balcão de *check-in* e na máquina de autoatendimento e, com base nos resultados, é feita uma decisão com base no menor tempo de espera previsto. Após essa etapa, o passageiro e seus acompanhantes irão se dirigir a próxima etapa do processo.

$$T_a = \frac{F_a}{Q_a} \cdot T_{ma} \quad (3)$$

$$T_a = \frac{F_a}{Q_a} \cdot T_{ma} \quad (4)$$

em que  $T1$ : tempo estimado de espera na opção 1;  
 $T2$ : tempo estimado de espera na opção 2;  
 $Fb$ : quantidade de passageiros na fila do balcão;  
 $Qb$ : quantidade de balcões disponíveis; e  
 $Tmb$ : duração média do processo no balcão.

Após a finalização do *check-in*, começa a quarta etapa, onde os passageiros são divididos conforme o destino de seu voo (internacional ou doméstico). Após feita essa divisão, os passageiros irão esperar até que o processo esteja liberado.

Após a liberação do processo, os acompanhantes são identificados e ocorre a saída destes do processo. No processo seguinte, os passageiros se dirigem a fila do canal de inspeção

correspondente ao seu tipo de voo. Após a realização da inspeção, esses permanecem na sala de embarque até que ocorra o embarque na aeronave.

## 5. RESULTADOS

Utilizando o modelo, foi possível chegar a diversos resultados. O primeiro deles mostra a distribuição de chegadas em relação ao tempo, onde foi feita a média da quantidade de chegadas por período, tendo valores armazenados a cada 30 minutos de simulação. Na figura 4 podemos observar os resultados do método utilizado quando comparados a chegada de passageiros em um método sem dependência de tempo.

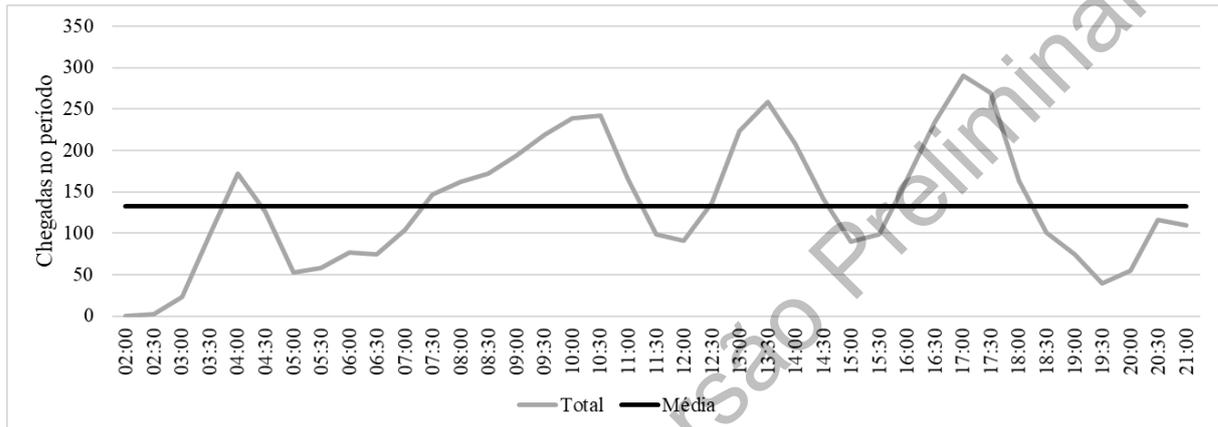


Figura 4: Gráfico de chegadas de passageiros utilizando ambos os métodos

Analisando ambos os métodos, pode-se perceber uma grande diferença em relação as chegadas em vários horários. Uma inconsistência no método que desconsidera a relação com o tempo é existir a mesma probabilidade de chegada de passageiros em horários de pico e em horários com ausência de partida de voos.

Outro resultado interessante é a comparação da distribuição de chegadas de companhias aéreas diferentes. Observa-se na figura 5 que companhias com horários de voos ou aeronaves de portes diferentes terão uma distribuição de chegadas que diferem muito em relação a outra. Isso corrobora para a teoria que uma distinção de companhias aéreas é de extrema importância quando seu *check-in* é feito separadamente.

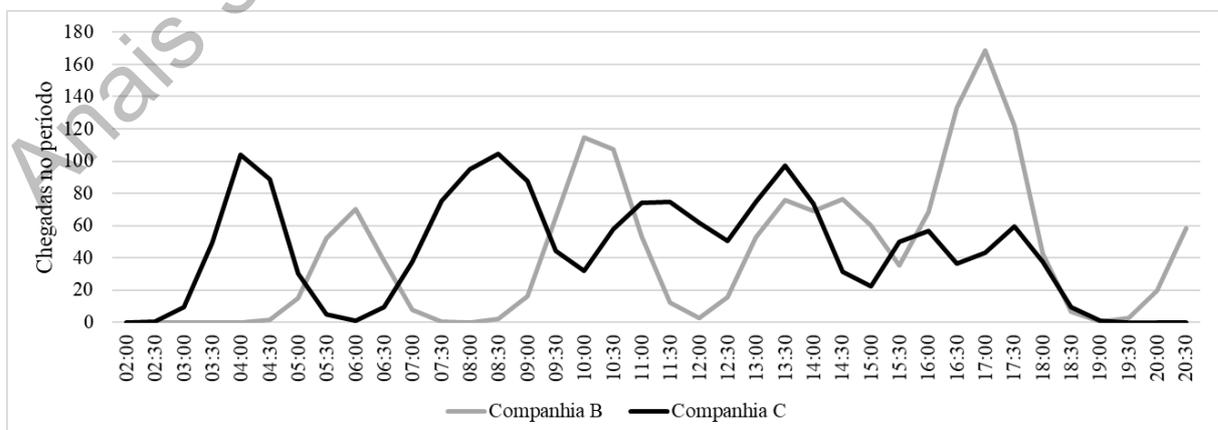
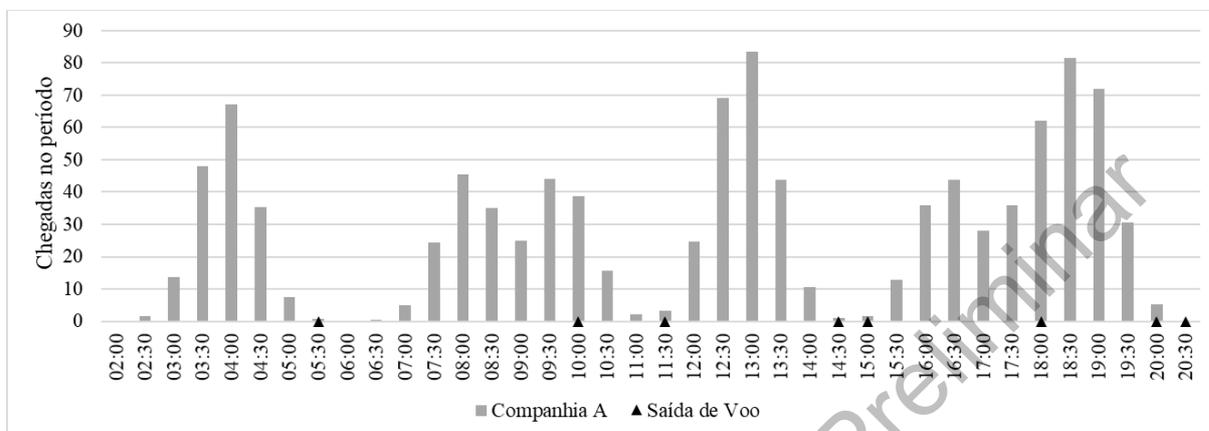


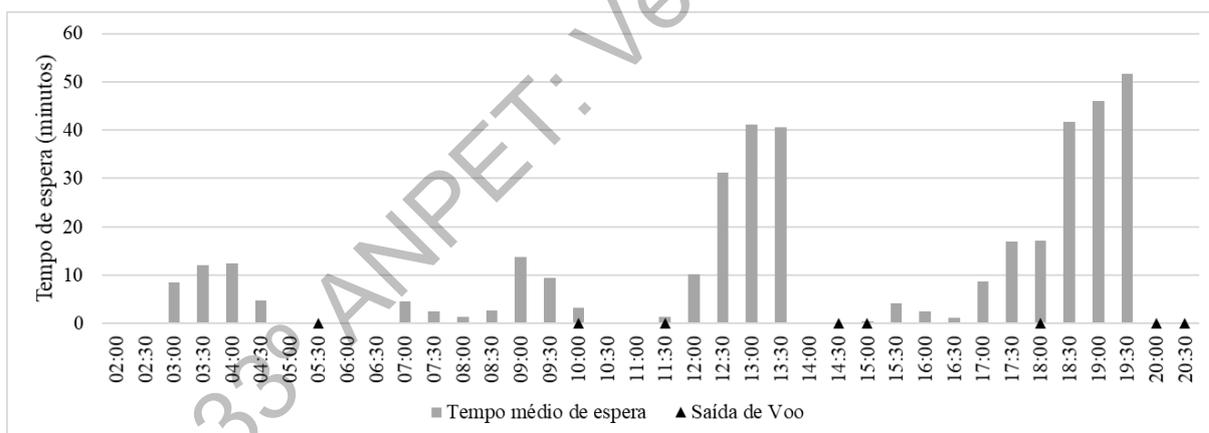
Figura 5: Gráfico de chegadas de passageiros para duas Companhias Aéreas em um mesmo período

Quando é analisada a relação de chegadas de uma companhia com o horário de seus voos, podemos perceber uma grande concordância dos resultados, visto que existe uma tendência para a maior quantidade de pessoas chegar aproximadamente uma hora antes do seu respectivo voo, como mostra a figura 6.



**Figura 6:** Gráfico de chegadas de passageiros de uma Companhia Aérea e o horário de saída de seus voos

Outro aspecto relevante sobre o sistema é a relação entre o tempo médio de espera para o *check-in*, que, como pode ser visto na figura 7, varia consideravelmente durante os diferentes períodos do dia.



**Figura 7:** Gráfico do tempo médio de espera para uma Companhia Aérea e o horário de saída de seus voos

Na obtenção desses resultados foram feitas simplificações a fim de possibilitar a modelagem do sistema. Uma das considerações feitas foi que a quantidade de balcões de *check-in* e máquinas de autoatendimento se mantem constante ao decorrer do dia, o que pode diferir da prática adotada pela companhia.

## 6. CONCLUSÕES, RECOMENDAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento desse estudo possibilitou o entendimento de como a mudança de modelagem da chegada dos passageiros no terminal de embarque permitiu um maior detalhamento do modelo e alterou o funcionamento desse sistema.

Ao realizar a modelagem do sistema, foi observado que diversas considerações foram possíveis devido a forma de chegada utilizada. A mais relevante para os resultados do sistema foi a

possibilidade da classificação de passageiros por companhia aérea, que permitiu que o processo de *check-in* pudesse ser realizado separadamente, conforme o que é realizado em diversas companhias.

Ademais, foram encontradas alterações consideráveis nos parâmetros analisados em relação ao tempo. Um exemplo disso é o tempo de espera, que apresenta um aumento notável com a sobreposição de voos em horários subsequentes e em relação a proximidade do momento de decolagem deste.

Recomenda-se para trabalhos futuros a comparação resultado do modelo com dados de aeroportos reais junto a análise de filas, como também com o método de chegada puramente aleatório.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, P. M. S. de. (1998) *Utilização de simulação na análise de componentes de terminais de passageiros de aeroportos brasileiros*. Dissertação (Mestrado) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, Brasil.
- Alves, P. C. J. *Módulo 7 – Terminal de Passageiros*. 25/06/2018. Disponível em: <http://www.civil.ita.br/~claudioj/tps.pdf>. Acesso em: 01/07/2019.
- Banks, J. *et al.* (2004) *Discrete-Event System Simulation*. (4ª. ed.) Prentice Hall, New York.
- FDC, Núcleo de Logística, Supply Chain e Infraestrutura - Fundação Don Cabral, *Custos Logísticos no Brasil 2017*. Disponível em: <https://www.fdc.org.br/conhecimento-site/nucleos-de-pesquisa-site/Materiais/pesquisa-custos-logisticos2017.pdf>, Acesso em: 01/07/2019
- Marcos, A. R. A. e Ferreira, L. (2015) Um modelo de simulação para gestão da capacidade dos aeroportos brasileiros. *Revista Eletrônica de Administração*, v. 21, n. 1, p. 1-26.
- Mendonça, F. V. T.. (2009) *Nível de serviço nos terminais de passageiros dos aeroportos*. Dissertação (Mestrado) - UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia de Transportes, Rio de Janeiro.
- Ribeiro, F. R. (2003) *Modelo de simulação para análise operacional de pátio de aeroportos*. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- Rolim, P. S. W. (2016) *Fatores determinantes no nível de serviço oferecido no check-in de voos internacionais*. Dissertação (Mestrado em Transporte aéreo e Aeroportos) Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.
- Silva, E. L. e Menezes, E. M. (2005) *Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação*. (4ª ed.) UFSC, Florianópolis, SC.

---

Maria Giuliana Occhioni Martins Villela (mgiulianaocchioni@gmail.com)  
Ricardo Villarroel Dávalos (ricardo.davalos@ufsc.br)  
Marco Antonio Martins Cavaco (cavaco@labmetro.ufsc.br)  
Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina  
R. Delfino Conti - Florianópolis, SC, Brasil