



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LÍGIA DA LUZ FONTES BAHR**

**ELABORAÇÃO DE MODELO DE SIMULAÇÃO DE UM TERMINAL  
AEROPORTUÁRIO DE PASSAGEIROS COM BASE EM DADOS DO  
AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ**

**FLORIANÓPOLIS  
2018**

LÍGIA DA LUZ FONTES BAHR

**ELABORAÇÃO DE MODELO DE SIMULAÇÃO DE UM TERMINAL  
AEROPORTUÁRIO DE PASSAGEIROS COM BASE EM DADOS DO  
AEROPORTO INTERNACIONAL HERCÍLIO LUZ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado pela acadêmica Lígia da Luz Fontes Bahr à banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil

Florianópolis, Julho de 2018

da Luz Fontes Bahr, Lúgia

Elaboração de modelo de simulação de um terminal aeroportuário de passageiros com base em dados do Aeroporto Internacional Hercílio Luz / Lúgia da Luz Fontes Bahr ; orientador, Alexandre Hering Coelho– Florianópolis, SC, 2018-

97p.

Dr. Alexandre Hering Coelho

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Civil , Centro Tecnológico.

Graduação em Engenharia Civil.

1. Palavra-chave1. 2. Palavra-chave2. 2. Palavra-chave3. I. Orientador. II. Universidade xxx. III. Faculdade de xxx. IV. Título

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

ELABORAÇÃO DE MODELO DE SIMULAÇÃO DE UM TERMINAL AEROPORTUÁRIO  
DE PASSAGEIROS COM BASE EM DADOS DO AEROPORTO INTERNACIONAL  
HERCÍLIO LUZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para a obtenção do grau de Engenharia Civil, sendo aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 3 de julho de 2018.

**Banca examinadora:**



---

Prof. Dr. Alexandre Hering Coelho  
Orientador

Prof. Dr. Luciana Rohde  
Membro

MSc. Nilton Goldner  
Membro

# Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais e irmãs, Jaime, Júlia, Manuela e Letícia, por serem a minha base forte, por me apoiarem em todas as decisões, por sonharem junto comigo e mostrarem diariamente quão grande é o nosso amor.

À toda minha família, primas, tios e avós, obrigada por se orgulharem de mim e por falarem que eu sempre posso ir mais longe.

Aos amigos, Eloisa, Julia, Mainan e Matheus, pela convivência nestes cinco anos de faculdade, pelas horas e horas de estudo, amor, amizade e por terem feito a engenharia mais leve. Sem vocês eu não teria conseguido.

Ao querido Arthur, por tudo que vivemos juntos.

Aos amigos Gabriela e Pedro, por fazerem meus dias em São Paulo mais felizes.

À Universidade Federal de Santa Catarina, aos professores e servidores, por proporcionarem estudo de alta qualidade.

Ao meu orientador, Professor Alexandre Hering Coelho, por sua dedicação à graduação, disponibilidade e orientação nestes últimos meses. A Engenharia Civil precisa de mais professores como o senhor.

Aos colegas de LabTrans, por toda confiança, paciência, infinitos aprendizados, risadas e companheirismo.

À equipe da FALCONI, Felipe, Fernando, Gustavo, Lucas, Luiz, Marcus, Mateus e Tatiana Larissa, por estes meses intensos de trabalho em São Paulo. Obrigada por me ensinarem tanto e por acreditarem em mim.



# Resumo

A crescente demanda pelo transporte aéreo no Brasil fez com que muitas instalações aeroportuárias não estivessem preparadas para o volume de passageiros, estando com capacidades aquém do necessário. É imprescindível que as administradoras dos aeroportos façam acompanhamento periódico dos parâmetros de desempenho de seus terminais aeroportuários de passageiros (TPS), sendo a simulação uma das possibilidades de monitoramentos mais eficazes. Neste trabalho é elaborado um modelo de simulação do terminal de passageiros do Aeroporto Hercílio Luz, utilizando-se versão gratuita do *software* AnyLogic e dados disponíveis publicamente, com o objetivo de verificar a possibilidade de análise de seus parâmetros de desempenho. Após a modelagem da infraestrutura e da demanda de passageiros, foram obtidos os resultados através de gráficos e mapas de densidade. Por meio dos resultados das simulações, foram identificados os níveis de serviço do modelo de simulação do terminal para os seguintes parâmetros: quantidade de passageiros em espera na sala de pré-embarque, quantidade de passageiros nas salas de restituição de bagagens, número máximo de passageiros esperando em filas dos balcões de *check-in* e taxa de processamento de passageiros nas áreas de vistoria de segurança. Destaca-se que, a intenção do trabalho não foi avaliar o funcionamento do aeroporto, e sim avaliar o uso de simulação para mensurar parâmetros de desempenho de terminais aeroportuários. Concluiu-se que a simulação é uma ferramenta adequada para obtenção destes parâmetros de terminais de passageiros, possibilitando prever o comportamento da instalação, o acompanhamento dos parâmetros operacionais e auxiliar em tomadas de decisão em estudos e projetos de melhoria. Entretanto, para a simulação ser realista, é necessário construir um modelo de elevada complexidade e possuir dados operacionais com altos níveis de detalhes.

**Palavras-chave:** Modelo de simulação. Terminal aeroportuário de passageiros. Parâmetros de desempenho.



# Abstract

The growing demand for air transportation in Brazil meant that many airport facilities were not ready for the passenger volume, with terminal capacity below the required. It is imperative that the airport's administrators periodically monitor the performance parameters of their terminals. One of the most effective monitoring alternatives is simulation. In this paper a model of simulation of Hercílio Luz Airport's passenger terminal is elaborated, using a free version of AnyLogic software and publicly available data, in order of verifying the possibility of analyzing its performance parameters. After modeling the infrastructure and the passenger demand, the results were obtained through graphs and density maps. Through the simulation results, the levels of service of the simulation model were obtained for the following parameters: number of waiting passengers in the pre-boarding lounge, in the baggage claim lobby and the maximum number of passengers waiting in queues of check-in counters. It is worth noting that the intention of the paper was not to analyse the operation of the airport, but to evaluate the use of simulation to measure performance parameters of airport terminals. It was concluded that the simulation is a suitable tool to obtain these parameters of passenger terminals, making it possible to predict the behavior of the facilities, the monitoring of operational parameters and to assist in decision making in studies and improvement layouts. However, for the simulation to become realistic, it is necessary to elaborate a model of high complexity and to get operational data with high levels of detail.

**Keywords:** Simulation modeling. Airport passenger terminal. Parameters of performance.



# Lista de ilustrações

Figura 1 – O sistema aeroportuário . . . . .	6
Figura 2 – Principais tipos de <i>layouts</i> de TPS . . . . .	9
Figura 3 – Distribuição vertical de passageiros e bagagens . . . . .	10
Figura 4 – Fluxos de Passageiros e Bagagens em um TPS . . . . .	12
Figura 5 – Atraso em função de demanda e capacidade . . . . .	15
Figura 6 – Formação Esquemática das Filas . . . . .	19
Figura 7 – Vista aérea do Aeroporto Internacional Hercílio Luz . . . . .	25
Figura 8 – Planta baixa do pavimento térreo do Aeroporto Internacional Hercílio Luz . . . . .	30
Figura 9 – Balcões de <i>check-in</i> do Aeroporto Internacional Hercílio Luz . . . . .	31
Figura 10 – Sala de pré-embarque do Aeroporto Hercílio Luz . . . . .	31
Figura 11 – Sala de restituição de bagagens do Aeroporto Hercílio Luz . . . . .	32
Figura 12 – Histórico de movimentações totais no Aeroporto de Florianópolis . . . . .	32
Figura 13 – Macro atividades para execução do método do trabalho . . . . .	33
Figura 14 – Interface do <i>software</i> AnyLogic . . . . .	36
Figura 15 – Seções da paleta Biblioteca de Pedestres . . . . .	37
Figura 16 – Atividades para realização da modelagem da infraestrutura . . . . .	38
Figura 17 – Identificação das instalações do TPS após a modelagem . . . . .	42
Figura 18 – Fluxograma de atividades do processamento dos dados de demanda . . . . .	43
Figura 19 – Fluxo dos passageiros em embarque com <i>check-in on-line</i> . . . . .	45
Figura 20 – Fluxo dos passageiros em embarque com <i>check-in</i> presencial . . . . .	45
Figura 21 – Fluxo dos passageiros em desembarque sem bagagens . . . . .	45
Figura 22 – Fluxo dos passageiros em desembarque com bagagens . . . . .	46
Figura 23 – Modelagem dos fluxos de passageiros em embarque com <i>check-in on-line</i> realizado . . . . .	52
Figura 24 – Modelagem dos fluxos de passageiros em embarque com <i>check-in</i> feito nos balcões . . . . .	53
Figura 25 – Modelagem dos fluxos de passageiros em desembarque . . . . .	54
Figura 26 – Seção de propriedades do gráfico <i>Time Plot</i> . . . . .	58
Figura 27 – Tela auxiliar para início da simulação . . . . .	60
Figura 28 – Visualização 2D da simulação . . . . .	62
Figura 29 – Mensagem de erro em relação ao tempo de parada da simulação . . . . .	63
Figura 30 – Determinação das unidades de tempo do modelo . . . . .	64
Figura 31 – Definição da hora de parada do modelo . . . . .	65
Figura 32 – Janela auxiliar para criação de novo agente . . . . .	66
Figura 33 – Câmera posicionada em frente ao modelo de infraestrutura . . . . .	67

Figura 34 – Visualização 3D da infraestrutura do TPS . . . . .	69
Figura 35 – Visualização 3D dos balcões das companhias aéreas . . . . .	70
Figura 36 – Visualização 3D da área de vistoria de segurança . . . . .	70
Figura 37 – Visualização 3D da sala de restituição de bagagens . . . . .	71
Figura 38 – Mapa de densidade máxima no TPS do Aeroporto Hercílio Luz para o Cenário 1 . . . . .	73
Figura 39 – Mapa de densidade máxima no TPS do Aeroporto Hercílio Luz para o Cenário 2 . . . . .	74
Figura 40 – Quantidade de passageiros na sala de pré-embarque . . . . .	76
Figura 41 – Quantidade de passageiros na sala de restituição de bagagens 1 . . . . .	78
Figura 42 – Quantidade de passageiros na sala de restituição de bagagens 2 . . . . .	79
Figura 43 – Quantidade de passageiros na fila de <i>check-in</i> da LATAM . . . . .	82
Figura 44 – Quantidade de passageiros na fila de <i>check-in</i> da GOL . . . . .	84
Figura 45 – Quantidade de passageiros na fila de <i>check-in</i> da Avianca . . . . .	85
Figura 46 – Quantidade de passageiros na fila de <i>check-in</i> da Azul . . . . .	87

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Níveis de Serviço - IATA . . . . .	16
Tabela 2 – Níveis de Serviço para o serviço de <i>check-in</i> em aeroporto internacional	17
Tabela 3 – Níveis de Serviço para processamento de passageiros na área de vistoria de segurança . . . . .	17
Tabela 4 – Níveis de Serviço para quantidade de passageiros na sala de pré-embarque . . . . .	18
Tabela 5 – Níveis de Serviço para quantidade de passageiros na sala de restituição de bagagens . . . . .	18
Tabela 6 – Exemplificação de componentes de sistemas . . . . .	20
Tabela 7 – Dados históricos de movimentação do Aeroporto Hercílio Luz . . . . .	28
Tabela 8 – Hora-pico de projeto do movimento de passageiros no Aeroporto Hercílio Luz . . . . .	29
Tabela 9 – Quantidade máxima de passageiros na sala de pré-embarque . . . . .	75
Tabela 10 – Quantidade máxima de passageiros na sala de restituição de bagagens 1 . . . . .	77
Tabela 11 – Quantidade máxima de passageiros na sala de restituição de bagagens 2 . . . . .	80
Tabela 12 – Quantidade máxima de passageiros na fila de <i>check-in</i> da LATAM . . . . .	81
Tabela 13 – Quantidade máxima de passageiros na fila de <i>check-in</i> da GOL . . . . .	83
Tabela 14 – Quantidade máxima de passageiros na fila de <i>check-in</i> da Avianca . . . . .	83
Tabela 15 – Quantidade máxima de passageiros na fila de <i>check-in</i> da Azul . . . . .	86
Tabela 16 – Quantidade de passageiros atendidos na área de vistoria de segurança 1 . . . . .	88
Tabela 17 – Quantidade de passageiros atendidos na área de vistoria de segurança 2 . . . . .	89
Tabela 18 – Vantagens e desvantagens do processo de simulação . . . . .	91



# Lista de abreviaturas e siglas

ANAC: Agência Nacional de Aviação Civil

BHR: Taxa de horas ocupadas

FAA: *Federal Aviation Administration*

FGVA: Função Geradora de Variáveis Aleatórias

FLN: Aeroporto Internacional de Florianópolis

HOTRAN: Horário de Transporte

IATA: *International Air Transport Association*

ICAA: *International Civil Aviation Authority*

ICAO: *International Civil Aviation Organization*

INFRAERO: Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária

LOS: *Level of Service*

P&D: Pista de Pouso e Decolagem

PIB: Produto Interno Bruto

PLE: *Personal Learning Edition*

SBFL: Aeroporto Internacional de Florianópolis

SBR: Taxa de ocupação padrão

SIROS: Sistema de Registro de Operações

TECA: Terminal de Cargas

TEPAX: Terminal de Passageiros

TPS: Terminal de Passageiros



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	<b>Objetivo geral</b>	<b>2</b>
1.1.2	<b>Objetivos específicos</b>	<b>2</b>
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO	3
1.3	LIMITAÇÕES	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>5</b>
2.1	AEROPORTO	5
2.1.1	<b>Introdução ao Sistema Aeroportuário</b>	<b>5</b>
2.1.2	<b>Lado ar e terra de um aeroporto</b>	<b>6</b>
2.2	TERMINAL DE PASSAGEIROS	7
2.2.1	<b>Funções e configurações</b>	<b>7</b>
2.2.2	<b>Dimensionamento</b>	<b>10</b>
2.2.3	<b>Fluxo de bagagens e passageiros</b>	<b>11</b>
2.3	ANÁLISE DE DEMANDA E CAPACIDADE EM TPS	13
2.3.1	<b>Demanda</b>	<b>13</b>
2.3.2	<b>Capacidade</b>	<b>14</b>
2.3.3	<b>Atraso</b>	<b>15</b>
2.3.4	<b>Nível de serviço</b>	<b>16</b>
2.3.5	<b>Teoria das Filas</b>	<b>17</b>
2.4	SIMULAÇÃO	19
2.4.1	<b>Sistema e modelo de simulação</b>	<b>20</b>
2.4.2	<b>Calibração, verificação e validação</b>	<b>21</b>
2.4.3	<b>Softwares para Simulação</b>	<b>23</b>
<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>25</b>
3.1	DADOS SOBRE INFRAESTRUTURA	26
3.2	DADOS SOBRE DEMANDA	28
<b>4</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>33</b>
4.1	RECURSOS DE <i>SOFTWARE</i> E <i>HARDWARE</i> UTILIZADOS	33
4.2	O <i>SOFTWARE</i> ANYLOGIC	34
4.3	MODELAGEM DA INFRAESTRUTURA	38
4.3.1	<b>Delimitação das áreas operacionais e não operacionais</b>	<b>38</b>
4.3.2	<b>Delimitação das instalações operacionais</b>	<b>40</b>

4.4	MODELAGEM DOS DADOS DE DEMANDA . . . . .	43
4.4.1	<b>Demanda de passageiros na hora-pico . . . . .</b>	<b>44</b>
4.4.2	<b>Determinação dos fluxos de passageiros . . . . .</b>	<b>44</b>
4.4.3	<b>Modelagem dos fluxos de passageiros . . . . .</b>	<b>46</b>
4.5	PROCESSAMENTO DE RESULTADOS . . . . .	55
4.5.1	<b>Mapa de densidade de pedestres . . . . .</b>	<b>55</b>
4.5.2	<b>Quantidade de passageiros em de determinadas áreas . . . . .</b>	<b>56</b>
4.5.3	<b>Quantidade de passageiros em serviço com linhas . . . . .</b>	<b>59</b>
4.6	EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO . . . . .	60
4.6.1	<b>Visualização 3D da simulação . . . . .</b>	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>69</b>
5.1	MAPA DE DENSIDADE DE PASSAGEIROS . . . . .	69
5.2	QUANTIDADE DE PASSAGEIROS EM ÁREAS DE INSTALAÇÕES OPERACIONAIS . . . . .	75
5.3	QUANTIDADE DE PASSAGEIROS EM FILAS DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS . . . . .	81
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES . . . . .</b>	<b>91</b>
6.1	CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .	91
6.2	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS . . . . .	93
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>95</b>

# 1 Introdução

Atualmente há 128 aeroportos espalhados pelo território brasileiro, sendo que o setor de transporte aéreo no Brasil apresenta importante contribuição para a economia do país. No ano de 2016, o setor aeroportuário assegurou mais de 1,1 milhão de vagas de empregos, direta e indiretamente, além de, em 2014, ter contribuído com R\$ 32,9 bilhões para o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil (ECONOMICS, 2016).

Porém, o transporte aeroportuário se popularizou somente nos anos 2000, em que houve a introdução da liberdade tarifária no Brasil, quando a tarifa caiu mais de 50%. Desde do ano 2000, a tarifa média cai 4% ao ano, fazendo com que o volume de passageiros embarcados tenha passado de 31 milhões ao ano para 100 milhões<sup>1</sup>.

O crescimento de demanda pelo transporte aéreo fez com que muitas instalações não estivessem preparadas para tal volume de passageiros, estando com capacidades aquém do necessário, pois a maioria dos aeroportos brasileiros foram dimensionados e construídos anteriormente a este ano<sup>2</sup>. Os terminais de passageiros estão operando acima de sua capacidade e com infraestruturas defasadas, causando atrasos e transtornos aos usuários. No ano de 2016, em pesquisa do Fórum Econômico Mundial, a infraestrutura dos aeroportos brasileiros foi considerada a 4ª pior entre 23 países da América Latina e Caribe (ECONOMICS, 2016).

Após os anos 2000, para alguns aeroportos, estudos e projetos de ampliação, adequação e construção de novas instalações foram realizados. Estes tiveram a finalidade de que os terminais de passageiros, o número de pistas de pouso e decolagem e os acessos ficassem adequados aos novos números de demanda. Porém, tais recursos não foram repassados para a totalidade dos aeroportos, e a responsabilidade fica com as administrações dos aeroportos, com Infraero e, atualmente, com as empresas concessionárias.

Como a Infraero é uma empresa pública pertencente ao Governo Federal, os mais de 50 aeroportos sob sua administração estão subordinados aos critérios, burocracias e recursos públicos para possibilitarem melhorias em suas instalações. Anualmente, a Infraero divulga o Anuário Estatístico Operacional, com o objetivo de apresentar informações básicas visando o diagnóstico de desempenho técnico-operacional dos aeroportos sob sua administração, permitindo avaliar a demanda e movimentação operacional diária de cada um dos aeroportos (INFRAERO, 2017).

<sup>1</sup> Disponível no site da Folha de São Paulo: <<http://estudio.folha.uol.com.br/brasil-que-voa/2017/09/1921592-liberdade-no-ar.shtml>>. Acesso em: 10 mai. 2018

<sup>2</sup> Disponível no site da Folha de São Paulo: <<http://estudio.folha.uol.com.br/brasil-que-voa/2017/09/1921592-liberdade-no-ar.shtml>>. Acesso em: 10 mai. 2018

Outro fator que deve ser levado em consideração, relacionado às condições atuais das infraestruturas dos terminais de passageiros, é o aumento do número de concessões dos aeroportos. Atualmente, 10 aeroportos brasileiros já foram leiloados e concedidos a empresas<sup>3</sup>, portanto os investimentos deixam de ser responsabilidade dos governos e passam a ser privados. Conseqüentemente, há grande expectativa de que, nos próximos anos, haja contínua melhoria dos aeroportos concessionados.

Portanto, torna-se imprescindível que a Infraero e as empresas concessionárias dos aeroportos realizem acompanhamento do crescimento da demanda dos seus terminais aeroportuários, além de verificarem periodicamente a capacidade instalada destas infraestruturas.

Nos dias atuais, a simulação é uma forte aliada para que a Infraero, as empresas concessionárias e os especialistas consigam acompanhar os parâmetros de desempenho de um terminal aeroportuário de passageiros. Através de uma simulação há possibilidade de descrever o comportamento do sistema, além de usar o modelo para prever o comportamento futuro das instalações (BANKS; CARSON; NELSON, 1999).

Por meio destas análises, torna-se possível avaliação dos parâmetros de desempenho dos terminais aeroportuários, para que em seguida, se necessário, sejam realizados estudos e projetos de melhorias, através de ampliações, mudanças de *layout* ou, em casos mais críticos, construções de novas instalações.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

A finalidade do presente trabalho é aplicar um procedimento para análise de parâmetros de desempenho de um terminal aeroportuário de passageiros com base em um modelo de simulação.

### 1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são os seguintes:

- Verificar as dificuldades para obtenção de dados sobre infraestrutura e demanda para a aplicação de um estudo em um aeroporto existente;
- Identificar as vantagens e desvantagens do uso de modelos de simulação;

<sup>3</sup> Disponível no site da ANAC: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/concessoes>>. Acesso em: 10 mai. 2018

- Apresentação de conceitos e técnicas de modelagem;
- Verificar o nível de detalhes nos processos envolvidos com os fluxos de pessoas, possível de ser alcançado com o modelo de simulação utilizado;
- Explorar os meios de extração de resultados do modelo de simulação utilizado e definir uma forma sistemática para a sua apresentação;
- Realizar análises dos resultados obtidos com o modelo desenvolvido.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está estruturado da seguinte forma:

- Capítulo 1, Introdução: há apresentação do tema abordado, os objetivos gerais e específicos, limitações do trabalho e a estrutura do mesmo;
- Capítulo 2, Revisão bibliográfica: aborda a revisão bibliográfica, onde apresentou-se os principais conceitos referentes ao assunto do trabalho, como o TPS, capacidade e nível de serviço, passageiros na hora-pico, método das filas e simulação;
- Capítulo 3, Área de estudo: aborda a descrição da área de estudo, onde foram apresentadas as principais características referentes à infraestrutura e demanda da instalação;
- Capítulo 4, Método: apresenta o método utilizado para elaboração deste trabalho;
- Capítulo 5, Resultados: são apresentados e discutidos os resultados obtidos através do desenvolvimento do presente trabalho;
- Capítulo 6, Conclusões: dispõe dos aprendizados obtidos por meio do desenvolvimento do trabalho, além de respostas obtidas através da elaboração do mesmo.

## 1.3 LIMITAÇÕES

A versão do *software* de simulação AnyLogic utilizada no presente trabalho foi a 8.1.0 *Personal Learning Edition* (PLE). Esta versão é gratuita e disponível para estudantes e iniciantes, mas a mesma possui algumas limitações<sup>4</sup>. São as limitações que tiveram influência direta neste trabalho:

<sup>4</sup> Disponível no site do *software* Anylogic: <<https://www.anylogic.com/downloads/>>. Acesso em: 31 mai. 2018

- Não é possível importar desenhos do *software* AutoCAD;
- A simulação tem limitação de tempo de uma hora;
- Não há possibilidade de integração de componentes básicos de base de dados externas;
- Não há possibilidade de o modelo iniciar a simulação "aquecido";
- Não é possível realizar o experimento de calibração.

Outra limitação foi em relação aos dados. Várias simplificações foram adotadas em relação à demanda e divisão de fluxo de passageiros no terminal do Aeroporto Hercílio Luz. Estas são as simplificações adotadas:

- Quantidade média de passageiros que realizam *check-in* em cada uma das opções disponíveis;
- Porcentagem média dos passageiros em embarque e desembarque que utilizam o serviço de despacho de bagagens;
- Tempo médio para a realização do *check-in* e despacho de bagagens nos balcões das companhias aéreas;
- Tempo de processamento nos dois serviços de verificação do cartão de embarque;
- Tempo de processamento na área de vistoria de segurança;
- Tempo médio de espera dos passageiros na sala de pré-embarque;
- Tempo médio de espera pelas bagagens nas proximidades das esteiras nas salas de restituição de bagagens.

Não foram medidos os tempos de operações de processamento do TPS e, tão pouco, foram solicitados à administração do Aeroporto Hercílio Luz, portanto o modelo de simulação é semi-realista e foram arbitrados os valores destas variáveis.

Foi desconsiderada a movimentação de passageiros em trânsito internacional, e assim, para fins de análise, o Aeroporto Hercílio Luz foi tratado como um aeroporto do tipo doméstico.

## 2 Revisão bibliográfica

O presente capítulo busca abordar os aspectos relevantes sobre o terminal de passageiros, elencando sua importância para o sistema de transporte aéreo e suas principais características. Este capítulo também possui o intuito de apresentar informações relevantes para o entendimento e a elaboração da modelagem e simulação de terminais aeroportuários de passageiros.

### 2.1 AEROPORTO

A fim de construir entendimento geral sobre as instalações aeroportuárias e o sistema em que estão inseridas, esta seção apresenta uma breve introdução ao sistema aeroportuário, destacando o seu papel no transporte de pessoas, e também explana sobre a divisão macro de um aeroporto, lados ar e terra.

#### 2.1.1 Introdução ao Sistema Aeroportuário

A aviação surgiu em 1903, nos Estados Unidos da América, com o primeiro voo de uma aeronave em um campo amplo. Entretanto, os primeiros aeroportos surgiram nos Estados Unidos da América somente no ano de 1939, durante a segunda guerra mundial. A construção de 250 aeroportos ocorreu devido a investimentos federais para o Desenvolvimento de Áreas de Pouso para a Defesa Nacional (DLAND) (YOUNG; WELLS, 2014).

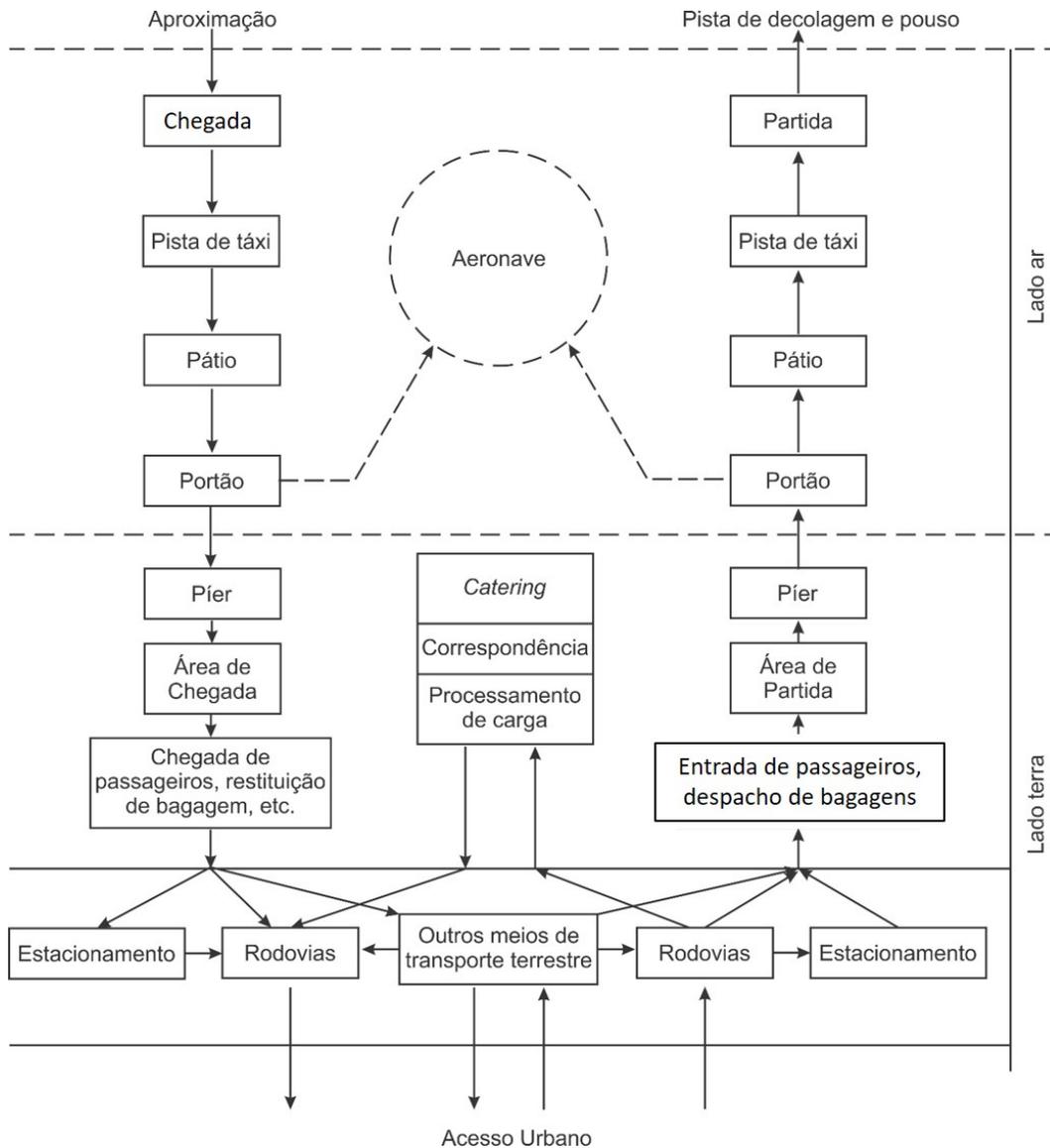
A partir de então, os aeroportos tornaram-se recursos nacionais vitais, desempenhando importante papel no transporte de pessoas e bens, nos níveis regional, nacional e internacional (TRB, 2010). Estas instalações tornaram-se elemento vital para o crescimento econômico, além de ser uma fonte significativa de empregos (YOUNG; WELLS, 2014).

Segundo Ashford et al. (2015), o aeroporto é o local onde realiza-se a transferência de modo de transporte, do terrestre para o aéreo ou no sentido contrário. De acordo com Young e Wells (2014), o aeroporto é uma instalação complexa do sistema de transporte aéreo, sendo projetada para atender passageiros, cargas e aeronaves em um curto período de tempo.

A instalação aeroportuária é complexa, porém é subdividida em dois componentes: o lado ar e o lado terra. Ambos os componentes são fundamentais para o transporte de cargas e passageiros e são planejados de forma a permitir o fluxo apropriado de uma parte para outra (YOUNG; WELLS, 2014).

A Figura 1 ilustra, de forma simplificada, as instalações onde correm os principais processos para os fluxos de embarque e desembarque de passageiros em um aeroporto.

Figura 1 – O sistema aeroportuário



Fonte: Adaptado de Ashford et al. (2015)

### 2.1.2 Lado ar e terra de um aeroporto

Conforme Young e Wells (2014) a principal função dos componentes do lado ar de um aeroporto é acomodar os movimentos das aeronaves. Esse componente é formado pela área de movimento de um aeródromo, terrenos e edificações adjacentes, cujo acesso é controlado (AGENCIA NACIONAL DE AVIACAO CIVIL, 2016). Segundo Horonjeff et al. (2010), são componentes do lado ar de um aeroporto: pistas de pouso e decolagem (P&D), pistas de taxiamento, sinalizações e instalações gerais necessárias à aviação.

De forma mais ampla, assume-se que o lado ar é dividido em aeródromo e espaço aéreo. O aeródromo é composto por todas as instalações físicas do aeroporto, já o espaço aéreo é a região ao redor do aeroporto, onde as aeronaves realizam manobras antes de pousos e depois de decolagens (YOUNG; WELLS, 2014).

De acordo com Young e Wells (2014) o lado terra de um aeroporto é planejado e administrado com a finalidade de acomodar a movimentação de passageiros, veículos e cargas, quando ainda estão em terra.

São subdivisões do lado terra de uma instalação aeroportuária, conforme Horonjeff et al. (2010): portões de embarque e desembarque, instalações dos terminais, destinadas tanto para cargas quanto para passageiros, estacionamento e vias internas de acesso.

O elo de acesso ou egresso, do sistema de chegadas ou partidas, de passageiros ou bagagens abrange desde os veículos utilizados até a infraestrutura para mobilidade disponível. Estão incluídos: serviços rodoviários ou ferroviários, táxis, ônibus, mas também estacionamentos internos e externos ao aeroporto (YOUNG; WELLS, 2014).

De acordo com Kazda (2007), o acesso a um aeroporto e o tempo de transporte até ele são fatores fundamentais no processo de escolha do usuário, portanto a qualidade e quantidade de acessos terrestres tornam-se fatores limitantes ao desenvolvimento do aeroporto.

## 2.2 TERMINAL DE PASSAGEIROS

Conforme TRB (2010) o terminal aeroportuário de passageiros (TPS) apresenta grande significância no cotidiano dos usuários. Por este motivo, o seu dimensionamento deve ser feito de forma adequada, a fim de que seus componentes não fiquem sobrecarregados ou ociosos, mas também para que haja desempenho efetivo dos seus fluxos de passageiros e bagagens.

### 2.2.1 Funções e configurações

Conforme Young e Wells (2014), o terminal aeroportuário de passageiros proporciona o vínculo entre seus componentes no ar e em terra. Segundo Falcao, Zimmermann e Correia (2012), a principal função de um TPS é ser um mecanismo para transferência dos usuários, partindo do solo ao transporte aéreo ou vice-versa. Além da função básica de atender usuários e aeronaves, atualmente os terminais de aeroportos também incorporam inúmeros serviços, como lojas, serviços de banco, alimentação e

até hotéis, para atender as inúmeras necessidades dos usuários durante suas viagens (YOUNG; WELLS, 2014).

Conforme Young e Wells (2014), o *layout* de cada aeroporto é um caso particular, pois depende de fatores como o tamanho das aeronaves, volume de passageiros e o local em que será construído. Segundo Horonjeff et al. (2010), há quatro configurações básicas de *layouts* de terminais, apresentados na Figura 2. São eles:

a) Linear: é o *layout* de terminal mais comum em aeroportos de menor porte. Sendo interessante incluir no projeto a possibilidade de transformação em um terminal satélite, píer ou transportador, caso haja um acréscimo no volume de passageiros movimentados.

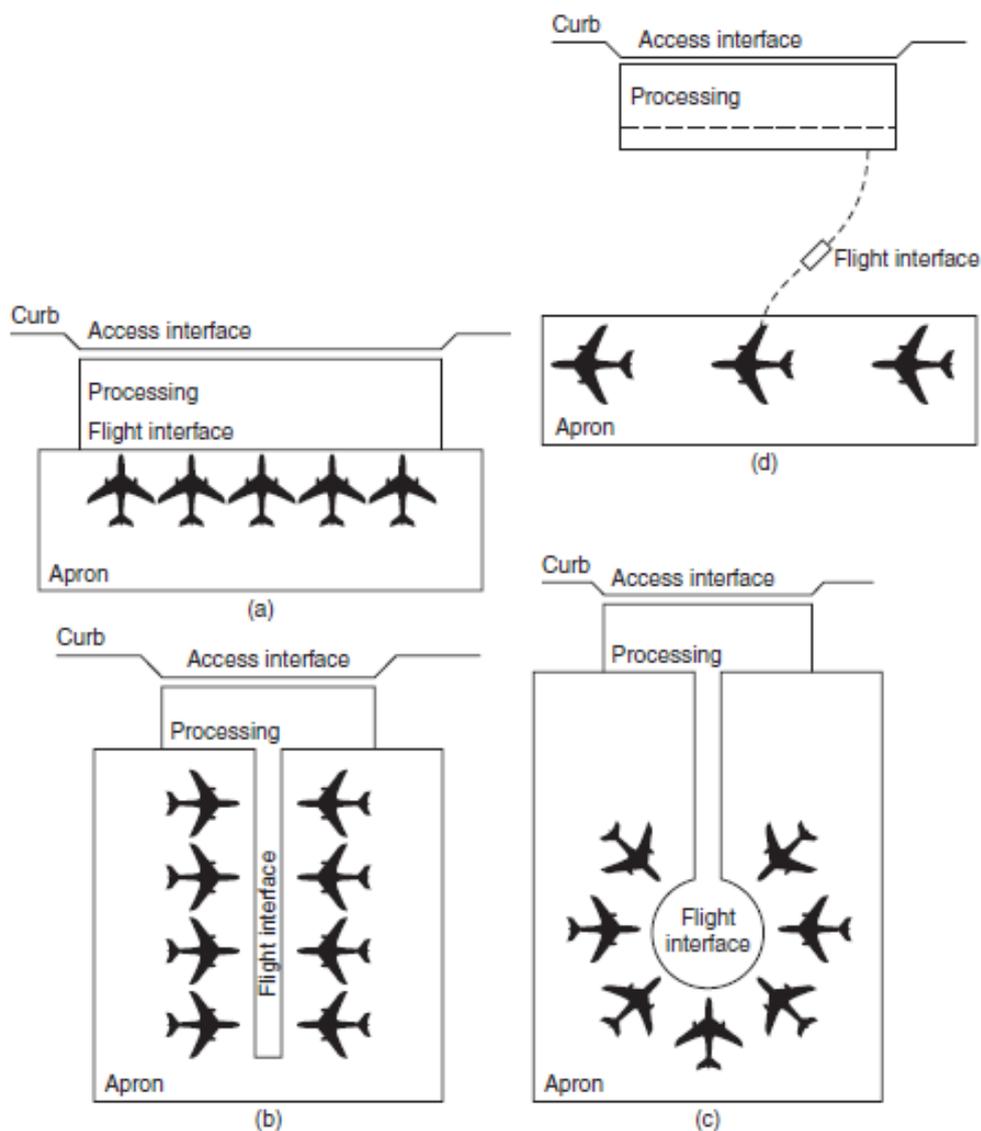
b) Píer: neste tipo de terminal, as aeronaves ficam estacionadas, em posição *noise in*, ao longo do eixo dos píeres. Com esta configuração, caso haja necessidade, há maior facilidade de expansão do TPS, além de ser economicamente vantajosa em relação ao custo de operação. A principal desvantagem deste tipo de formato de terminal, é a longa distância que os usuários devem percorrer para chegar nos portões de embarque.

c) Satélite: consiste em uma edificação rodeada de aeronaves, estando afastada do terminal, devendo existir meios de transporte para os usuários. Este tipo de conceito permite manobras e taxiamentos mais simples, porém demanda uma maior área que outros tipos de arranjos. A principal desvantagem é o custo mais alto de construção e operação, pois há necessidade de veículos ou esteiras para melhor locomoção dos usuários.

d) Transportador: neste *layout* as aeronaves ficam estacionadas em locais remotos, maximizando o número de aeronaves estacionadas e de passageiros processados, portanto há menor infraestrutura de saguões. Para que os passageiros e tripulação não precisem percorrer longas distâncias, para chegarem aos aviões ou no terminal devem embarcar em ônibus.

Existem diferentes configurações de distribuição vertical de um terminal aeroportuário. A principal razão, segundo Horonjeff et al. (2010), de distribuir as atividades de processamento de terminal de passageiros em diferentes níveis, é separar os fluxos de embarque, desembarque e de bagagens. Conforme Ashford, Mumayiz e Wright (2011) e como ilustrado na Figura 3, as configurações de distribuição verticais são:

l) Um nível: configuração utilizada em TPS de fluxos pequenos de bagagens e passageiros. O processamento de passageiros e bagagens é realizado em apenas um nível. Os fluxos de passageiros em embarque iniciam no meio fio e terminam na fachada do terminal, no pátio de aeronaves. Para os fluxos de passageiros em

Figura 2 – Principais tipos de *layouts* de TPS

Fonte: Horonjeff et al. (2010) a) linear, b) píer, c) satélite, d) transportador

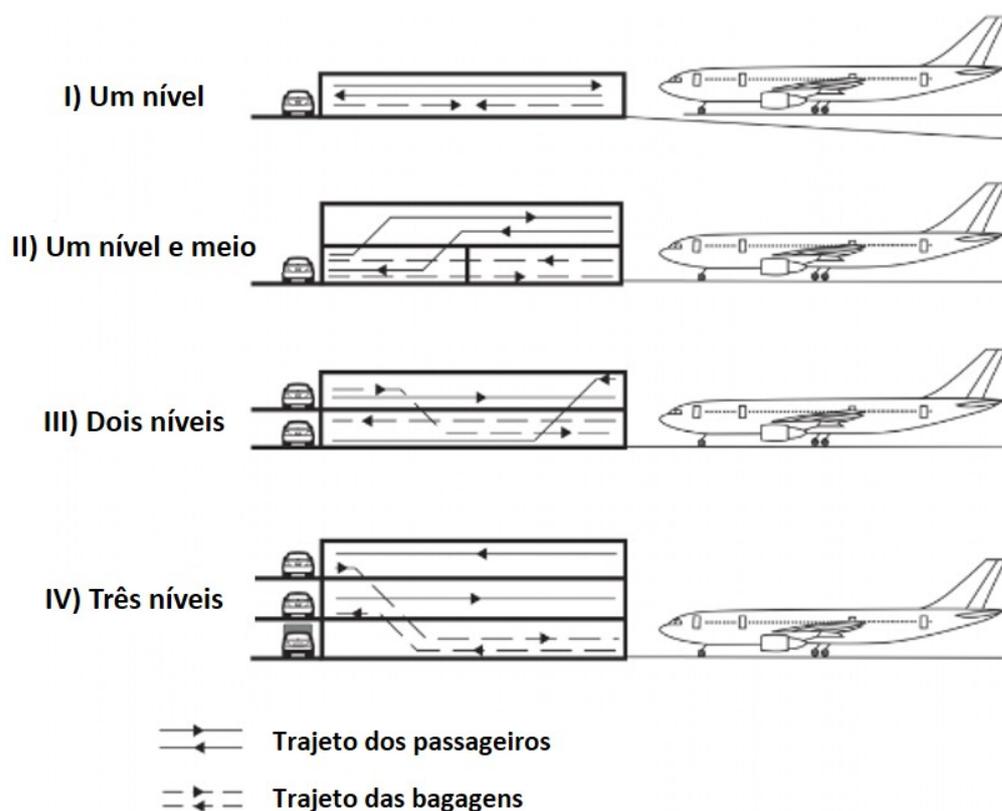
desembarque, iniciam na fachada do terminal, no pátio de aeronaves, e terminam no meio fio;

II) Um nível e meio: é uma variação do arranjo de dois níveis, dispondo de suas vantagens, mas geralmente os passageiros devem mudar de nível logo que adentram ao TPS, podendo causar conflitos de fluxos;

III) Dois níveis: normalmente, há embarque dos passageiros no nível superior e os passageiros em desembarque chegam no nível superior e em seguida são direcionados para o nível inferior, para controles governamentais e restituição de bagagens;

IV) Três níveis: é a forma mais usual de separação entre os fluxos de embarque, desembarque e de bagagens, pois há minimização dos conflitos entre os fluxos. Porém, como há acréscimo de mais um nível, o custo implantação e operação do terceiro andar talvez não seja justificado.

Figura 3 – Distribuição vertical de passageiros e bagagens



Fonte: Adaptado de Ashford, Mumayiz e Wright (2011)

Os TPS devem ter eficiência operacional, funcionalidade e serem comercialmente viáveis e acessíveis a todos os usuários. Apesar de cada terminal ser único, muitos enfrentam desafios similares em seus dimensionamentos (IATA, 2014).

### 2.2.2 Dimensionamento

O dimensionamento arquitetônico de um terminal de passageiros é realizado a partir da demanda de usuários na hora-pico da instalação. Sabe-se que, ao passar dos anos ocorrem variações na demanda de passageiros, nas necessidades das empresas aéreas e nas tecnologias disponíveis para aeronaves. Portanto, segundo Ashford, Mumayiz e Wright (2011), é importante que um TPS seja mutável, possibilitando alterações na estrutura e mantendo a qualidade do serviço oferecido.

Há três tipos principais de métodos de dimensionamento das áreas de terminais aeroportuários, de acordo com Medeiros (2004), são eles: empíricos, analíticos e de

simulação. Os métodos empíricos baseiam-se no bom senso e na experiência dos autores, como por exemplo os métodos da *International Air Transport Association* (IATA) e da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (Infraero). Os métodos analíticos baseiam-se em fórmulas, dados estatísticos e regressões lineares, como os da *Federal Aviation Administration* (FAA) e *International Civil Aviation Authority* (ICAA). Por fim, há os métodos de simulação, que utilizam *softwares* para criar modelos representativos e simulá-los.

Caberá ao engenheiro responsável pelo planejamento do terminal aeroportuário de passageiros a definição do método de dimensionamento, devendo levar em consideração algumas variáveis, como: dados disponíveis, orçamento, conhecimento e local de implantação do TPS. Segundo Young e Wells (2014), o planejador de um TPS possui a difícil tarefa de prever condições futuras, em um local altamente mutável. Portanto, além de se ater aos requisitos básicos, ele deverá planejar uma estrutura com flexibilidade para ampliações futuras.

A Infraero (2017) não recomenda que o dimensionamento das instalações de um terminal seja realizado com base na hora-pico de maior demanda do ano (absoluta), pois resultaria em investimentos vultuosos e uma estrutura superdimensionada para a maioria dos períodos de utilização. Há recomendação de utilizar as demandas horárias definidas por Wang (1995), conforme apresentado na Seção 2.3.1.

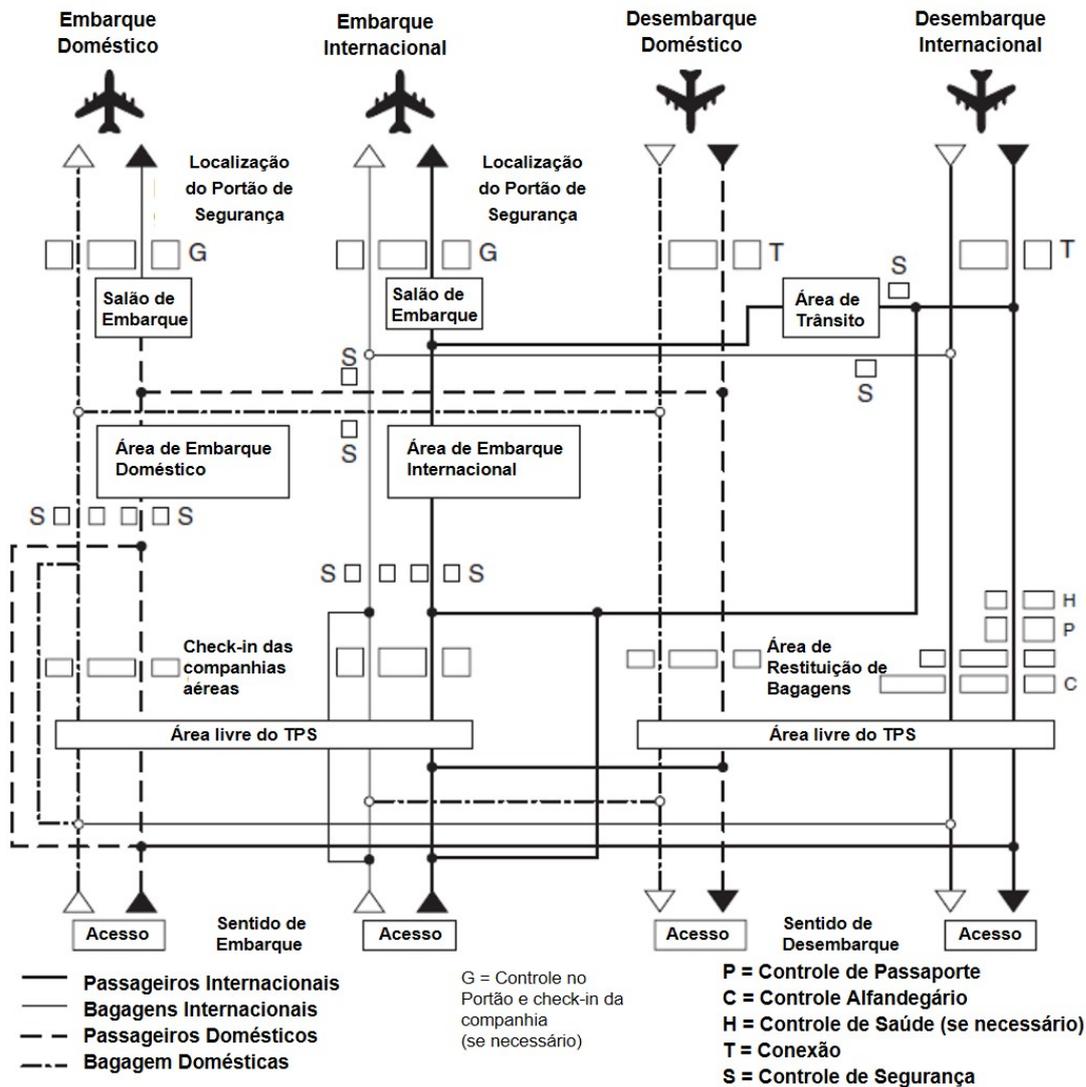
### 2.2.3 Fluxo de bagagens e passageiros

Fluxo é definido como um movimento contínuo, de algo ou alguém que segue um curso<sup>1</sup>. Um bom planejamento de um terminal aeroportuário leva em consideração os variados fluxos de passageiros e bagagens do TPS (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011). A Figura 4 ilustra os principais movimentos de bagagens e passageiros em voos domésticos e internacionais dentro de um TPS.

Como pode ser analisado na Figura 4, a movimentação de um passageiro em voo doméstico é mais simples, tanto no sentido de embarque como no de desembarque, se comparado a de um passageiro em trânsito internacional. De acordo com Ashford, Mumayiz e Wright (2011), o primeiro passo para o embarque é similar para ambos os tipos de passageiros, todos devem passar pela área de *check-in* do TPS. Em seguida, apenas com as bagagens de mão, os passageiros em voos domésticos passam pela segurança e esperam o voo na sala de pré-embarque. Os passageiros em voos internacionais passam pela segurança, em seguida pelo controle alfandegário e também esperam o voo na sala de pré-embarque.

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/busca?id=oOPY>>. Acesso em: 19 abr. 2018

Figura 4 – Fluxos de Passageiros e Bagagens em um TPS



Fonte: Adaptado de Ashford, Mumayiz e Wright (2011)

Segundo os mesmos autores, no sentido de desembarque, os passageiros em voo doméstico vão direto para o local de retirada de bagagem e já podem ir para o saguão de desembarque. Já os passageiros em voos internacionais, ao desembarcarem devem passar pelo controle de saúde, imigração, controle alfandegário e então podem retirar suas bagagens e ir para o saguão de desembarque, sendo que etapas de embarque e desembarque podem variar de acordo com os países de destino e origem.

A movimentação das bagagens é similar em ambos os tipos de voos, no embarque são recebidas pela companhia aérea no balcão de *check-in*, é inspecionada no local de inspeção de segurança e é levada às aeronaves. No desembarque a movimentação das bagagens é mais simples ainda, como pode-se analisar na Figura 4, as mesmas são retiradas dos porões das aeronaves e são levadas até as esteiras para retirada dos passageiros.

## 2.3 ANÁLISE DE DEMANDA E CAPACIDADE EM TPS

A infraestrutura aeroportuária brasileira não cresceu no mesmo ritmo da demanda, portanto muitos dos principais aeroportos nacionais além de não serem protagonistas em suas localidades, apresentam sérios gargalos em seus terminais de passageiros, como por exemplo, a redução no nível de serviço prestado aos usuários (MCKINSEY & COMPANY, 2010).

O desenvolvimento do transporte aéreo fez com que aumentasse a demanda por serviços aeroportuários e a necessidade de processos mais eficientes, em relação às aeronaves, passageiros e bagagens. Por isso, iniciaram-se análises sobre as eficiências das operações dos aeroportos. Tais análises tinham como principais temáticas, a capacidade, atrasos e nível de serviço dos sistemas aeroportuários (PABEDINSKAITE; AKSTINAITEA, 2014).

Esta seção apresenta uma breve introdução aos principais parâmetros de desempenho de uma instalação aeroportuária, fazendo apresentação dos conceitos de demanda, capacidade, nível de serviço e atraso.

### 2.3.1 Demanda

A demanda pelo transporte aéreo cresceu nos últimos 30 anos de forma tão considerável que as instalações aeroportuárias não estão sendo capazes de acomodar todas as viagens, fazendo com que exista uma deterioração dos serviços de transporte aéreo (HORONJEFF et al., 2010).

De acordo com New York City Department of Transportation (2007), um dos principais desafios na gestão de um TPS é conseguir processar toda a demanda que a instalação está imposta. O mesmo autor afirma que cada terminal aeroportuário apresenta características diferentes de hora-pico, este fato ocorre principalmente devido aos horários de voos das companhias aéreas e os motivos das viagens.

Medeiros (2004) afirma que há diversas definições diferentes para a hora-pico, dependendo do órgão responsável ou fonte de estudo. Conforme Young e Wells (2014), a demanda de passageiros na hora-pico refere-se ao período de tempo de maior uso dos serviços do sistema aeroportuário.

A IATA (2014) define o dia de projeto como o segundo dia de maior movimentação em uma semana média, durante o mês de pico. A semana média é determinada através da divisão entre o número de passageiros e número de semanas no mês de pico. Em seguida é selecionado o período de sete dias que aproxima-se mais de uma semana média e, o dia de projeto é o segundo dia mais movimentado desta semana.

A FAA (1988) define que as instalações dos terminais aeroportuários são planejadas e dimensionadas a partir do horário de pico do dia médio no mês de pico. Para determinação do dia médio no mês de pico, a FAA recomenda analisar dados históricos de três a cinco anos.

A Taxa de ocupação padrão (SBR) é a definição de horário de pico pela *British Airports Authority*, atualmente denominada *Heathrow Airport Limited*. O SBR é definido através da 30ª hora mais movimentada do fluxo anual de passageiros do aeroporto Ashford, Mumayiz e Wright (2011). Conforme Wells (1996) apud (MEDEIROS, 2004), houve modificação da SBR e foi determinada a Taxa de horas ocupadas (BHR), a qual é determinada através da organização em ordem decrescente dos dados por hora, iniciando da hora de maior volume. Deve ser calculada a soma acumulada dos volumes até que correspondam a 5% do valor anual.

Infraero (2017) determinou a hora-pico de projeto de movimento de passageiros através do método de Wang (1995), em que as demandas horárias são descritas em percentual e colocadas em ordem decrescente. Tais percentuais são somados até que haja um acúmulo de 3,5% do movimento anual. Portanto, para o planejamento de terminais aeroportuários de passageiros, utiliza-se a demanda horária corresponde ao registro em que se atingiu o acúmulo de 3,5% do movimento anual.

### 2.3.2 Capacidade

Horonjeff et al. (2010) define o termo capacidade como a habilidade de processamento de serviço durante um período de tempo, a qual, geralmente, é definida pelo número máximo de operações que a determinada instalação consegue acomodar. No âmbito de um aeroporto, a capacidade do lado ar está relacionada a acomodar pousos e decolagens de aeronaves (ASHFORD; MUMAYIZ; WRIGHT, 2011).

Segundo IATA (2014), a análise de capacidade de um terminal é realizada para verificar as necessidades da instalação, como parte do processo de planejamento, medir a capacidade operacional de componentes variados do terminal, e justificar novos investimentos. Para que ocorra um aumento de capacidade em uma instalação aeroportuária, de acordo com Young e Wells (2014), pode-se investir em novas infraestruturas, como novas pistas, terminais, vias de acesso, mas também em análise das diretrizes e tecnologias utilizadas, porque podem estar defasadas e não serem as mais eficientes do momento.

A capacidade de um aeroporto está ligada à capacidade de seus subsistemas, sendo que o que tiver menor capacidade será considerado o gargalo (OLIVEIRA; ALVES, 2008). Cada um dos subsistemas de um aeroporto dispõe de alguma limitação, ou seja, limite de capacidade, gerando condições de atraso ou desconforto inaceitáveis

(OLIVEIRA; ALVES, 2008). Como um aeroporto é capaz de operar em diversos níveis de congestionamento e atraso, a capacidade deve sempre estar associada ao nível de serviço que está sendo oferecido pela instalação (IATA, 2014).

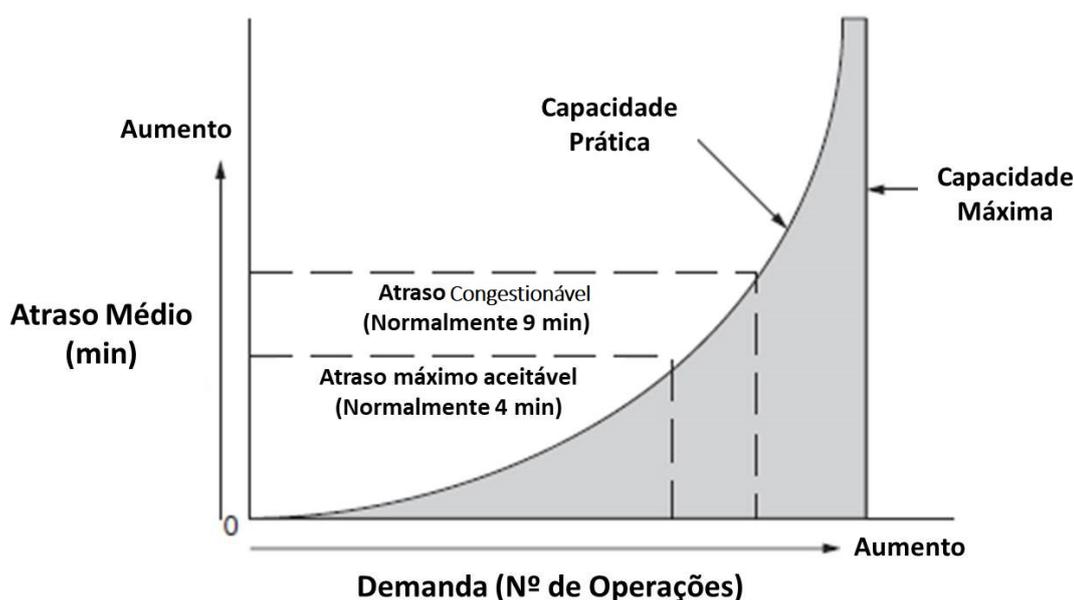
### 2.3.3 Atraso

Conforme a Federal Aviation Administration (1983), o atraso corresponde ao tempo entre operação restrita e uma não restrita de uma aeronave. De acordo com Young e Wells (2014), o atraso é representado pela diferença de tempo entre o horário em que a operação deveria ocorrer e o horário que ela realmente ocorre.

Em um sistema aeroportuário, quando a demanda ultrapassa a capacidade de um componente do aeroporto ou espaço aéreo, resulta em um atraso no sistema, sendo que atraso pode ser definido como o aumento no tempo necessário para realizar a operação em questão (HORONJEFF et al., 2010).

A Figura 5 representa a relação entre atraso, demanda e capacidade de um aeroporto.

Figura 5 – Atraso em função de demanda e capacidade



Fonte: Adaptado de Ashford, Mumayiz e Wright (2011)

Os atrasos são inevitáveis, possuem causas diversas e ocorrem devido às incertezas sobre as variáveis que condicionam o sistema de tráfego aéreo. São variáveis do sistema de tráfego aéreo: falhas em equipamentos, fenômenos meteorológicos, tempo de carregamento de bagagens, tempo de abastecimento da aeronave, alta densidade de tráfego, falha dos operadores de tráfego aéreo, entre outros (MARCOS; FERREIRA, 2015).

De acordo com Young e Wells (2014), há dois tipos de abordagens utilizadas para reduzir os atrasos de um aeroporto: aumento da capacidade do sistema e gestão da demanda do sistema. A primeira alternativa representa a construção de novas infraestruturas, como de novos terminais e pistas de P&D, já a gestão da demanda visa alterar o comportamento dos usuários do sistema, para que haja um melhor uso do sistema.

### 2.3.4 Nível de serviço

Atualmente, o desenvolvimento de medidas de nível de serviço para TPS está em destaque para operadores aeroportuários. Portanto, houve aumento do número estudos na área de qualidade de serviço em terminais aeroportuários, a fim de redirecionar investimentos, aumentar nível de satisfação dos clientes e reduzir custos (FALCAO; ZIMMERMANN; CORREIA, 2012).

O nível de serviço, conhecido pela sigla inglesa LOS (*Level of Service*), foi apresentado por Mumayiz (1985) apud Park (1994) como um dos principais indicadores de performance de um complexo aeroportuário, em relação ao seu planejamento, operação e gerenciamento, como mostra a Tabela 1. Este conceito, segundo Ashford, Mumayiz e Wright (2011), foi desenvolvido para que fosse possível avaliar o desempenho de determinado complexo, sob inúmeras condições de uso.

Tabela 1 – Níveis de Serviço - IATA

LOS	Descrição		
	Fluxo	Atraso	Conforto
A. Excelente	Livre	Nenhum	Excelente
B. Alto	Estável	Muito pouco	Alto
C. Bom	Estável	Aceitável	Bom
D. Adequado	Instável	Aceitável por pouco tempo	Adequado
E. Inadequado	Instável	Inaceitável	Inadequado
F. Inaceitável	Falha do Sistema	Inaceitável	-

Fonte: Adaptado de Ashford, Mumayiz e Wright (2011)

Pereira e Sá (1988) apud Medeiros (2004) definiu como medidas quantitativas para avaliação do nível de serviço de um terminal aeroportuário:

- Tempo de espera ou de processamento;
- Tamanho da fila;
- Tempo de ocupação de um dado componente;
- Distância a ser percorrida.

Portanto Müller (1991) apud Medeiros (2004), afirma que em um TPS, o LOS está associado principalmente a atributos mensuráveis, como o número de pessoas por m<sup>2</sup> em um componente de espera, número de pessoas em fila para o *check-in* e tempo de espera em filas.

Medeiros (2004) elaborou um método para dimensionamento de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros. A autora determinou parâmetros tanto para os componentes operacionais como para os não operacionais, são alguns deles: tempos de processamento dos serviços, tamanhos de fila, níveis de serviço, número de passageiros no interior de componentes, área de banheiros e número de cadeiras.

A Tabela 2 dispõe de parâmetros em relação ao serviço de *check-in*, a Tabela 3 sobre o processamento dos passageiros e as Tabelas 4 e 5 em relação à quantidade de passageiros na sala de pré-embarque e na sala de restituição de bagagens, respectivamente.

Tabela 2 – Níveis de Serviço para o serviço de *check-in* em aeroporto internacional

<b>CHECK-IN</b>							
<b>AEROPORTO DOMÉSTICO</b>							
<b>Nível de serviço</b>	<b>Largura do balcão (m/posição)</b>	<b>Profundidade (m)</b>	<b>Fila (m/pax)</b>	<b>Nº máximo de pax na fila/balcão</b>	<b>Tempo de atend./pax (min)</b>	<b>Circ. (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>/balcão)</b>
A – Alto	2,00	3,50	0,90	8	1 – 2	5,00	31,40
B – Bom	1,80	3,00	0,80	10	1 – 2	4,00	27,00
C – Regular	1,40	2,80	0,70	12	1 – 2	3,00	19,88

Fonte: Medeiros (2004)

Tabela 3 – Níveis de Serviço para processamento de passageiros na área de vistoria de segurança

<b>ÁREA DE VISTORIA DE SEGURANÇA</b>		
<b>Tipo de aeroporto</b>		
<b>Internacional</b>	<b>Doméstico</b>	<b>Regional</b>
20,00 m <sup>2</sup> /módulo	16,00 m <sup>2</sup> /módulo	13,50 m <sup>2</sup> /módulo
<b>Tempo de atendimento por pax (seg)</b>		<b>Processamento (pax/h)</b>
20		180

Fonte: Medeiros (2004)

### 2.3.5 Teoria das Filas

Segundo Portugal (2005), as filas podem ocorrer no desenvolvimento de qualquer atividade humana, entretanto, atualmente têm se tornado mais recorrentes e intensas. Um dos principais motivos para o surgimento de filas é o desequilíbrio entre a

Tabela 4 – Níveis de Serviço para quantidade de passageiros na sala de pré-embarque

<b>SALA DE PRÉ-EMBARQUE</b>			
<b>Nível de serviço</b>	<b>Índices de dimensionamento (m<sup>2</sup>/pax)</b>		
	<b>Tipo de aeroporto</b>		
	<b>Internacional</b>	<b>Doméstico</b>	<b>Regional</b>
<b>A – Alto</b>	1,60	1,40	1,20
<b>B – Bom</b>	1,40	1,20	1,00
<b>C – Regular</b>	1,10	1,00	0,80

Fonte: Medeiros (2004)

Tabela 5 – Níveis de Serviço para quantidade de passageiros na sala de restituição de bagagens

<b>ÁREA DE RESTITUIÇÃO DE BAGAGENS</b>			
<b>Nível de serviço</b>	<b>Índices de dimensionamento (m<sup>2</sup>/pax)</b>		
	<b>Tipo de aeroporto</b>		
	<b>Internacional</b>	<b>Doméstico</b>	<b>Regional</b>
<b>A – Alto</b>	2,00	1,60	1,30
<b>B – Bom</b>	1,60	1,40	1,10
<b>C – Regular</b>	1,30	1,10	0,80

Fonte: Medeiros (2004)

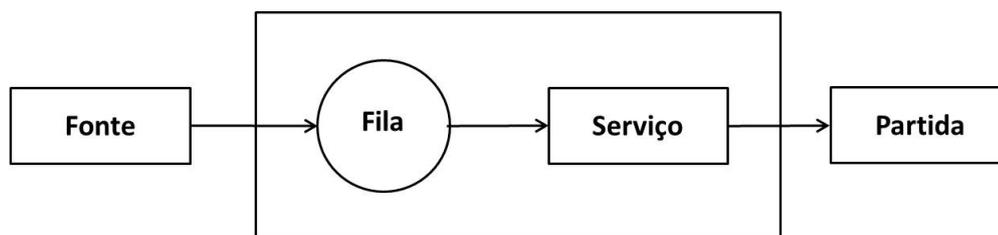
demanda por serviços e a capacidade destinada ao atendimento. Portanto, é essencial compreender a relação entre demanda e oferta de serviços com os tamanhos das filas, estabelecendo até que ponto serão toleradas e quais intervenções devem ser feitas para que as filas se tornem aceitáveis.

A teoria de filas trata de problemas de congestionamento de sistemas, havendo solicitações de serviços partindo de clientes. Simplificando, um sistema de filas é composto de clientes, os quais querem ser atendidos; filas de clientes, que somente ocorrem com o congestionamento; servidores, que irão realizar a tarefa e canais de serviço, locais onde serão realizados os atendimentos (ANDRADE, 2009).

A Figura 6 mostra, de forma exemplificada, como funciona o processo de formação de filas, desde a chegada dos clientes, a espera na fila, o atendimento no serviço e, logo após, a saída do usuário do sistema.

Esta teoria serve à modelagem dos sistemas em que as entidades chegam aleatoriamente, necessitam de períodos diversos de tempo para serem atendidas e possam esperar em fila até serem servidas (SAATY, 1959). A teoria de filas, segundo Cooper (1972), é um modelo matemático estocástico, com origens em eventos aleatórios, e é definido por três características, são elas: demanda, mecanismo de serviço o progresso da fila.

Figura 6 – Formação Esquemática das Filas



Fonte: Portugal (2005)

De acordo com Andrade (2009), normalmente, a chegadas de clientes a um sistema ocorrem de forma aleatória, logo a taxa de clientes por unidade de tempo é variável. Existem comportamentos de chegadas determinísticos, em que o processo de chegada é totalmente conhecido, sem incertezas, porém este tipo de comportamento geralmente ocorre, em processos altamente automatizados. O mais comum no mundo real é que ocorram incertezas no processo de chegada, existindo uma distribuição probabilística associada ao processo de chegada (PORTUGAL, 2005).

A capacidade do sistema, segundo Portugal (2005), refere-se a sistemas em que existem situações finitas de filas, havendo um limite para comprimento máximo e bloqueio de entrada de clientes. Por fim, cada sistema de filas é singular, sendo que seus processos e estruturas irão variar de acordo com suas necessidades e estudos (ANDRADE, 2009).

A teoria de filas apresenta muitas aplicações, são elas: estudo e programação de linhas de montagem, capacidade em pátios de estacionamento, estabelecimento de uma política de atendimento ao público, estudo de operação de caixas, sincronização de semáforos, entre outros (ANDRADE, 2009).

## 2.4 SIMULAÇÃO

O termo simulação é derivado do latim *simulatus*, que significa imitar. Portanto, em um sentido amplo, a simulação pode ser definida como a imitação da situação real, por meio de modelos (PORTUGAL, 2005). Conforme apresentado por Pereira e Dantas (2015), a simulação é a representação de um processo real por meio de um modelo experimental, com a finalidade de avaliar previamente o funcionamento deste processo e aperfeiçoar seu desempenho.

A simulação cria um ambiente artificial do sistema, a fim de gerar conclusões sobre as características operacionais do sistema real (BANKS; CARSON; NELSON, 1999). Já, segundo Schriber (1974) apud Filho (2008), na simulação há a modelagem de um sistema ou processo, sendo que tal modelo imitará as respostas do sistema real, através de sucessões de eventos ao decorrer do tempo.

A simulação possui importância tão relevante devido ao fato de que os sistemas estudados não sofrem quaisquer perturbações, pois os estudos são feitos em computadores. Além de que podem ser estudados sistemas imaginários, estudos para otimizar um processo ou até fazer a verificação se o sistema é apropriado. Podem ser realizadas simulações em sistemas de produção, de transporte e estocagem, computacionais, administrativos e até de prestação de serviços (FILHO, 2008).

### 2.4.1 Sistema e modelo de simulação

Conforme Taylor (1970) apud Banks, Carson e Nelson (1999), sistemas são objetos que atuam e interagem, havendo relação entre eles ou não. Já, de acordo com Fishnan (1973) Portugal (2005), um sistema é composto por entidades, as quais são relacionadas entre si e cada uma possui suas particularidades.

Ainda segundo Banks, Carson e Nelson (1999), em uma simulação, os sistemas podem ser definidos como componentes que recebem estímulos ou entradas, *inputs*, e produzem respostas ou saídas *outputs*. As relações do sistema determinam como seus *inputs* converterão em *outputs*. Um determinado sistema de simulação, de acordo com Law e Kelton (1991) apud Filho (2008), pode ser constituído diferentes subsistemas e objetos, dependendo da análise que deseja-se realizar.

Com a finalidade de entender e analisar um sistema, deve-se entender quais são principais seus componentes, que são: entidade, atributo, atividade, estado e evento. Uma entidade é o objeto de interesse do sistema, o atributo é a propriedade de uma entidade, uma atividade representa um período de tempo determinado, o estado corresponde a um conjunto de variáveis do sistema e, por fim, um evento é uma ocorrência que pode mudar seu estado (BANKS; CARSON; NELSON, 1999). A Tabela 6 exemplifica os componentes de alguns sistemas.

Tabela 6 – Exemplificação de componentes de sistemas

Sistema	Entidades	Atributos	Atividades	Evento	Estado
Bancário	Clientes	Verificação da conta bancária	Depositar	Chegada; Partida	Nº de clientes esperando; Nº de caixas ocupados
Comunicação	Mensagens	Comprimento; Destino	Transmissão	Chegada ao destino	Nº de mensagens esperando para serem transmitidas
Inventário	Depósito	Capacidade	Retirada	Demanda	Demanda atrasada; Nível do inventário

Fonte: Adaptado de Banks, Carson e Nelson (1999)

Um sistema pode ser de eventos discretos ou contínuos. Conforme Sakurada e Miyake (2009), a simulação de modelos discretos abrangem estudos em que as variáveis mudam de estado de forma instantânea, em determinados momentos. Em contrapartida, as mudanças de estado nas variáveis nos modelos contínuos podem

ocorrer continuamente. De acordo com Gordon (1978) apud Sakurada e Miyake (2009), poucos sistemas são completamente discretos ou contínuos. Portanto, considera-se na modelagem o modo predominante de eventos no sistema.

Segundo Sakurada e Miyake (2009), a evolução do comportamento de um sistema ao longo do tempo é estudada graças à criação de um modelo de simulação. Um modelo é criado devido ao fato de a simulação poder ser usada antes mesmo da existência do sistema, para servir como ferramenta de *design* ou para a avaliação de impactos decorrentes de mudanças, verificação de utilidade, etc (BANKS; CARSON; NELSON, 1999).

Modelos são definidos por Filho (2008) como veículos para experimentações, com a finalidade de imitar o desempenho de um sistema real. PIDD (1996) apud Sakurada e Miyake (2009), cita que um modelo é uma representação explícita e externa de uma porção da realidade, na qual deseja-se desenvolver estudos e mudanças.

Em relação aos níveis de criação de modelos, existem inúmeros, sendo que os mais simples podem ser resolvidos por métodos matemáticos, como cálculo diferencial ou probabilidade e os mais complicados através de métodos computacionais (BANKS; CARSON; NELSON, 1999).

Durante a modelagem, sempre aparecerão erros ou diferenças entre os resultados previstos e os medidos, isto se dá devido às simplificações usadas nas formulações dos modelos. Segundo Bazzo e Pereira (2006), a solução perfeita de um problema é praticamente impossível, pois ninguém consegue identificar todos os fatores relevantes e prever todos os efeitos possíveis.

#### 2.4.2 Calibração, verificação e validação

Segundo Filho (2008), para que um modelo de simulação tenha qualidade e validade seus resultados obtidos devem ser próximos a aqueles obtidos no sistema real. Logo, para que o modelo seja considerado consistente e sem erros, deve-se realizar a calibração, verificação e validação do mesmo.

A calibração, também denominada como estimação de parâmetros, é processo com finalidade de determinar os parâmetros de entrada de um modelo, até o momento em que as discrepâncias entre os valores convirjam a um patamar pré-determinado (OLIVA, 2002). Calibração foi definida por Banks, Carson e Nelson (1999) como um processo iterativo de comparação do modelo computacional com o sistema real, e, quando necessário, são realizados ajustes e até mudanças drásticas no modelo, até que o modelo esteja adequado à realidade.

A verificação é utilizada, segundo Banks, Carson e Nelson (1999), para assegurar que o modelo virtual foi implementado de forma correta no computador e representa

corretamente o sistema real. Filho (2008) define verificação como uma etapa que avalia se os pressupostos e simplificações implementados no sistema computacional estão corretos. Conforme o mesmo autor, são técnicas de verificação de modelos:

- Uso de modelos determinísticos;
- Variações sobre os dados de entrada;
- Uso de rotinas de rastreamento;
- Aplicação de testes de continuidade;
- Emprego de testes de robustez;
- Execução de casos simplificados;
- Verificação de consistência;
- Independência de sementes geradoras de números aleatórios;
- Rotina de verificação.

Beck (1987) define o processo de validação como: "... a validação é o processo de determinação do comportamento do modelo, para várias condições de entrada de dados, por comparação da resposta do modelo com diferentes situações observadas". Portanto, na validação faz-se, basicamente a comparação dos produtos dos modelos com os dados numéricos observados em ensaios ou na realidade (DONIGIAN; RAO, 2004).

Sendo assim, os testes de validação, conforme Himesh e Mahajan (2000), são realizados para confirmar se o modelo calibrado é aplicável às condições pré-estabelecidas para o conjunto de dados do sistema. De acordo com Lopes (2005), há inúmeras ferramentas para a realização de validações:

- Estatísticas descritivas;
- Análise dos erros;
- Coeficiente de determinação;
- Coeficiente de eficiência;
- Reta de ajustamento;
- Teste de sinais;
- Distribuição de probabilidade;

- Método gráficos.

Destaca-se que tais ferramentas devem ser escolhidas em conformidade com seus fins, pois não são aplicáveis em todos os modelos.

### 2.4.3 Softwares para Simulação

Com a popularização da simulação como ferramenta de análise, começaram a ser desenvolvidos muitos *softwares* de simulação, com aplicações muito diversas. Normalmente as licenças destas ferramentas representam relevantes quantias de capital para as empresas (SALIBY, 1997). São conhecidos *softwares* de simulação: AnyLogic, Arena, FlexSim, Simio, além de bibliotecas de programação como o Simpy.

O AnyLogic é um *software* multi-método de simulação, sendo uma ferramenta flexível de modelagem, pois permite que os usuários reproduzam virtualmente a complexidade de praticamente qualquer sistema<sup>2</sup>. Conforme Yang, Li e Zhao (2014), o AnyLogic é um software utilizado para criar um ambiente virtual prototipado, além de possibilitar simulações de sistemas com comportamentos discretos, contínuos e mistos. De acordo com os mesmos autores, este *software* é muito flexível e poderoso, pois oferece inúmeros métodos de modelagem, tais como: simulação baseada em *Statecharts* e modelagem em linguagem UML. São algumas de suas aplicações: infraestrutura e transportes, tráfego rodoviário, terminais de passageiros, rede de telecomunicações e cadeia de suprimentos.

Segundo Filho (2008) o *software* Arena é amplamente empregado em modelagem e simulação discreta de sistemas, permitindo representar o comportamento de diversos sistemas. Ele é utilizado em simulações de cadeia de suprimentos, militares, portos, aeroportos, terminais, varejo. Está disponível no site do Arena uma versão estudantil livre, sem tempo limite de simulação, porém há limitação na complexidade do modelo a ser criado<sup>3</sup>.

O FlexSim é um *software* de simulação de eventos discretos<sup>4</sup>. Segundo Diamond et al. (2002), o FlexSim é diferente da maioria dos *softwares* de simulação no mercado, permitindo que os usuários desenvolvam simulações com interfaces gráficas 2D e 3D. Este *software* pode ser usado em simulações de logística, manufatura, fluxos de transportes e trânsito de pedestres. No site do FlexSim há disponível versão grátis para estudantes, porém nesta versão há limitação em relação à quantidade de objetos que podem ser utilizados no modelo.

<sup>2</sup> Disponível em: <<https://www.anylogic.com/company/about-us/>>. Acesso em: 22 abr. 2018

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://www.arenasimulation.com/what-is-simulation/discrete-event-simulation-software>>. Acesso em: 22 abr. 2018

<sup>4</sup> Disponível em: <<https://www.flexsim.com/company/>>. Acesso em: 22 abr. 2018

Devido às crescentes disponibilidades de *softwares*, fica mais difícil tomar a decisão de qual utilizar, porém deve-se ter atenção e escolher a ferramenta mais adequada aos objetivos e características do estudo em questão (PORTUGAL, 2005). Um profissional especializado em simulações, ao longo da carreira irá se familiarizar com os principais *softwares* disponíveis no mercado, qual ferramenta é mais aconselhada para cada tipo de estudo e terá um de sua preferência.

### 3 Área de estudo

A área de estudo proposta por este trabalho compreende o Aeroporto Internacional Hercílio Luz, o qual está localizado na Avenida Deputado Diomício Freitas, bairro Carianos, nº 3.393, CEP 88.047-900, no município de Florianópolis, Santa Catarina. As instalações do aeroporto, Figura 7, ficam localizadas a 15 quilômetros do centro da cidade, apresentando como principal acesso rodoviário a SC-405, neste trecho a via é denominada Rodovia Governador Aderbal Ramos da Silva<sup>1</sup>.

A primeira porção do Aeroporto Internacional Hercílio Luz foi inaugurada no ano de 1976 e, em 1988 foi inaugurado o restante da infraestrutura, já apresentando configuração igual à observada atualmente<sup>2</sup>.

Figura 7 – Vista aérea do Aeroporto Internacional Hercílio Luz



Fonte: Brasil (2016)<sup>3</sup>

O Aeroporto Hercílio Luz apresenta duas siglas para sua identificação: FLN, dada pela Associação Internacional de Transporte Aéreo (IATA), e SBFL, pela Organização de Aviação Civil Internacional (ICAO). Atualmente, quatro empresas realizam a

<sup>1</sup> Disponível no site do Floripa Airport: <<https://floripa-airport.com/localizacao.html>>. Acesso em: 16 abr. 2018

<sup>2</sup> Disponível no site da Prefeitura Municipal de Florianópolis: <<http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/turismo/index.php?cms=aeroporto+internacional+hercilio+luz&menu=7&submenuid=567>>. Acesso em: 11 mai. 2018

movimentação de passageiros no Aeroporto de Florianópolis, são elas: Avianca, Azul, GOL e LATAM<sup>4</sup>.

Em março de 2017 ocorreu o leilão de concessão do Aeroporto de Florianópolis, onde a operadora suíça Zürich Internacional Airport AG saiu vencedora, com prazo para administração de 30 anos<sup>5</sup>. Como obrigatoriedade do contrato de concessão, a Zürich deverá realizar uma série de melhorias no Aeroporto Hercílio Luz, como a construção do novo terminal de passageiros<sup>6</sup>. As obras de construção do novo terminal de passageiros têm previsão de término para outubro de 2019, significando que o atual TPS será utilizado por, pelo menos, mais um ano<sup>7</sup>.

### 3.1 DADOS SOBRE INFRAESTRUTURA

O Aeroporto Hercílio Luz é composto por um Terminal de Passageiros (TPS), de área 9.440 m<sup>2</sup>, pátio de aeronaves de 20.187 m<sup>2</sup>, duas pistas de pouso e decolagem e um Terminal de Cargas (TECA)<sup>8</sup>.

Em visita ao aeroporto, identificou-se que TPS apresenta dois andares, com elevadores, escadas rolantes e escadas convencionais. No térreo estão dispostas todas as instalações operacionais, além de estruturas comerciais e sanitários. No primeiro andar, apresentado na Figura 8, estão localizadas apenas instalações não-operacionais, tais como: restaurantes, bancos, caixas eletrônicos, farmácia, sanitários e lojas.

Observou-se também que, para os passageiros em desembarque há uma porta de acesso para cada sala de restituição de bagagens e, para que os usuários acessem o TPS pela via há cinco portas de acesso. Quatro destas portas encontram-se na região central do TPS, sendo as mais utilizadas pelos passageiros em sentido de embarque. Por fim, a quinta porta de acesso está localizada em frente à área de desembarque, portanto, ela é utilizada predominantemente pelos passageiros no sentido de desembarque.

Para o processo de embarque dos usuários, atualmente, estão posicionados, na área de *check-in* e despacho de bagagens, 33 balcões de *check-in*, Figura 10, subdivididos entre as quatro companhias aéreas atuantes. A companhia Azul dispõe

<sup>4</sup> Disponível no site da Infraero: <<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-internacional-de-florianopolis-hercilio-luz/sobre-o-aeroporto/historico/>>. Acesso em: 16 abr. 2018

<sup>5</sup> Disponível no site do Diário Catarinense: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2017/07/governo-federal-oficializa-concessao-do-aeroporto-hercilio-luz-9854439.html>>. Acesso em: 16 abr. 2018

<sup>6</sup> Disponível no site da ANAC: <<http://www.anac.gov.br/noticias/anac-assina-contrato-para-concessao-dos-aeroportos-de-florianopolis-fortaleza-salvador-e-porto-alegre-2>>. Acesso em: 16 abr. 2018

<sup>7</sup> Disponível no site do Diário Catarinense: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/noticias/noticia/2017/03/empresa-suica-vence-leilao-e-administrara-o-aeroporto-de-florianopolis-por-30-anos-9749664.html>>. Acesso em: 16 abr. 2018

<sup>8</sup> Disponível no site da Infraero: <<http://www4.infraero.gov.br/aeroportos/aeroporto-internacional-de-florianopolis-hercilio-luz/sobre-o-aeroporto/historico/>>. Acesso em: 16 abr. 2018

de seis balcões, a Avianca possui cinco posições de *check-in* e, tanto a GOL quanto a LATAM possuem 11 posições para *check-in*. Nesta área, também estão disponíveis 16 totens para realização de *check-in*, distribuídos entre as quatro companhias aéreas.

Para que os usuários iniciem o processo de embarque, há dois portões para acesso à área de vistoria de segurança, com dois equipamentos de raio-x e quatro *scanners* de bagagens. Há uma sala de pré-embarque doméstico com cinco portões de embarque, numerados de 1 a 5, Figura 9. Se o passageiro estiver em voo internacional, em seguida a área de vistoria de segurança, há a imigração e a sala de pré-embarque internacional, com um portão de embarque, número 6. No interior das salas de embarque há banheiros e áreas comerciais, tais como livrarias, *giftshops* e lanchonetes.

A fim de que os passageiros em desembarque façam o processo necessário, há duas salas de restituição de bagagens, Figura 11, cada uma dotada de esteira. Também há sala de imigração, para os passageiros em trânsito internacional, e o saguão de desembarque.

O Aeroporto Hercílio Luz é do tipo linear, com apenas um nível de processamento. Pois, apesar de possuir dois pavimentos, o superior é dedicado apenas às áreas concessionadas. Portanto, todos os processamentos de passageiros e bagagens ocorrem apenas no pavimento térreo.

Para definir o nível de serviço das instalações do Aeroporto Hercílio Luz, é necessário conhecer as áreas das mesmas. São as áreas aproximadas das instalações operacionais:

- Sala de pré-embarque: 335 m<sup>2</sup>;
- Sala de restituição de bagagens 1: 200 m<sup>2</sup>;
- Sala de restituição de bagagens 2: 235 m<sup>2</sup>.

## 3.2 DADOS SOBRE DEMANDA

Como o Aeroporto Hercílio Luz era administrado pela Infraero até o ano de 2017, suas operações eram monitoradas e anualmente houve divulgação da estatística do aeroporto. São números divulgados pela Infraero:

- movimento anual de aeronaves: somatório dos pousos e decolagens;
- movimento anual de passageiros: somatório dos passageiros embarcados e desembarcados;
- movimento anual de carga aérea e correio: somatório das cargas carregadas, descarregas e em trânsito;
- hora-pico de projeto do movimento de passageiros.

Para possibilitar o conhecimento do porte do Aeroporto Hercílio Luz, a Tabela 7 apresenta os valores históricos, de 2013 a 2017, para os dados de movimentação de aeronaves, de passageiros e de cargas.

Tabela 7 – Dados históricos de movimentação do Aeroporto Hercílio Luz

Ano	Movimento Anual de Aeronaves	Movimento Anual de Passageiros	Movimento Anual de Carga Aérea e Correios (t)
2013	54.216	3.872.877	7.887
2014	50.707	3.629.074	9.361
2015	47.347	3.693.486	9.070
2016	44.250	3.536.435	8.481
2017	44.795	3.843.328	8.999

Fonte: Infraero (2017)

Conforme apresentado nos estudos elaborados por Infraero (2017), a movimentação anual de passageiros no Aeroporto de Florianópolis apresentou um pico no ano de 2013, com declínios nos três anos seguintes. Porém, no ano de 2017, o valor de movimentação anual quase se equiparou ao registrado em 2013. Realizando breve análise dos dados de movimentação, entre os anos de 2013 e 2016, houve diminuição de demanda em 8,7%, e, entre 2013 e 2017, houve diminuição de apenas 0,8%. A Figura 12 apresenta a movimentação de passageiros anual total no aeroporto FLN registrada pela Infraero.

Tratando-se dos dados de hora-pico de projeto do movimento de passageiros no Aeroporto Hercílio Luz, foi realizada por Infraero (2017), para os movimentos de embarque, desembarque e simultâneo, a seguinte subdivisão:

- Doméstico regular: voo efetuado sob numeração de Horário de Transporte (HOTRAN), para transporte de passageiros em voos dentro do Brasil;
- Doméstico não-regular: voo realizado sem numeração de HOTRAN, para transporte de passageiros em voos dentro do Brasil;
- Internacional regular: voo executado sob numeração de HOTRAN, para transporte de passageiros o exterior;
- Internacional não-regular: voo realizado sem numeração de HOTRAN, para transporte de passageiros ao exterior.

Destaca-se que voos regulares são aqueles que são realizados sob numeração de HOTRAN, ou seja, ocorrem regularmente, e os não-regulares são aqueles que são realizados de forma não continuada, como os voos de fretamento<sup>9</sup>. A partir de março de 2018, o sistema HOTRAN foi substituído pelo Sistema de Registro de Operações (SIROS), que é um sistema eletrônico da ANAC por meio do qual as empresas aéreas devem realizar os registros de voos<sup>10</sup>.

A Tabela 8 apresenta os resultados do Anuário Estatístico da Infraero para a hora-pico de projeto de movimento de passageiros, do Aeroporto Hercílio Luz.

Tabela 8 – Hora-pico de projeto do movimento de passageiros no Aeroporto Hercílio Luz

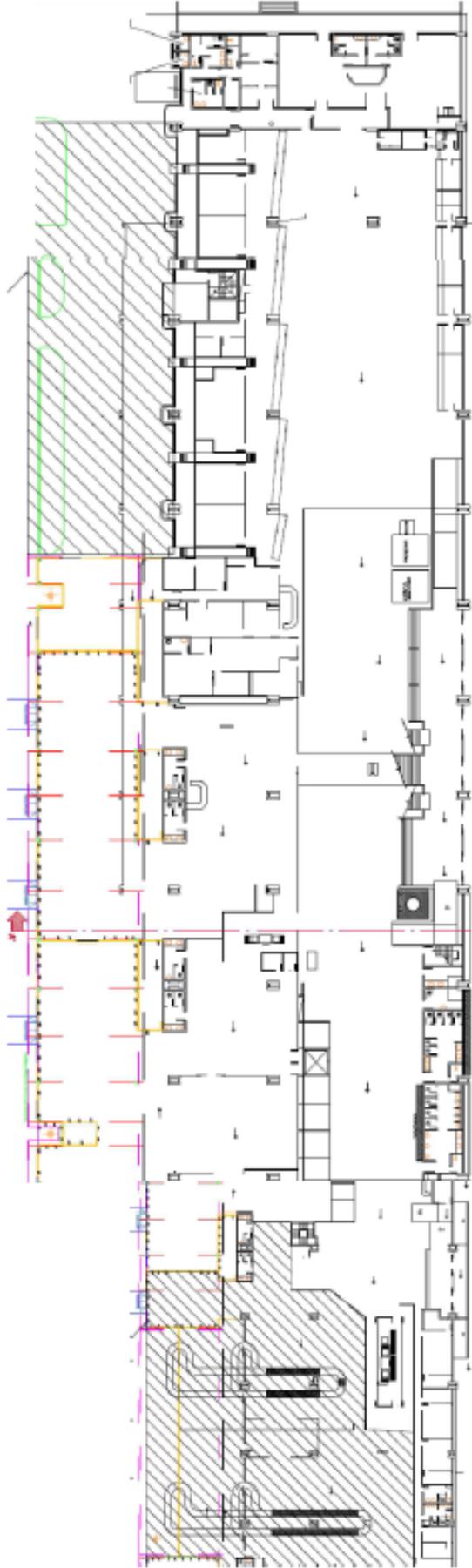
<b>Tráfegos</b>	<b>Embarque</b>	<b>Desembarque</b>	<b>Simultâneo</b>
Doméstico Regular	672	688	1.067
Doméstico Não Regular	399	348	399
Internacional Regular	297	298	325
Internacional Não Regular	173	176	311
Simultâneo	699	717	1.121

Fonte: Infraero (2017)

<sup>9</sup> Disponível no site da ANAC: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/dados-e-estatisticas/descricao-de-variaveis>>. Acesso em: 12 mai. 2018

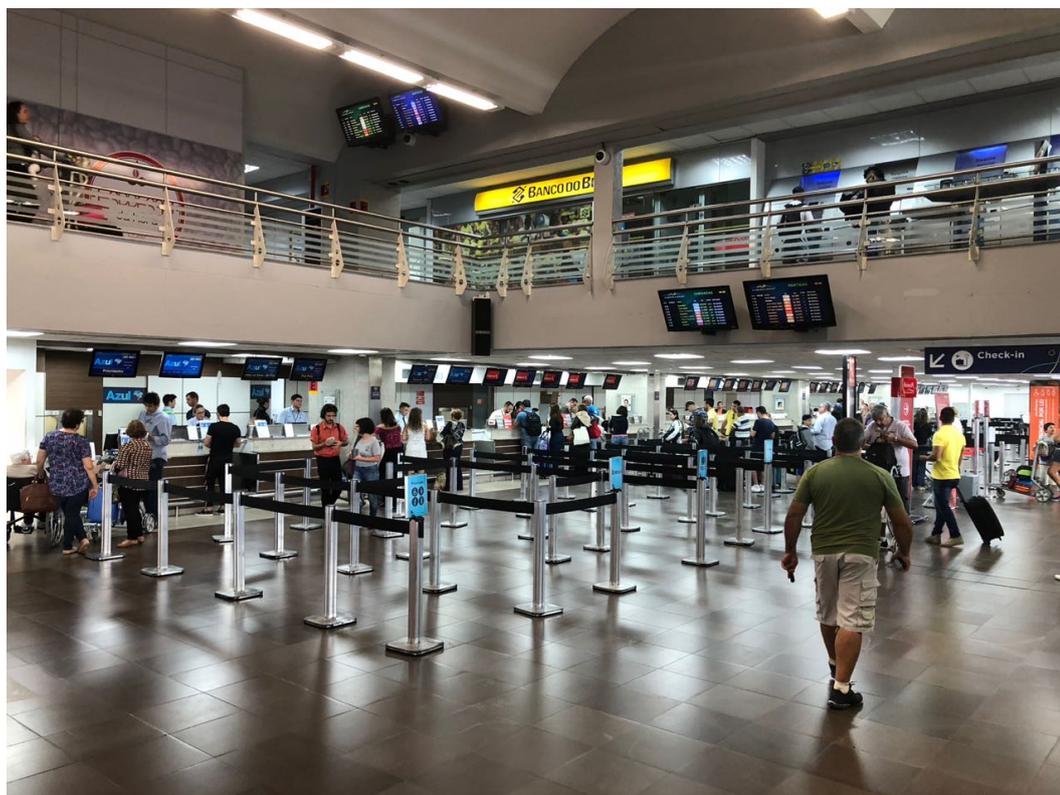
<sup>10</sup> Disponível no site da ANAC: <<https://sistemas.anac.gov.br/sas/siros/conta/lib/faq>>. Acesso em: 12 jun. 2018

Figura 8 – Planta baixa do pavimento térreo do Aeroporto Internacional Hercílio Luz



Fonte: Infraero (2015)<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Disponível no site de Licitações da Infraero: <[http://licitacao.infraero.gov.br/porta/licitacao/details/licitacao\\_pesquisa\\_licitacao.jsp](http://licitacao.infraero.gov.br/porta/licitacao/details/licitacao_pesquisa_licitacao.jsp)>. Acesso em: 16 out. 2017

Figura 9 – Balcões de *check-in* do Aeroporto Internacional Hercílio Luz

Fonte: Autora

Figura 10 – Sala de pré-embarque do Aeroporto Hercílio Luz



Fonte: Autora

Figura 11 – Sala de restituição de bagagens do Aeroporto Hercílio Luz



Fonte: Autora

Figura 12 – Histórico de movimentações totais no Aeroporto de Florianópolis

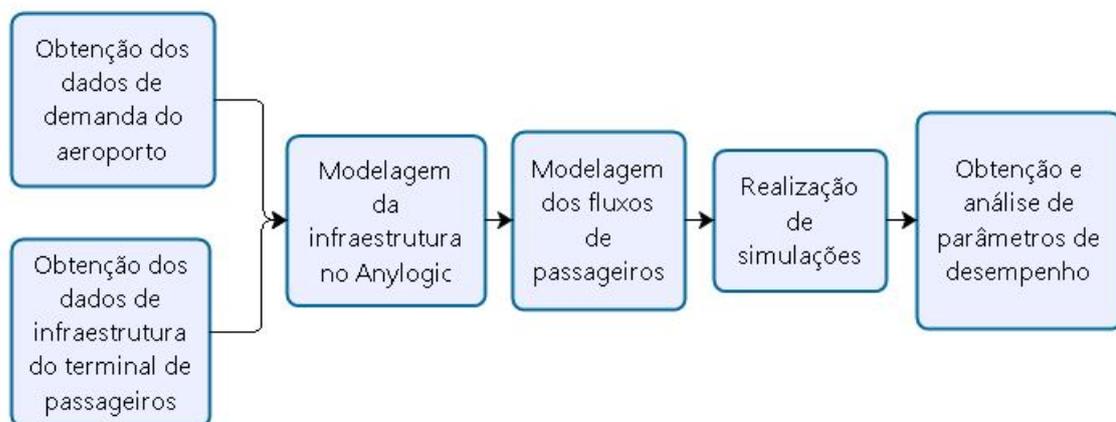


Fonte: Infraero (2017)

## 4 Método

Este capítulo refere-se ao método utilizado para a execução deste trabalho, desde a apresentação do *software*, os critérios definidos para a modelagem e a execução da simulação. As macro atividades realizadas, para obtenção dos parâmetros de desempenho do terminal de passageiros do Aeroporto Hercílio Luz, foram dispostas em forma de fluxograma, o qual pode ser analisado na Figura 13.

Figura 13 – Macro atividades para execução do método do trabalho



Fonte: Elaborado pela autora

### 4.1 RECURSOS DE *SOFTWARE* E *HARDWARE* UTILIZADOS

Para a realização do presente trabalho, foi utilizado um computador de sistema operacional Windows 10 Pro, 64 bits, com processador Intel Core i7-4500U CPU e com 8 GB de memória RAM instalada.

Para a elaboração da modelagem e simulação, foi utilizado o *software* AnyLogic, da versão 8.1.0 *Personal Learning Edition* (PLE), que é disponibilizado de forma gratuita, para alunos, professores e iniciantes em simulação.

A fim de realizar os cálculos de demanda, foi utilizado o *software* Excel. Com o objetivo de transformar a planta baixa das instalações do terminal em formato DWG, foi utilizado o *website* PDF to DWG online<sup>1</sup> e, para obter as áreas das instalações operacionais, foi utilizado o *software* AutoCAD 2016, versão estudantil.

<sup>1</sup> Disponível em: <<http://dwg.autodwg.com/>>. Acesso em: 17 mai. 2018

## 4.2 O SOFTWARE ANYLOGIC

O primeiro passo a ser tomado para iniciar a modelagem e, em seguida, a simulação do sistema em estudo é a definição da ferramenta. O *download* foi realizado no próprio *website* do AnyLogic<sup>2</sup> do *software*. Como a versão utilizada é destinada a estudantes, a mesma possui algumas limitações, as quais foram apresentadas na Seção 1.3.

Após o AnyLogic ter sido instalado e ativado, para a criação de um modelo novo, deve-se ir no Menu, em Arquivo, na opção Novo e por fim, Modelo. Assim, o *software* estará pronto para iniciar a modelagem. Porém, para que a execução da modelagem e simulação ocorra da melhor forma, deve-se estudar e compreender a interface do programa, suas principais funções e elementos.

A interface do *software* é simples, podendo ser analisada na Figura 14. Na área de trabalho há o editor gráfico, localizado na região central, onde criado e editado o modelo, com a incorporação de elementos, funções e blocos. A visão paleta dispõe dos objetos disponíveis para realizar as modelagens. A visão Propriedades permite visualizar e modificar as características do bloco ou função selecionada, sendo que este quadro apenas surge no lado direito da interface quando há algum objeto selecionado.

Como este trabalho trata-se de uma simulação baseada em usuários, a paleta utilizada foi a Biblioteca de Pedestres, representada por um boneco verde. A Biblioteca de Pedestres é subdividida em duas seções: a seção Marcação de Espaço, que dispõe de elementos para a modelagem da infraestrutura e a seção Blocos, com blocos para modelagem da demanda de passageiros. A Figura 15 ilustra os componentes das seções Marcação de Espaço e Blocos.

Há duas formas diferentes de utilização das funções da seção Marcação de Espaço, pode-se arrastar o ícone para a área de modelagem, então irá surgir uma forma padrão definida pelo *software* e deve-se ajustar à escala da planta. Também há possibilidade de se clicar duas vezes sobre o ícone, ativando o modo desenho, assim, pode-se desenhar a função em cima do local desejado, já com as dimensões corretas.

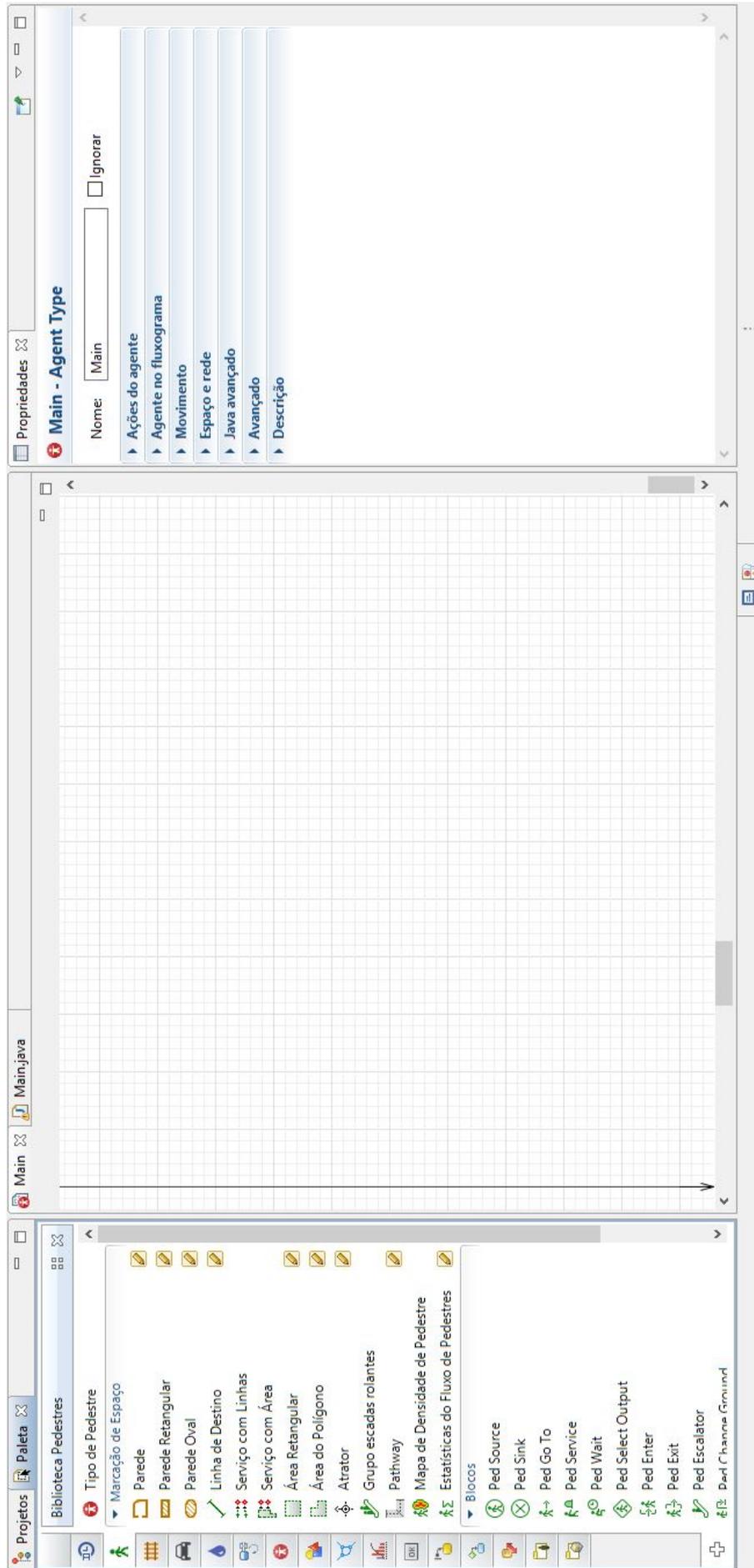
O AnyLogic dispõe de três alternativas gratuitas com orientações para a elaboração de modelagens e simulações. A primeira delas é um *site* denominado *Help AnyLogic*<sup>3</sup>, que dispõe dos principais pontos a serem considerados, exemplos e há possibilidade de busca através de palavras-chave. A segunda alternativa é dentro do próprio *software*, pois posicionando o cursor do *mouse* sobre elementos ou blocos, o AnyLogic fornece uma breve explicação do mesmo e como deve ser utilizado. Por fim,

<sup>2</sup> Disponível no site do AnyLogic: <<https://www.anylogic.com/downloads/>>. Acesso em: 17 mai. 2018

<sup>3</sup> Disponível em: <<https://help.anylogic.com>>. Acesso em: 17 mai. 2018

há um guia, disponível para *download* gratuito no *site* oficial do Anylogic, denominado AnyLogic em 3 Dias.

Figura 14 – Interface do software AnyLogic



Fonte: AnyLogic

Figura 15 – Seções da paleta Biblioteca de Pedestres

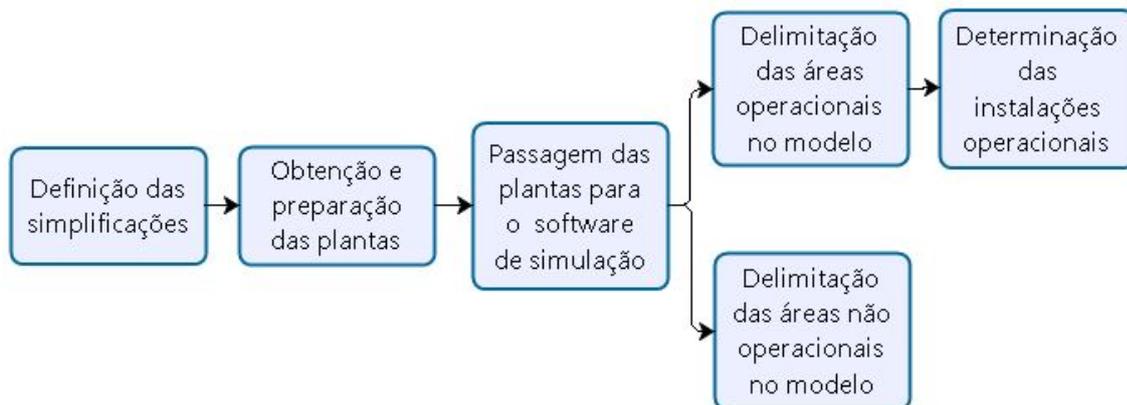
Marcação de Espaço	Blocos
 Parede	 Ped Source
 Parede Retangular	 Ped Sink
 Parede Oval	 Ped Go To
 Linha de Destino	 Ped Service
 Serviço com Linhas	 Ped Wait
 Serviço com Área	 Ped Select Output
 Área Retangular	 Ped Enter
 Área do Polígono	 Ped Exit
 Atrator	 Ped Escalator
 Grupo escadas rolantes	 Ped Change Ground
 Pathway	 Ped Area Descriptor
 Mapa de Densidade de Pedestre	 Ped Group Assemble
 Estatísticas do Fluxo de Pedestres	 Ped Group Change Formation
	 Ped Group Disassemble
	 Ped Settings

Fonte: Adaptado de AnyLogic

### 4.3 MODELAGEM DA INFRAESTRUTURA

Esta seção refere-se à modelagem da infraestrutura do terminal aeroportuário de passageiros do Aeroporto Hercílio Luz, a Figura 16 refere-se ao fluxograma de atividades do processo de modelagem em questão.

Figura 16 – Atividades para realização da modelagem da infraestrutura



Fonte: Elaborado pela autora

As plantas baixas das instalações do TPS do Aeroporto Hercílio Luz não estão disponíveis no site do aeroporto e não foram solicitadas à administração do aeroporto, portanto foram levantadas outras alternativas públicas para obtenção das plantas. As plantas baixas de ambos os pavimentos do terminal aeroportuário foram encontradas no portal de Licitações da Infraero<sup>4</sup>, e o *download* das mesmas foi realizado em formato *Portable Document Format* (PDF). Ambas as plantas são do ano de 2015, sendo as versões mais recentes encontradas.

É importante salientar que, para fins de simplificação do modelo de simulação, o modelo foi realizado apenas com o pavimento térreo do terminal de passageiros do Aeroporto Hercílio Luz, sendo que sua planta pode ser observada no Capítulo 3.

Para início da modelagem do terminal, a planta baixa do térreo foi importada em formato PDF para o *software* AnyLogic e foi determinada sua escala.

#### 4.3.1 Delimitação das áreas operacionais e não operacionais

Com objetivo de delimitar áreas, linhas e pontos pertencentes aos fluxos de passageiros no interior TPS, foram utilizadas as funções da paleta Biblioteca de Pedestres, na seção Marcação de Espaço. As funções utilizadas foram as seguintes:

- Parede: esta função foi utilizada para criar as paredes e divisórias do TPS, mas também para marcar onde existem fitas para delimitação de filas;

<sup>4</sup> Disponível no site de Licitações da Infraero: <[http://licitacao.infraero.gov.br/portaal\\_licitacao](http://licitacao.infraero.gov.br/portaal_licitacao)>. Acesso em: 12 mai. 2018

- Parede Retangular: esta função foi usada para delimitar áreas retangulares, como banheiros e áreas restritas a funcionários, que não foram incluídas na simulação;
- Linha de Destino: elemento utilizado para especificar pontos importantes de passagem dos usuários, como portas de acesso, portão de embarque e desembarque e mudanças de níveis;
- Serviços com Linhas: elemento para definir um serviço onde os usuários esperam em fila até que o serviço esteja disponível;
- Área Retangular: tem função de delimitar áreas retangulares;
- Área Poligonal: utilizada para delimitar áreas definidas por poligonais.

Inicialmente ocorreu a delimitação das áreas operacionais e não operacionais do TPS. Na modelagem também foram delimitadas as áreas restritas às companhias aéreas e à administração do Aeroporto Hercílio Luz, as quais os usuários não possuem acesso. As áreas operacionais delimitadas do TPS do Aeroporto Hercílio Luz foram: área de balcões de *check-in* e despacho de bagagens, área de espera de embarque, área de vistoria de segurança, sala de pré-embarque doméstico, sala de pré-embarque internacional, imigração e salas de restituição de bagagens. São as áreas não operacionais definidas na modelagem: banheiros, lanchonete, áreas comerciais (câmbio, balcões de compra de passagens, livraria e *giftshop*).

Para a definição dos limites das áreas operacionais e não operacionais foram empregadas principalmente as funções Parede e Parede Retangular. Para definir a localização das áreas operacionais foram utilizadas as funções Área Retangular e Área Poligonal. No caso deste trabalho, estas áreas foram utilizadas principalmente, na modelagem da demanda, no bloco *PedWait*, em que faz com que os passageiros esperem em determinada área.

Para inserir áreas retangulares na modelagem da infraestrutura do terminal, deve-se acionar o modo desenho da Área Retangular, na paleta Biblioteca de Pedestres, ir para a área de edição e definir o tamanho correto da área desejada. Para inserir áreas em formas de polígonos, deve-se acionar o modo desenho, e selecionar cada um dos vértices da área poligonal desejada. De forma análoga para os dois elementos, nas propriedades há definição do nome, em que pavimento esta área está localizada, tipo de preenchimento, estilo e cor das bordas.

Como apresentado no Capítulo 3, o Aeroporto Hercílio Luz dispõe de cinco portas de acesso a partir da via, duas portas para os passageiros em desembarque adentrarem ao TPS, duas portas de acesso à área de segurança e seis portões de embarque. Estas portas são consideradas pontos de partida do fluxo de pedestres,

pontos de passagem obrigatórios ou pontos de término do fluxo de passageiros. Para que estes locais fossem demarcados utilizou-se a função Linha de Destino, em que, através dos blocos *Ped Source* e *Ped GoTo*, é possível fixar a taxa de passageiros que se origina naquela linha, qual a taxa de passageiros que deve passar por aquele local ou quantos passageiros devem ter aquele lugar como ponto final.

Outro ponto que deve ser levado em consideração na modelagem é a mudança de nível dos usuários. No Aeroporto Hercílio Luz, as portas de entrada do TPS estão a 0,85 metro acima do nível do restante da infraestrutura, portanto, no local há rampas e escadas convencionais para mudança de nível dos usuários. Na modelagem, para possibilitar que os passageiros mudem de nível, foi necessária a criação de áreas de entrada com cota + 0,85 metro. Em seguida, foram delimitadas as áreas em que estão posicionadas as rampas e escadas. Clicando nestas áreas, em suas propriedades, seleciona-se a opção Inclinado para definir que a área apresenta inclinação. Após, na área de edição do AnyLogic foi definido em que sentido o eixo Z do plano inclinado está crescendo e, por fim, é preenchido, na seção de propriedades, o ângulo de inclinação da área em questão ou sua altura vertical (dZ).

Para que o *software* compreenda esta alteração de nível dos usuários, deve ocorrer a demarcação da linha de saída do nível e a linha de entrada no nível de destino. Estas demarcações foram executadas através da função Linha de Destino e são utilizadas na modelagem da demanda através do bloco *Ped Change Ground*.

Com o modelo da infraestrutura pronto, o passo seguinte do trabalho foi a determinação das instalações operacionais, que são locais onde há prestação de serviços vitais para os movimentos de embarque ou desembarque dos passageiros.

### 4.3.2 Delimitação das instalações operacionais

Após a demarcação das áreas operacionais, foi iniciado o processo de demarcação das instalações operacionais. Nesta etapa da modelagem foram demarcados os balcões de *check-in*, vistoria e segurança e checagem de cartões de embarque, sendo que o elemento usado foi o Serviços com Linhas.

Na modelagem dos balcões de *check-in* e despacho de bagagens e suas respectivas filas, a divisão das áreas dos balcões entre as quatro companhias aéreas foi realizada através da função Área Retangular. A demarcação dos locais em que são colocadas fitas para a organização das filas, nos balcões, fila para vistoria e para embarque, foi efetuada com a função Parede, fixando uma altura vertical de um metro. Para a definição dos pontos de serviço e formação de filas, foi utilizada a função Serviços com Linhas, e para todas as companhias considerou-se a formação de fila única.

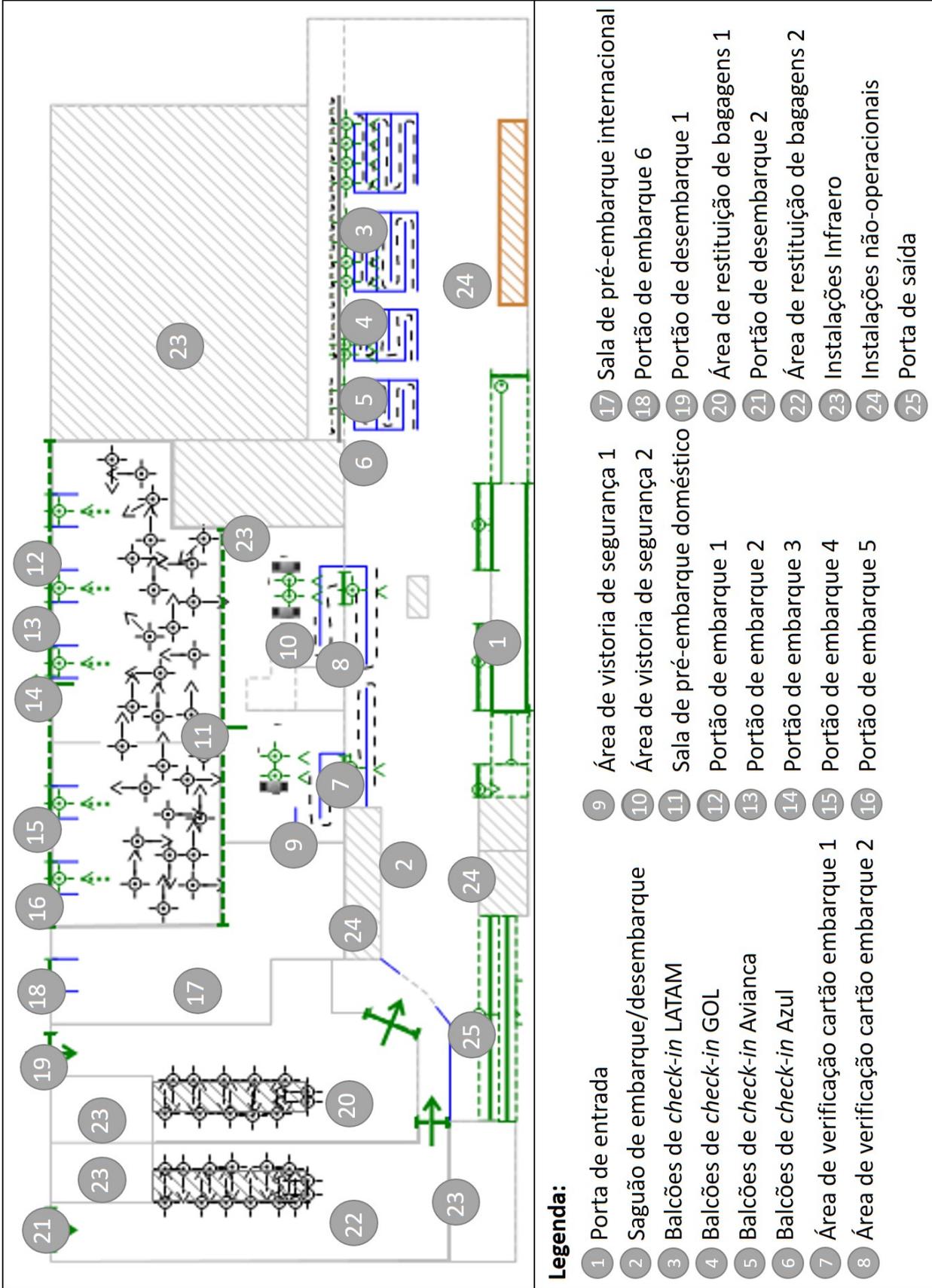
Foram determinados também os pontos de serviço e formação de filas para os portões de acesso à área de vistoria de segurança e para os portões de embarque. Para o caso da área de segurança, foram definidos dois pontos de serviço, primeiramente a verificação do cartão de embarque dos passageiros e em seguida vistoria de segurança, com a passagem dos passageiros pelos aparelhos de raio-x. Por fim, os últimos pontos de serviços com formação de filas modelados são portões de embarque, onde os usuários esperam em fila para que haja novamente a verificação do cartão de embarque e possam se dirigir à aeronave.

Para estes serviços foram consideradas a formação de filas únicas, com apenas um funcionário realizando o atendimento do serviço. Foi utilizada a função Serviços com Linhas, que deve ser executada da seguinte forma: após selecionar a função Serviços com Linhas, localizada na Biblioteca de Pedestres, por *default* do *software*, surgem dois pontos de prestação de serviços, cada um com uma fila. Na área de edição é necessário ajustar a escala do elemento e em suas propriedades são inseridos quantos pontos de serviço, número de filas e se as mesmas são lineares ou em formato de serpentina.

Para os serviços em que a fila é em formato de serpentina, deve-se selecionar esta opção nas propriedades e, em seguida, na área de edição clicar sobre o elemento com o botão direito do *mouse* e selecionar a opção Adicionar Pontos, define-se o trajeto desejado para determinar os comprimentos e direções das filas. Para filas lineares, é preciso somente fazer o correto posicionamento e comprimento das mesmas.

Após o término da modelagem da infraestrutura do pavimento térreo do TPS do Aeroporto Hercílio Luz, com as áreas operacionais e não operacionais delimitadas e postos de serviço determinados, o modelo do terminal aeroportuário ficou como apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Identificação das instalações do TPS após a modelagem

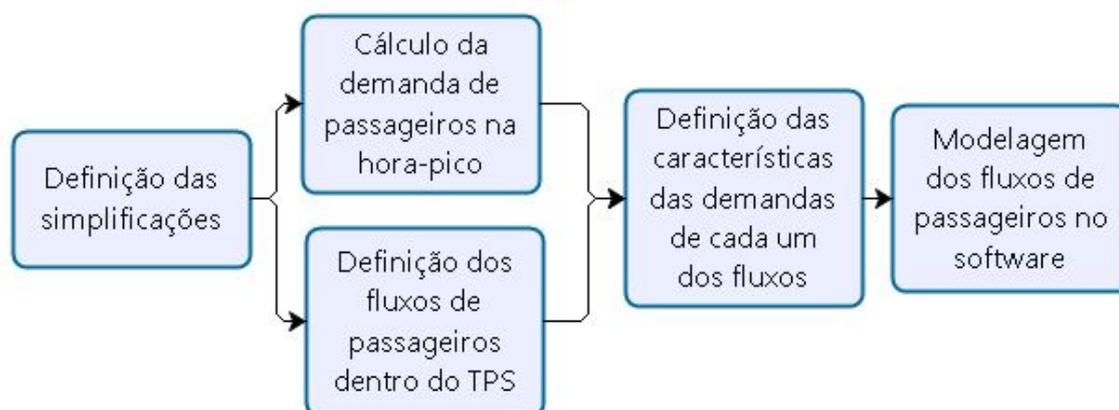


Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

## 4.4 MODELAGEM DOS DADOS DE DEMANDA

A presente seção refere-se ao processamento dos dados de demanda do terminal aeroportuário de passageiros do Aeroporto Hercílio Luz, a Figura 18 dispõe o fluxograma de atividades do processamento dos dados de demanda.

Figura 18 – Fluxograma de atividades do processamento dos dados de demanda



Fonte: Elaborado pela autora

Para possibilitar o cálculo da demanda na hora-pico, a qual será utilizada na realização da simulação, foi necessário definir quais simplificações seriam adotadas:

- Considerados apenas passageiros em voos domésticos;
- Consideradas duas opções de *check-in*, *on-line* ou nos balcões das companhias aéreas;
- Não foi considerada a presença de visitantes;
- Não foi considerada a existência de bancos ou cadeiras em nenhuma área do TPS;
- Não foram consideradas as filas preferenciais em todos os serviços;
- Considerados três balcões de *check-in* em operação para a companhia aérea Azul;
- Considerados três balcões de *check-in* em operação para a Avianca;
- Considerados cinco balcões de *check-in* em operação para a companhia aérea GOL;
- Considerados cinco balcões de *check-in* em operação para a LATAM;
- Passageiros irão passar somente pelas instalações operacionais;

- Sala de pré-embarque internacional será considerada inoperante;
- 33% dos passageiros em desembarque possuem bagagens;
- Passageiros em embarque adentram ao TPS apenas pela porta de acesso principal;
- Passageiros em desembarque deixam o TPS apenas pela porta na frente da área de desembarque.

A movimentação de bagagens no interior do terminal não será levada em consideração neste trabalho, portanto não será feita diferenciação entre os passageiros em embarque com ou sem bagagens. Para os passageiros em movimento de desembarque, foi definido que apenas 33% dos usuários apresentam bagagens, fazendo com que apenas esta parcela espere na sala de restituição de bagagens.

#### 4.4.1 Demanda de passageiros na hora-pico

Para elaboração do modelo de simulação do Aeroporto Hercílio Luz, a demanda de passageiros na hora-pico foi utilizada de forma simplificada, com os valores de tráfegos doméstico regular, conforme apresentados na Tabela 8.

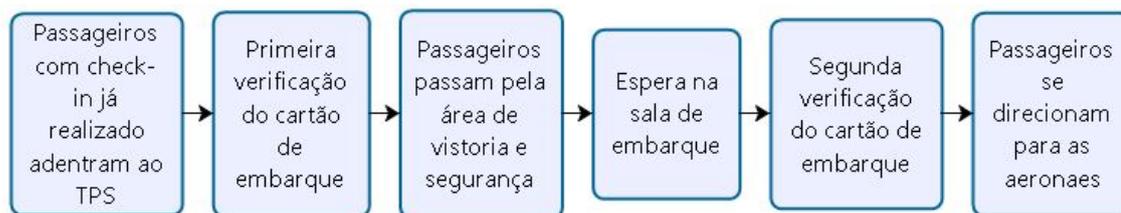
Foram realizados dois cenários de demanda, Cenário 1 e 2. O Cenário 1 é composto dos valores da demanda na hora-pico iguais aos do tráfego doméstico regular, portanto a demanda de embarque é de 672 passageiros e a demanda no sentido de desembarque é igual a 688 passageiros. O Cenário 2 foi formado a partir da metade do tráfego doméstico regular, logo a demanda neste cenário é igual a 336 passageiros no sentido de embarque e 344 passageiros no sentido de desembarque.

#### 4.4.2 Determinação dos fluxos de passageiros

Com as devidas simplificações, foram definidos quatro grandes fluxos de passageiros, dois para o sentido de embarque e dois para o sentido de desembarque.

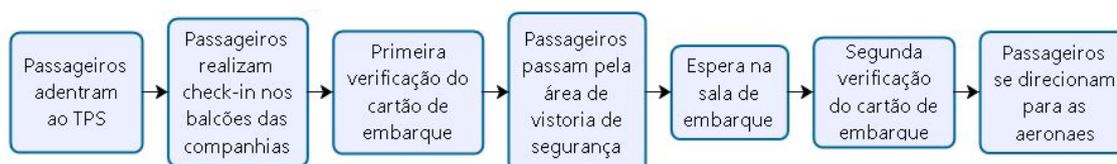
O primeiro fluxo definido foi o de passageiros em sentido de embarque com o *check-in* já realizado *on-line*, o qual está representado em forma de fluxograma na Figura 19. Logo, os passageiros podem seguir direto para a primeira verificação do cartão de embarque, em seguida passam pela área de vistoria de segurança. Após passagem pelo raio-x, esperam pelos seus voos na sala de pré-embarque, quando o processo de embarque for iniciado, se direcionam para a fila correspondente, passam pela segunda verificação do cartão de embarque e seguem para a aeronave.

O segundo fluxo definido foi o de passageiros em sentido de embarque com o *check-in* a ser realizado nos balcões das companhias aéreas, o qual está representado

Figura 19 – Fluxo dos passageiros em embarque com *check-in on-line*

Fonte: Elaborado pela autora

em forma de fluxograma na Figura 20. Os passageiros seguem para as filas das companhias aéreas para realização do *check-in*. Em seguida, vão para a primeira verificação do cartão de embarque e passam pela área de vistoria de segurança. Depois da checagem de segurança, irão esperar pelos horários de seus voos na sala de pré-embarque. Quando o processo de embarque for iniciado, se encaminham para a fila correspondente do seu voo, passam pela segunda verificação do cartão de embarque e direcionam-se para o avião.

Figura 20 – Fluxo dos passageiros em embarque com *check-in* presencial

Fonte: Elaborado pela autora

O primeiro fluxo para os passageiros em desembarque corresponde ao fluxo com passageiros sem bagagens, o qual está representado no fluxograma da Figura 21. Após saírem da aeronave, os passageiros adentram à sala de restituição de bagagens. Como não possuem bagagens, podem direcionar-se direto para a área de desembarque e se direcionam para a saída do aeroporto.

Figura 21 – Fluxo dos passageiros em desembarque sem bagagens



Fonte: Elaborado pela autora

Por fim, o último fluxo definido foi o de passageiros em desembarque com bagagens, Figura 22. Este difere-se do fluxo de passageiros sem bagagens apenas

no fato de que devem esperar por suas bagagens na sala de restituição de bagagens, nas proximidades da esteira, sendo que foi adotado um período de espera de 5 a 10 minutos.

Figura 22 – Fluxo dos passageiros em desembarque com bagagens



Fonte: Elaborado pela autora

#### 4.4.3 Modelagem dos fluxos de passageiros

A fim de realizar a modelagem dos fluxos de passageiros, foram utilizados os blocos localizados à esquerda da interface do *software*, na Biblioteca de Pedestres, na seção de Blocos. Com objetivo de implementar no modelo as etapas e critérios dos fluxos de passageiros, foram utilizados os seguintes blocos:

- *Ped Source*: este bloco gera usuários. É utilizado como ponto de partida do fluxo de passageiros;
- *Ped Change Ground*: tem a função de trocar os usuários de andar ou nível;
- *Ped GoTo*: realiza a movimentação dos usuários de uma localização para outra;
- *Ped Select Output*: faz com que os usuários sejam alocados em uma entre cinco opções nas etapas seguintes dos fluxos;
- *Ped Service*: este bloco realiza o processamento dos passageiros nas instalações de prestação de serviço;
- *Ped Wait*: esta função faz com que os usuários esperem em um local durante determinado período de tempo. O local de espera do usuário pode ser uma área ou até uma coordenada específica;
- *Ped Sink*: este bloco realiza a saída do modelo dos usuários que já cumpriram o seu papel, é o ponto final do fluxo.

Foram utilizados elementos Atrator e Cronograma, que estão disponíveis nas paletas de Biblioteca de Modelagem de Processos e Agente, respectivamente. São funções dos elementos apresentados:

- Atrator: controla a localização dos usuários dentro de uma área, enquanto estão esperando;
- Cronograma: permite definir a distribuição temporal dos passageiros em um determinado período de tempo.

Para a realização da modelagem da demanda de passageiros, deve-se adicionar os blocos necessários na área de edição do *software* AnyLogic. Os blocos devem ser arrastados para a área de trabalho, sendo que alterações de dimensões não alteram suas funções, e devem estar interligados corretamente aos blocos predecessores e sucessores. De forma similar à dos elementos de modelagem da infraestrutura, para realizar alterações nas características dos blocos, deve-se clicar sobre o mesmo para abrir sua seção de propriedades.

A chegada dos passageiros no terminal aeroportuário ocorre de forma aleatória e pelo menos 30 minutos antes do horário do início do embarque, se já tiver realizado o *check-in*. Portanto não houve necessidade de elaborar um cronograma de chegadas, apenas foi determinado que, no Cenário 1, haveria chegada de 672 passageiros no período dos 30 minutos iniciais da simulação, a partir da porta de entrada do TPS. E no Cenário 2 foi determinada a chegada de 336 passageiros no período de 30 minutos.

Foi definida, sem base de qualquer tipo de dados teóricos, a divisão de demanda: 50% para passageiros com *check-in on-line* e 50% para passageiros que irão realizar *check-in* nos balcões das companhias. Então, foi determinada uma taxa de 336 passageiros por 30 minutos, para ambos os fluxos.

Segundo informações analisadas nos sites *Flight Radar*<sup>5</sup> e no Floripa Airport<sup>6</sup>, normalmente, no Aeroporto Hercílio Luz ocorrem entre três e quatro decolagens no período de uma hora. Portanto, na modelagem da demanda, foi determinada a abertura de embarque nos portões 2, 3 e 4.

Foi considerado que, conforme os aviões fossem pousando no aeroporto, haveria período de 10 minutos de desembarque de passageiros e após mais 10 minutos seria iniciado o embarque nos portões. Foram criados elementos do tipo Cronograma, sendo que o embarque no portão 2 iniciou no minuto 25 da simulação, no portão 3 começou no minuto 35 e, por fim, no portão 4, o embarque foi aberto aos passageiros no minuto 50 da simulação.

Para que houvesse deslocamento dos passageiros, que estavam esperando na sala de pré-embarque, para os portões de embarque, foi utilizada a função `freeAll()`, localizada na aba Ação das propriedades do Cronograma. Esta função faz com que

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.flightradar24.com/airport/fln/arrivals>>. Acesso em: 20 mai. 2018

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://floripa-airport.com/>>. Acesso em: 20 mai. 2018

todos os passageiros que estão esperando em determinada área, através do bloco *PedWait*, parem de esperar e direcionem-se ao portão determinado, devendo estar marcado no bloco *Ped Wait* a alternativa *On free()* function call na opção Final do atraso. A função *freeAll()* deve vir acompanhada do nome do seu respectivo bloco *PedWait*, por exemplo, *preembarque1.freeAll()*.

A modelagem da demanda dos passageiros com *check-in on-line* é composta da ordem de blocos disposta na Figura 23, com as propriedades apresentadas:

- *Ped Source*: foi definida a taxa de geração da demanda, 193 passageiros por hora, e a porta de entrada do TPS como origem da demanda;
- *Ped Select Output*: é definida qual a probabilidade de os passageiros utilizarem as duas rampas ou duas escadas para realizarem a mudança de nível. Definiu-se 25% para cada uma das opções;
- *Ped Change Ground*: faz com que os passageiros mudem de nível, com especificações das Linhas de Destino de saída e entrada das rampas e escadas, que possibilitam a mudança de nível;
- *Ped Select Output*: neste momento, este bloco teve a função de dividir os passageiros com *check-in on-line* realizado entre os dois serviços de checagem de cartão de embarque, foi definida a probabilidade de 50% de os passageiros se direcionarem para cada um dos serviços;
- *Ped Service*: faz com que os passageiros tenham seus cartões de embarque verificados pela primeira vez. Foi inserido o Serviços com Linhas e definido o tempo de processamento do serviço, 40 a 45 segundos;
- *Ped Go To*: determina que os passageiros se dirijam para o portão de entrada da área de vistoria e segurança;
- *Ped Service*: faz com que os passageiros entrem em fila para serem atendidos na área de vistoria e segurança, passando pelos raio-x. Novamente foi escolhido o respectivo Serviços com Linhas e determinado um tempo de processamento de 30 a 60 segundos;
- *Ped Wait*: Foi determinada a área em que devem esperar e que devem esperar até que seja acionada a função *freeAll()* no Cronograma;
- *Ped Service*: este bloco, nesta posição, tem função de fazer com que os usuários dirijam-se para as filas de embarque de seus respectivos portões. Foi determinado qual Serviços com Linhas e o tempo de processamento do serviço, entre 10 a 30 segundos;

- *Ped Go To*: este bloco tem o fim de fazer com que os passageiros dirijam-se às aeronaves;
- *Ped Sink*: bloco realiza a saída do modelo dos usuários que já cumpriram o seu papel, é o ponto final do fluxo.

A modelagem do fluxo de passageiros em embarque com realização de *check-in* no aeroporto, foi realizada de forma similar à anterior. Entretanto, o início da modelagem ocorre de forma diferente, pois há a prestação de serviço nos balcões das companhias aéreas. Esta modelagem é composta da ordem de blocos apresentada na Figura 24, com as especificações apresentadas a seguir:

- *Ped Source*: foi definida a taxa de geração da demanda, surgindo a partir da porta de entrada do TPS;
- *Ped Select Output*: é definida qual a probabilidade de os passageiros utilizarem as duas rampas ou duas escadas para realizarem a mudança de nível. Definiu-se 25% para cada uma das opções;
- *Ped Change Ground*: faz com que os passageiros mudem de nível, com especificações das Linhas de Destino de saída e entrada das rampas e escadas, que possibilitam a mudança de nível;
- *Ped Service*: faz com que os passageiros se dirijam para os balcões das companhias aéreas de seus voos. Foi definido que 15% dos passageiros irão para os balcões da Azul, 15% para a Avianca, 35% para a GOL e 35% para a LATAM. O tempo de processamento do serviço foi determinado entre 3 e 5 minutos.

A partir deste bloco, a modelagem da demanda de passageiros em embarque com realização de *check-in* nos balcões segue para o serviço de verificação dos cartões de embarque, ficando idêntica à dos passageiros com *check-in on-line*. Tanto na composição de blocos, sequência, serviços, tempos de processamento e tempos de espera.

Para os fluxos de desembarque, como a chegada dos passageiros ocorre de forma concentrada, diferentemente da chegada de passageiros em embarque no TPS, que ocorre de forma aleatória, foram criados horários específicos de chegada dos passageiros em desembarque, através do elemento Cronograma. Para criar este elemento, deve-se arrastar o seu ícone, disposto na paleta Agente, e, em seguida, devem ser feitas alterações em suas propriedades.

Este elemento pode ser utilizado de dois modos, definindo intervalos ou definindo momentos. Para o caso deste trabalho, como um determinado número de passageiros

surgem no TPS momentos depois do pouso das aeronaves, foi usado o modo intervalos, que é usado para definir o período de início, fim e valor de determinada demanda.

Por fim, foram determinados os horários de chegada dos voos e quantos passageiros estariam a bordo. Após análises do número de voos em uma hora nos sites *Flight Radar*<sup>7</sup> e *Floripa Airport*<sup>8</sup>, foram definidos quatro voos no período de uma hora. Definiu-se o primeiro desembarque de passageiros começaria no minuto 5 da simulação, o segundo desembarque no minuto 15, o terceiro no minuto 30 e o último no minuto 45. Quando o elemento Cronograma estiver pronto, o mesmo deve ser utilizado no bloco *Ped Source*, para a definição da demanda a ser criada na Linha de Destino.

Em seguida, foi definido que a taxa de chegada de passageiros. Foi definido, para o Cenário 1, que em cada voo haviam 172 passageiros e que o desembarque total da aeronave iria ocorrer no período de 10 minutos, portanto a taxa de desembarque foi de 17,2 passageiros por minuto. Para Cenário 2, foi definido que cada voo teria 86 passageiros e o desembarque iria ocorrer através de taxa de 8,6 passageiro por minuto.

Antes de iniciar a modelagem da demanda, foram inseridos elementos atratores nas salas de restituição de bagagens 1 e 2, através do bloco *Atrator*, em torno das áreas em que estão localizadas as esteiras. Após os blocos terem sido arrastados da paleta Biblioteca de Modelagem de Processos, foram ajustados os seus ângulos e estão prontos para serem inseridos no bloco *Ped Wait*.

Conforme apresentado na Figura 21, o fluxo de passageiros em desembarque sem bagagens apresenta três marcos: após o desembarque da aeronave eles entram na sala de restituição de bagagens, dirigem-se para o portão de desembarque e, em seguida, saem do aeroporto. Da forma como apresentado na Figura 22, o fluxo de passageiros em desembarque com bagagens apresenta quatro marcos: após o desembarque da aeronave eles entram na sala de restituição de bagagens, esperam pelas bagagens nas proximidades das esteiras, vão para o portão de desembarque e saem do aeroporto.

Na modelagem realizada no *software*, foram definidos dois fluxos de desembarque, devido à existência de dois cronogramas de chegada de voos diferentes, sendo esta a única distinção entre os dois fluxos de modelagem. Cada um dos fluxos é composto pelos passageiros em desembarque, com e sem bagagens. A modelagem da demanda de passageiros em desembarque é composta da ordem de blocos disposta na Figura 25, com as propriedades apresentadas a seguir:

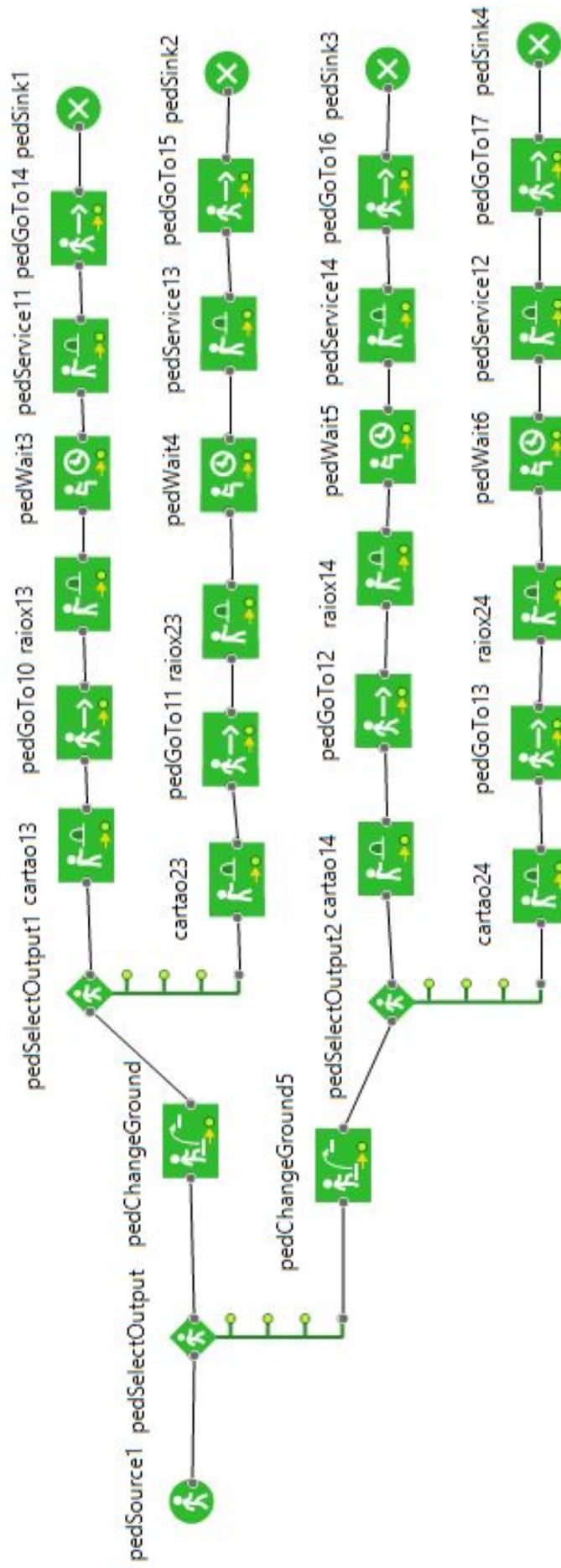
<sup>7</sup> Disponível no site do Flight Radar: <<https://www.flightradar24.com/airport/fln/arrivals>>. Acesso em: 20 mai. 2018

<sup>8</sup> Disponível no site do Floripa Airport: <<https://floripa-airport.com/>>. Acesso em: 20 mai. 2018

- *Ped Source*: foi definido em qual sala de restituição de bagagens os passageiros chegam, além de chegarem com uma programação de taxa definida nos cronogramas;
- *Ped Select Output*: foram definidas as probabilidades de que 67% dos passageiros estão sem bagagem e 33% estão com bagagens;
- *Ped GoTo*: especifica novamente em qual Linha de Destino a demanda de passageiros é iniciada;
- *Ped Wait*: este bloco foi inserido somente na modelagem de demanda dos passageiros com bagagens. Nas propriedades deste bloco, definiu-se em qual área os passageiros irão esperar, salas de restituição de bagagens 1 e 2, foi definido o período de espera entre 5 e 10 minutos e que devem esperar nas proximidades das esteiras, delimitadas pelos elementos atratores;
- *Ped GoTo*: faz com que os passageiros dirijam-se para o portão de desembarque;
- *Ped Change Ground*: determina que os passageiros devem mudar de nível, subindo as escadas para saírem do TPS;
- *Ped GoTo*: faz com que os passageiros se dirijam para a porta de acesso ao exterior do TPS;
- *Ped Sink*: bloco que tem a finalidade de descartar os passageiros que já cumpriram os fluxos.

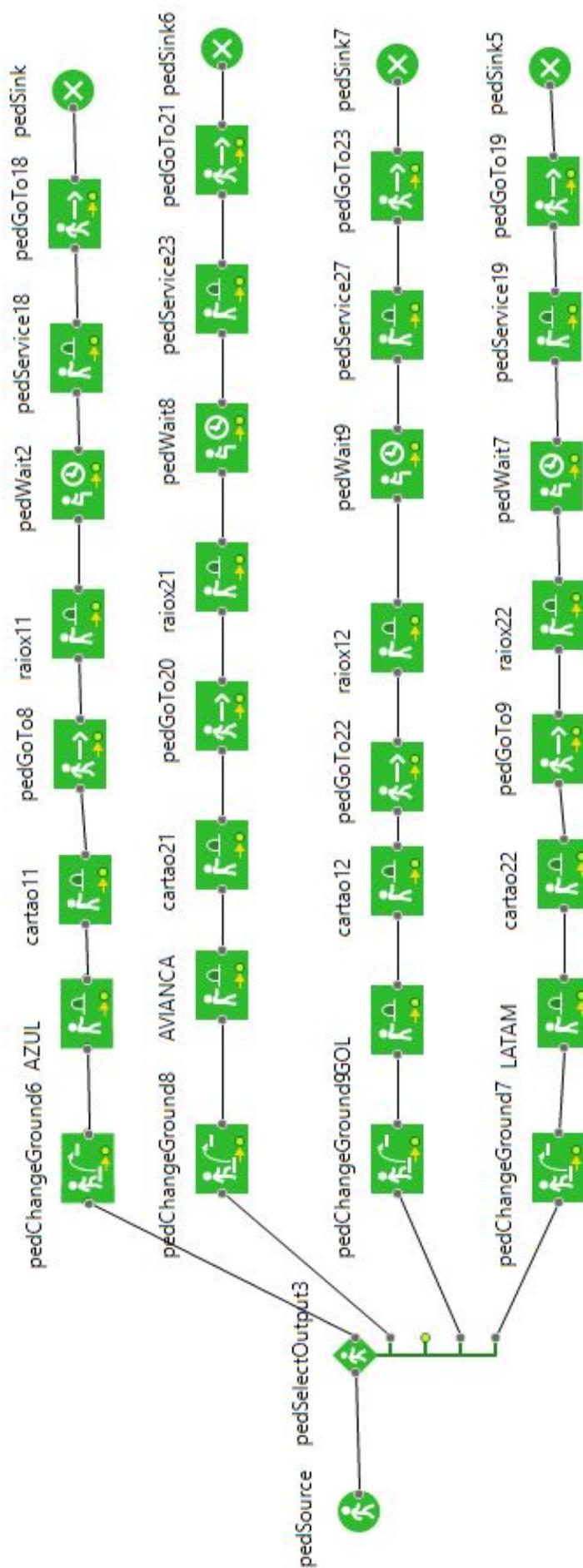
Com o modelo pronto, não há necessidade de alterar nenhuma propriedade no *software* AnyLogic para que seja iniciada a obtenção dos resultados.

Figura 23 – Modelagem dos fluxos de passageiros em embarque com *check-in on-line* realizado



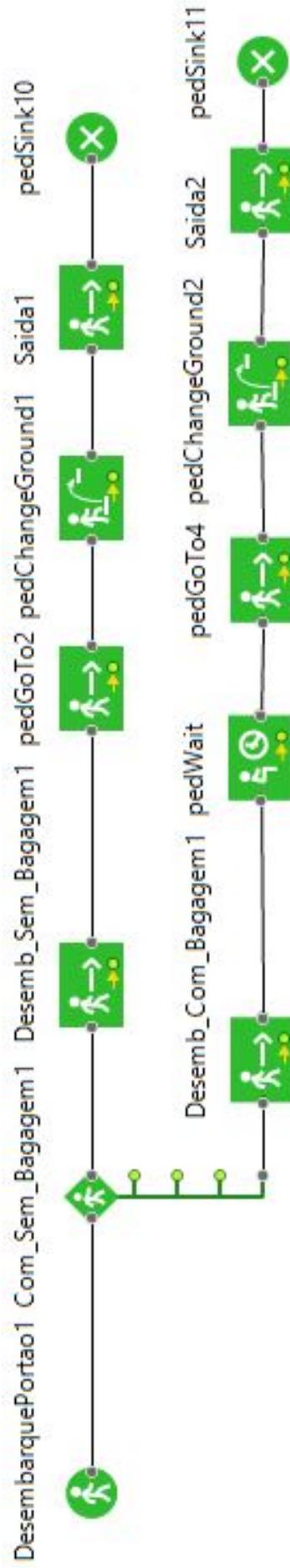
Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

Figura 24 – Modelagem dos fluxos de passageiros em embarque com *check-in* feito nos balcões



Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

Figura 25 – Modelagem dos fluxos de passageiros em desembarque



Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

## 4.5 PROCESSAMENTO DE RESULTADOS

Foram analisados os seguintes parâmetros de desempenho do terminal aeroportuário: tempos de espera na sala de pré-embarque, número de pessoas nas salas de pré-embarque e restituição de bagagens e tamanho de filas, nos serviços dos balcões das companhias aéreas, na área de vistoria de segurança e na sala de pré-embarque. Portanto, na etapa de processamento de dados, foram definidas as ferramentas e funções estatísticas que possibilitam coletar os dados estatísticos necessários.

Com a finalidade de coletar dados estatísticos dos modelos *software* AnyLogic, é possível, através da utilização da Biblioteca de Pedestres, inserir Mapas de Densidade de Pedestres e Estatísticas do Fluxo de Pedestres<sup>9</sup>, além de gráficos, dispostos na paleta Análise.

São opções de gráficos para representação dos resultados das simulações<sup>10</sup>:

- Gráfico de Barras: barras verticais, sendo seus tamanhos proporcionais aos seus valores;
- Gráfico de Pilha: expõe os dados acumulados em barras empilhadas, sendo o tamanho da pilha proporcional ao valor do item;
- Gráfico de Pizza: os arcos de cada item são proporcionais aos seus valores;
- *Time Plot*: possibilita a visualização de histórico de vários itens em um período de tempo;
- Gráfico *Time Stack*: exibição de histórico acumulado de quantidade de itens, através de áreas empilhadas, em um período de tempo;
- Histograma: exibição das estatísticas coletadas pelos objetos de Dados do Histograma;
- Histograma 2D: exibição de coleção de histogramas, sendo que cada um é desenhado como um conjunto de pontos coloridos.

### 4.5.1 Mapa de densidade de pedestres

O Mapa de Densidade de Pedestres, o qual está localizado na paleta Biblioteca de Pedestres, na seção Marcação de Espaço, permite coletar informações estatísticas sobre a densidade de pedestres no modelo simulado e dispõe estes dados através

<sup>9</sup> Disponível em: <[https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedFlowStatistics.html&cp=2\\_1\\_5\\_1](https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedFlowStatistics.html&cp=2_1_5_1)>. Acesso em: 04 jun. 2018

<sup>10</sup> Disponível em: <<https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fanalysis%2FHFD.html>>. Acesso em: 31 mai. 2018

de um mapa de calor, mostrando onde há maior movimentação e concentração de pedestres<sup>11</sup>. Para inserir o mapa de densidade de pedestres, é necessário arrastar seu ícone para a área de edição do *software*, surgindo então a escala de cores. Ao clicar sobre esta escala, é aberta a seção de propriedades, permitindo fazer as alterações necessárias, de forma similar ao restante dos blocos do AnyLogic. Importante salientar que há necessidade de inserir um mapa de densidade para cada um dos pavimentos do TPS, identificando-o nas propriedades, na opção Solo. Portanto, como o terminal do Aeroporto Hercílio Luz dispõe de dois níveis distintos, foram inseridos dois mapas de densidade de passageiros, um para a entrada e outro para o pavimento denominado térreo.

O mapa de densidade de pedestres somente é mostrado quando a simulação for executada, sendo que as animações do mapa mostram o percurso percorrido pelos pedestres e o valor da densidade é representado pela escala de cores, pré-determinada nas propriedades do bloco.

Por *default* do AnyLogic, a cor vermelha corresponde à situação mais crítica, de maior densidade de passageiros, correspondendo a 1,5 passageiros/m<sup>2</sup>. Já, as tonalidades de azul, correspondem às menores densidades. Portanto, quando a densidade muda em um determinado local, a mudança de cor no mapa ocorre de forma dinâmica, sendo que, se existirem áreas com densidade de passageiros igual a zero, o mapa não é pintado.

Há duas opções de densidades diferentes que podem ser exibidas neste mapa, são elas: densidade máxima observada durante a simulação ou a densidade real observada no período de simulação. Para selecionar a opção de densidade real, na seção de propriedades, é necessário deixar marcada a opção Habilitar atenuação, e para a densidade máxima, deixar essa opção desmarcada.

#### 4.5.2 Quantidade de passageiros em de determinadas áreas

O bloco Estatísticas do Fluxo de Pedestres é um elemento de demarcação gráfica que coleta estatísticas dos pedestres que cruzam a seção<sup>12</sup>. Ele está localizado na paleta Biblioteca de Pedestres, na seção de Marcação de Espaço.

Para desenhar a demarcação, há opção de arrastar o bloco para a modelagem e, em seguida, ajustar a escala conforme o desejado. Mas também, há a alternativa de clicar duas vezes no ícone do bloco, para ativar o modo de desenho. Através do

<sup>11</sup> Disponível em: <[https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedDensityMap.html&cp=2\\_1\\_5\\_0](https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedDensityMap.html&cp=2_1_5_0)>. Acesso em: 04 jun. 2018

<sup>12</sup> Disponível em: <[https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedFlowStatistics.html&cp=2\\_1\\_5\\_1](https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedFlowStatistics.html&cp=2_1_5_1)>. Acesso em: 04 jun. 2018

modo de desenho é possível deixar a linha de demarcação no tamanho e orientação desejada.

No presente trabalho, foi inserido um elemento deste tipo em locais de entrada e saída de áreas específicas, onde era desejado conhecer o número de passageiros que estavam localizados dentro delas. Então, as áreas onde foram adicionados elementos Estatísticas de fluxo de pedestres são: salas de restituição de bagagens e sala de pré-embarque. Com a finalidade de coletar estas quantidades, foi necessário adicionar gráficos e funções estatísticas.

Para análise das informações da demanda do TPS, foram utilizados gráficos do tipo *Time Plot*, sendo que para adicionar gráficos ao modelo, é necessário arrastar o ícone para a área de edição do AnyLogic, e, em seguida, fazer os ajustes na sua seção de propriedades. Neste tipo de gráfico, o eixo X corresponde ao eixo do tempo, com a correspondente unidade de tempo definida para o modelo, e o eixo Y dependerá do tipo de variável sendo analisada, porém para o presente trabalho a unidade será sempre passageiros.

Nas propriedades do gráfico, Figura 26, na aba Dados, deve ser selecionada a opção Valor. Em seguida, é dado o nome da variável do gráfico, no campo Título, que aparecerá na legenda, e deve ser escrita a função estatística, no campo Valor. Na aba Atualizar dados, a fim de minimizar a quantidade de erros, é necessário preencher o campo Atualizar dados automaticamente. Na mesma aba, preencher o campo Mostrar até com o tempo em que deseja-se analisar a variável. No caso deste trabalho é fundamental acompanhar o andamento da variável durante todo o tempo de simulação, portanto este campo foi preenchido com 3.599 unidades de tempo do modelo, que corresponde a 59 minutos e 59 segundos.

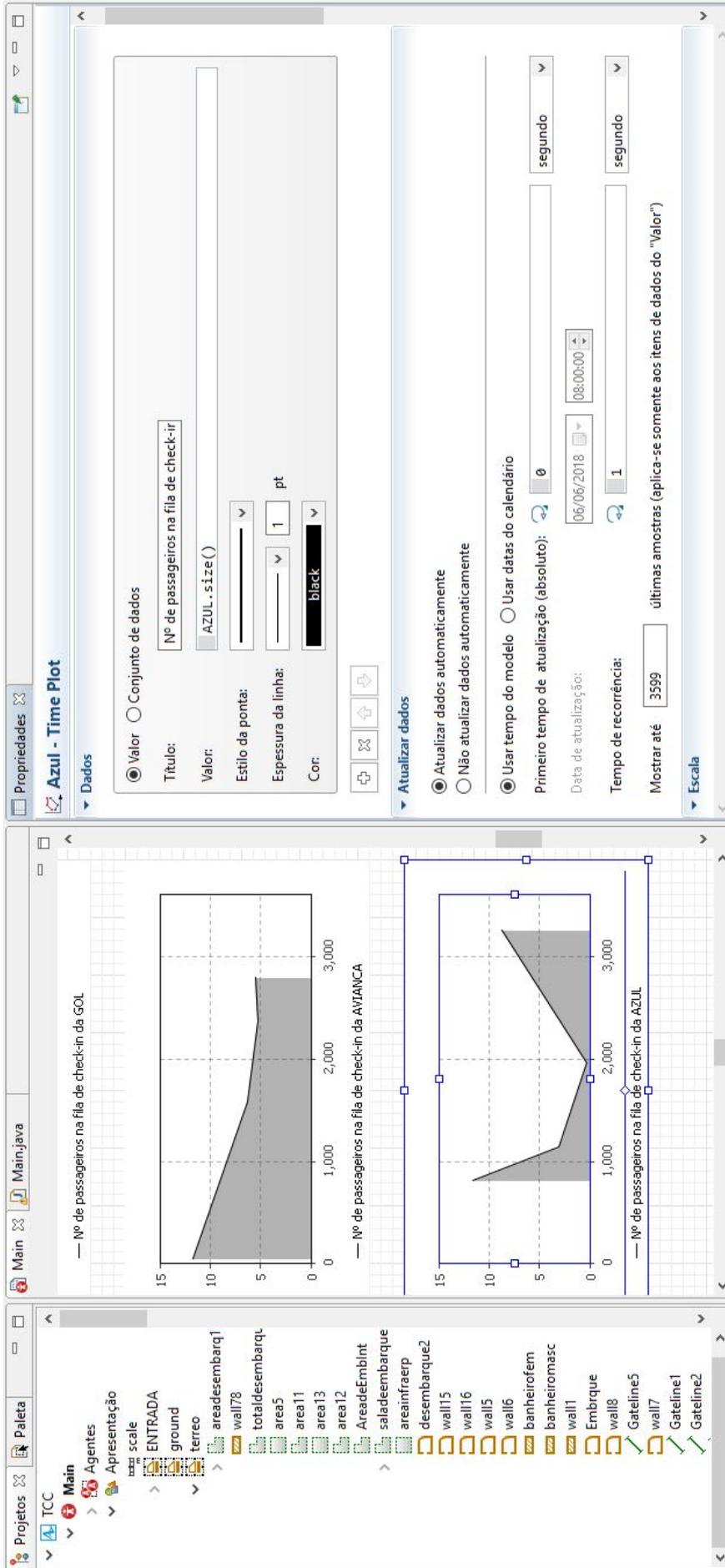
Na aba Escala, no campo Janela de Tempo, é necessário preencher a delimitação do eixo X, no qual também foi inserido 3.599 unidades de tempo. Já no campo Escala do eixo vertical, foi selecionada a opção Fixo e sua escala foi definida de acordo com a variável analisada, pois há gráficos que necessitam de uma área de plotagem maior. Nas abas Legenda e Área do Gráfico, faz-se o ajuste da posição da legenda, do tamanho do gráfico e das cores do texto e preenchimento.

Com o objetivo de processar os dados estatísticos dos passageiros que atravessam a demarcação, existem quatro funções estatísticas, que são utilizadas neste bloco<sup>13</sup>:

- `long countPeds ()`: retorna o número total de pedestres que atravessaram a linha;

<sup>13</sup> Disponível em: <[https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedFlowStatistics.html&cp=2\\_1\\_5\\_1](https://help.anylogic.com/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmarkup%2FPedFlowStatistics.html&cp=2_1_5_1)>. Acesso em: 04 jun. 2018

Figura 26 – Seção de propriedades do gráfico *Time Plot*



Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

- `double traffic ()`: retorna o valor de tráfego do fluxo de pedestres na unidade pedestres/hora. Calcula quantos pedestres cruzaram a linha, em determinado sentido, durante a última hora de simulação;
- `double intensity ()`: retorna a intensidade do fluxo de pedestres, na unidade pedestres/(hora\*metro);
- `void reset ()`: tem como função redefinir os valores de tráfego e intensidade coletados pelo elemento.

A função utilizada para contar o número de passageiros dentro da área foi a `countPeds()`. Em que deve ser colocado o nome do elemento Estatística de fluxo de pedestres, seguido de um ponto e depois da função `countPeds`, por exemplo: `entradasembarque.countPeds()`. Como cada um dos elementos conta a quantidade de passageiros que passam por aquela linha, para descobrir quantos estão localizados dentro da área em determinado momento, fez-se a subtração do valor de passageiros que passam pelo local de saída do valor de passageiros que passam pelo local de entrada, por exemplo: `entradasembarque.countPeds()-saidadesembarque.countPeds()`. Esta função deve ser inserida no campo Valor, do gráfico *Time Plot*.

Por fim, para analisar o andamento da variável ao longo do tempo de simulação, é necessário executar o modelo. Ao decorrer da simulação tem-se um panorama preliminar e, ao final do período, tem-se a quantidade de passageiros localizados na área em questão, em cada período de tempo.

### 4.5.3 Quantidade de passageiros em serviço com linhas

Foram analisados o número de passageiros em filas de serviços *check-in*, verificação de cartão de embarque e vistoria de segurança. Para tal, foram usados o elemento de modelagem de demanda *PedService*, gráfico do tipo *Time Plot* e a função estatística `size()`, que tem função de contar o número de passageiros. Portanto, de forma simplificada, foram inseridas as funções estatísticas nas propriedades dos gráficos da seguinte forma: Nome do elemento `PedService.size()`.

Para criar o gráfico de comprimento de fila dos balcões de *check-in*, foi inserida a função estatística na propriedades do gráfico, da seguinte forma: `LATAM.size()`, sendo que `LATAM` foi o nome dado ao bloco *PedService*, que representa a prestação de serviço de *check-in* nos balcões desta empresa aérea.

Para a análise dos tamanhos de filas das outras prestações de serviço, houve necessidade de funções estatísticas compostas. Isto ocorreu devido à divisão da demanda em porcentagens, portanto há quatro blocos de *PedService* para a primeira

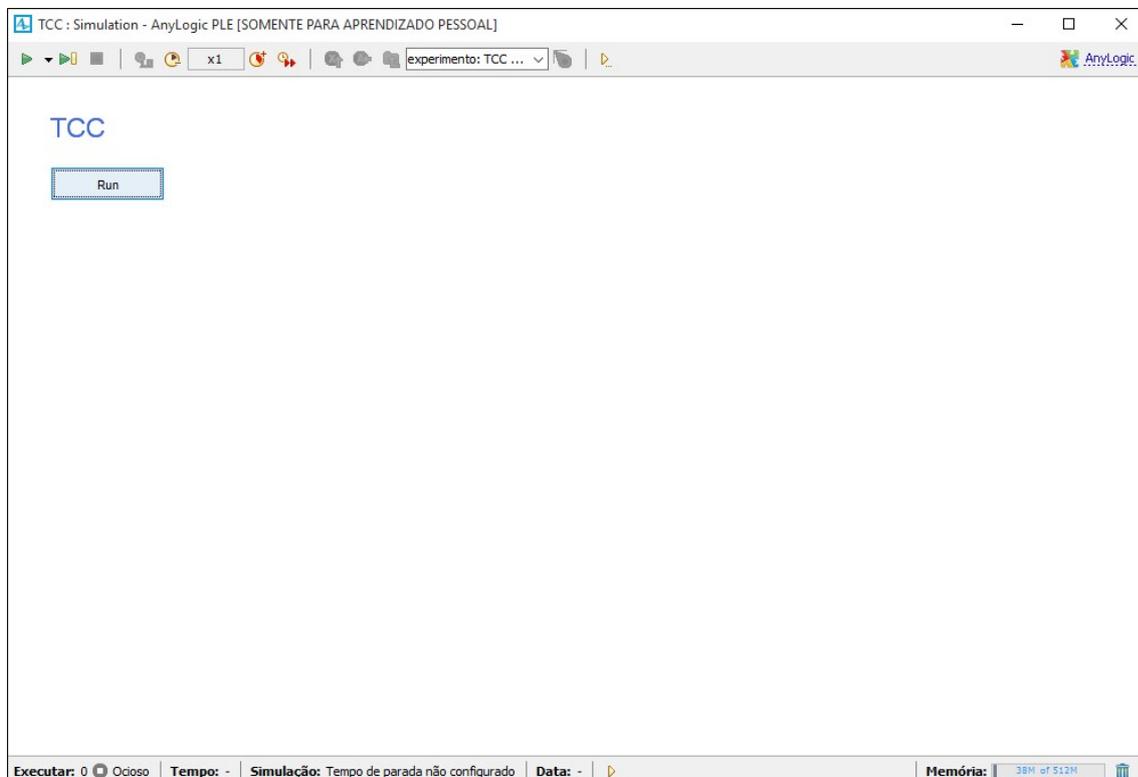
verificação do cartão de embarque, quatro blocos para o serviço de vistoria de segurança e dois para o serviço da segunda verificação do cartão de embarque, para cada um dos portões de embarque. Então, as funções estatísticas adicionadas ao gráficos foram compostas da adição de cada uma das funções, por exemplo: `cartao1.size()+cartao2.size()+cartao3.size()+cartao4.size()`.

## 4.6 EXECUÇÃO DA SIMULAÇÃO

Depois da modelagem da infraestrutura e da demanda estarem prontas é o momento de iniciar a simulação. Há três alternativas para iniciar a simulação e a visualização 2D da movimentação dos passageiros dentro do terminal aeroportuário, são elas: no menu, na opção Modelo e em seguida Executar, a segunda opção é em cima da área de edição clicar no botão de iniciar, cujo símbolo é um círculo verde com seta branca no centro, ou, simplesmente, apertar o botão F5 no teclado.

Em seguida, o *software* abre uma tela auxiliar para executar a simulação desejada, Figura 27, então é necessário clicar no botão *Run* para que a simulação se inicie de fato.

Figura 27 – Tela auxiliar para início da simulação



Fonte: AnyLogic

Com a simulação rodando, a infraestrutura do terminal fica idêntica à modelada e os passageiros são representados por pontos coloridos, conforme apresentados na

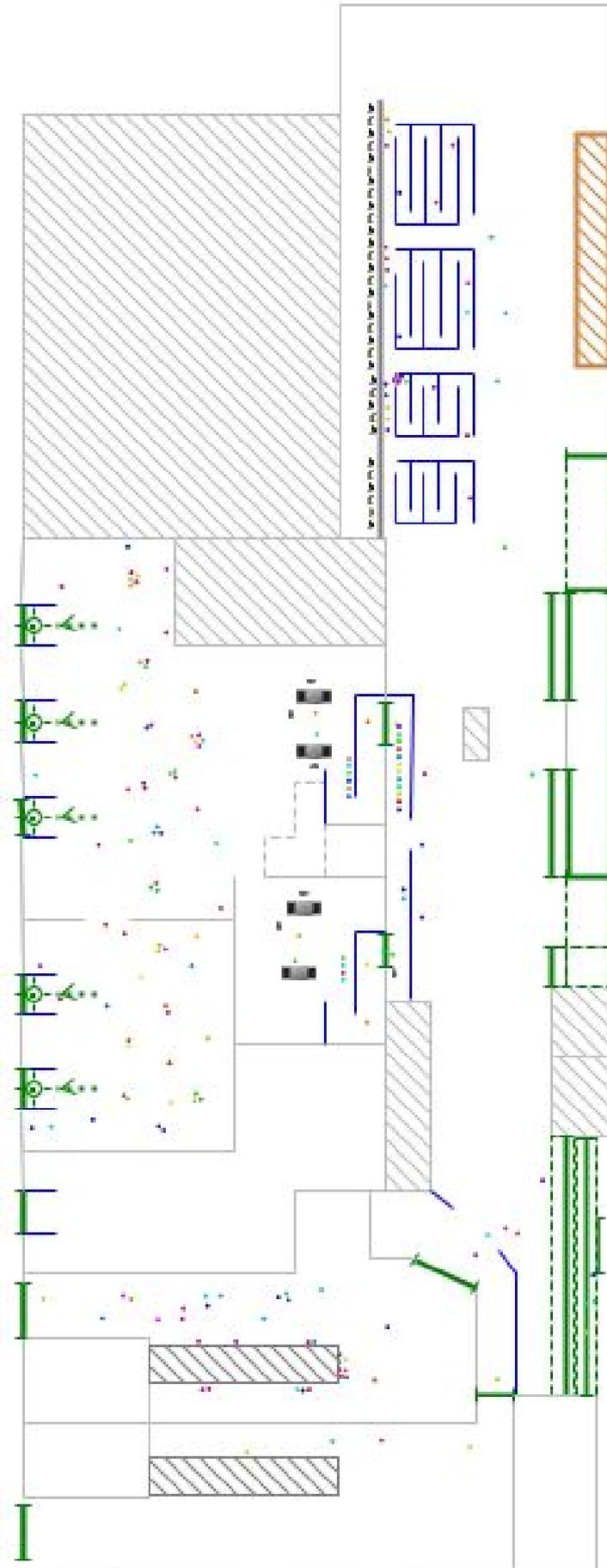
Figura 28. Na tela auxiliar, na parte superior, há opção de pausar a simulação, de terminar abruptamente a simulação, fazer com que haja desaceleração, aceleração e também de alterar o modo de visualização para o 3D. Na parte inferior da tela auxiliar, há a barra de *status*, mostrando se a simulação está ocorrendo, pausada ou terminada, o tempo decorrido da simulação e a data que foi considerada para a simulação.

Como foi utilizada a versão *Personal Learning Edition* do AnyLogic, ao final de uma hora de simulação surge na tela auxiliar uma mensagem avisando que o tempo permitido terminou, Figura 29.

Então o passo seguinte é delimitar o tempo de simulação. Na aba Projetos, nas propriedades do modelo principal é necessário ajustar as unidades de tempo do modelo, alterando para segundos, Figura 30. Por *default*, o AnyLogic simula até 100 vezes as unidades de tempo do modelo. Em seguida, na aba Projetos, nas propriedades de *Simulation: Main*, é definida a hora de parada da simulação, devendo ser selecionada a opção Parar em um tempo especificado. Como esta versão tem limite de uma hora de simulação, foi definido que a hora de parada seria em 3599 unidades de tempo, Figura 31, que corresponde à um tempo de simulação igual a 59 minutos e 59 segundos.

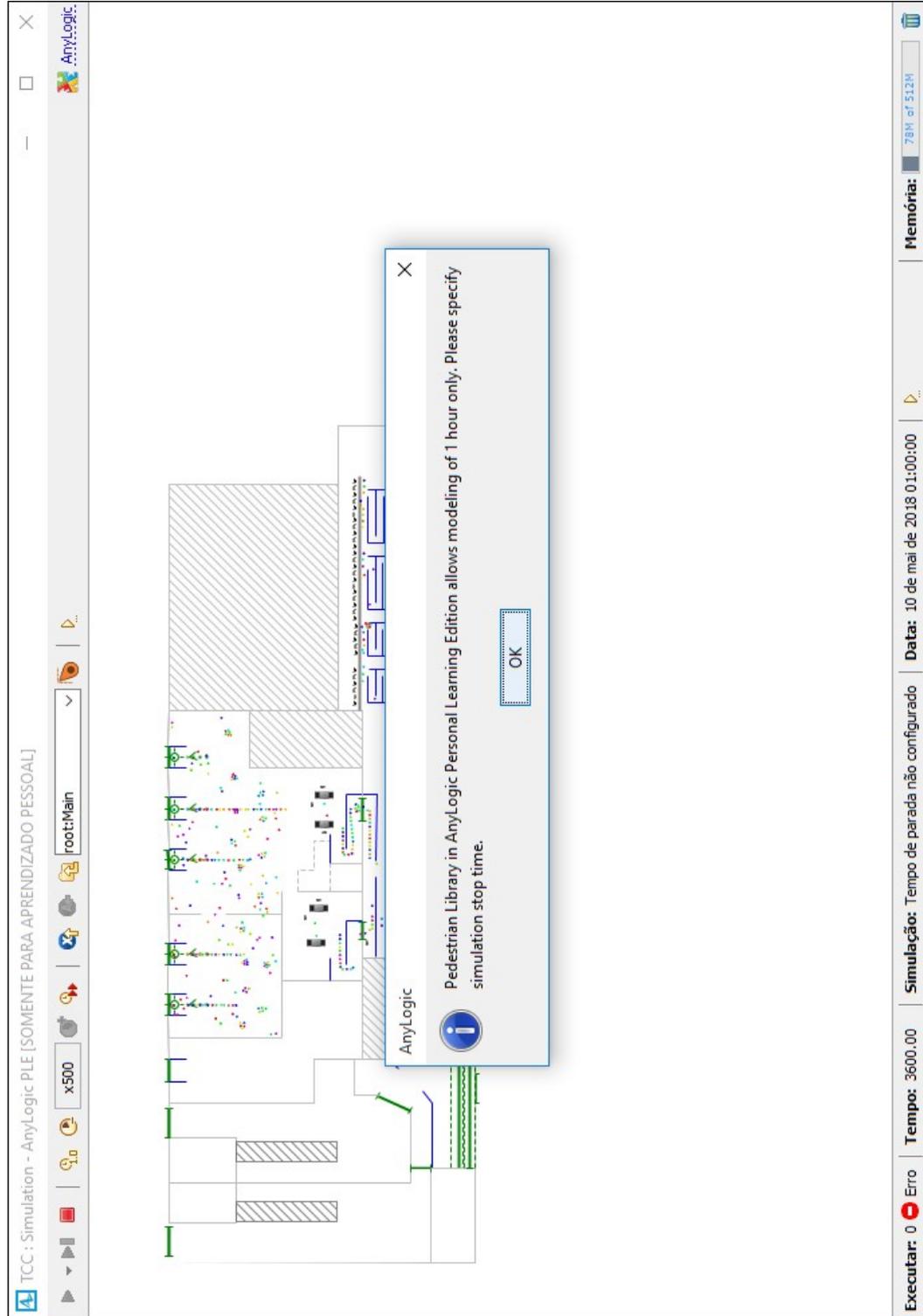
Portanto, a simulação está pronta para rodar, com duração de 59 minutos e 59 segundos. É necessário repetir a simulação a quantidade de vezes julgado essencial para extrair os resultados do *software*.

Figura 28 – Visualização 2D da simulação



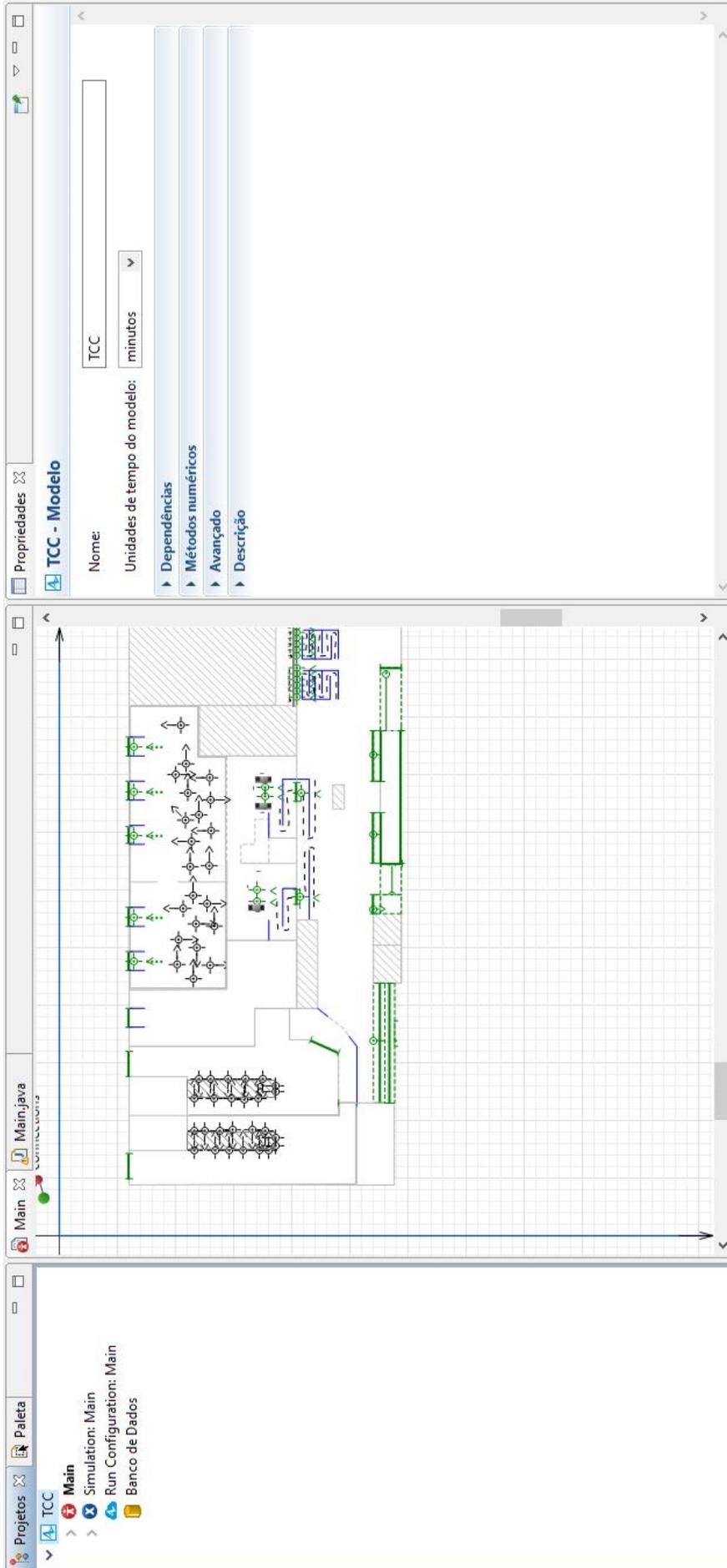
Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

Figura 29 – Mensagem de erro em relação ao tempo de parada da simulação



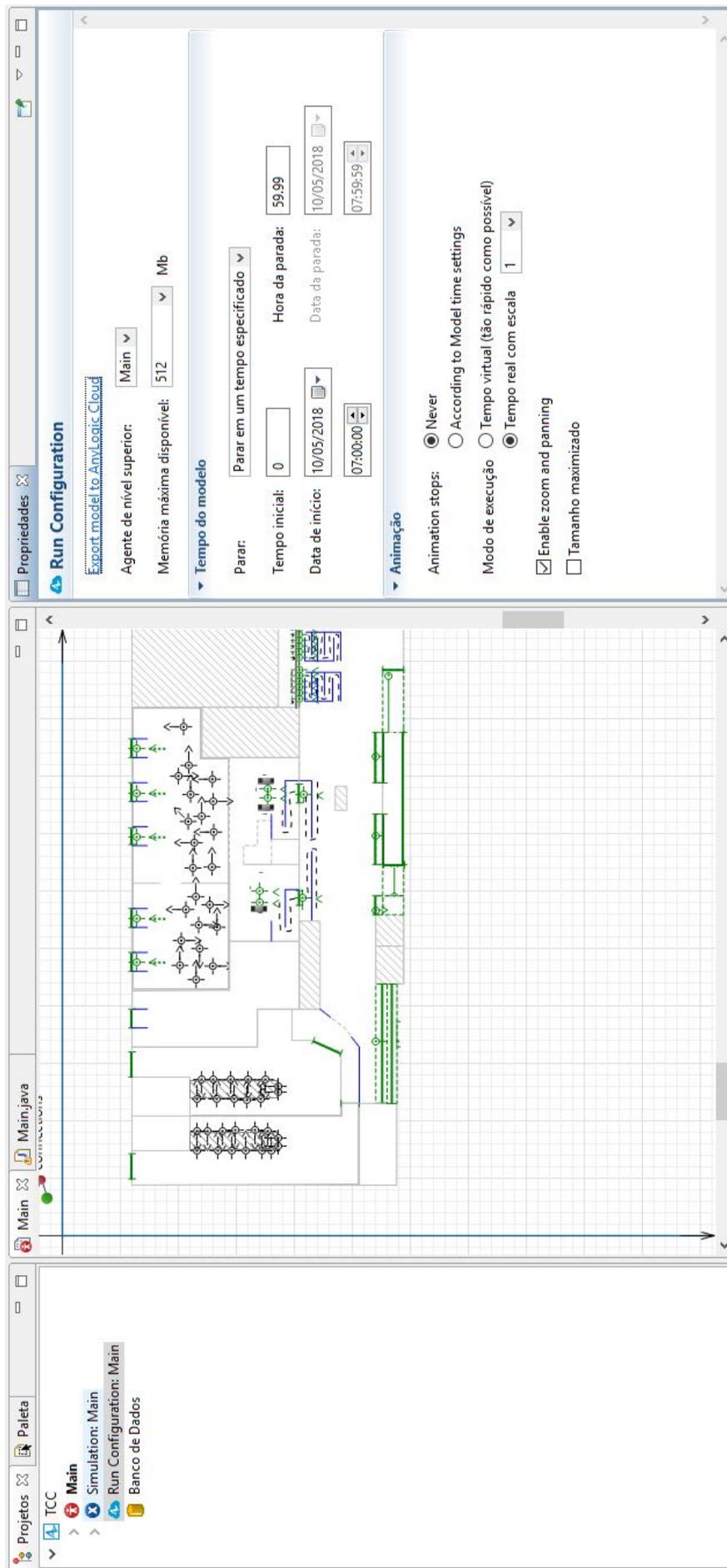
Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

Figura 30 – Determinação das unidades de tempo do modelo



Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

Figura 31 – Definição da hora de parada do modelo



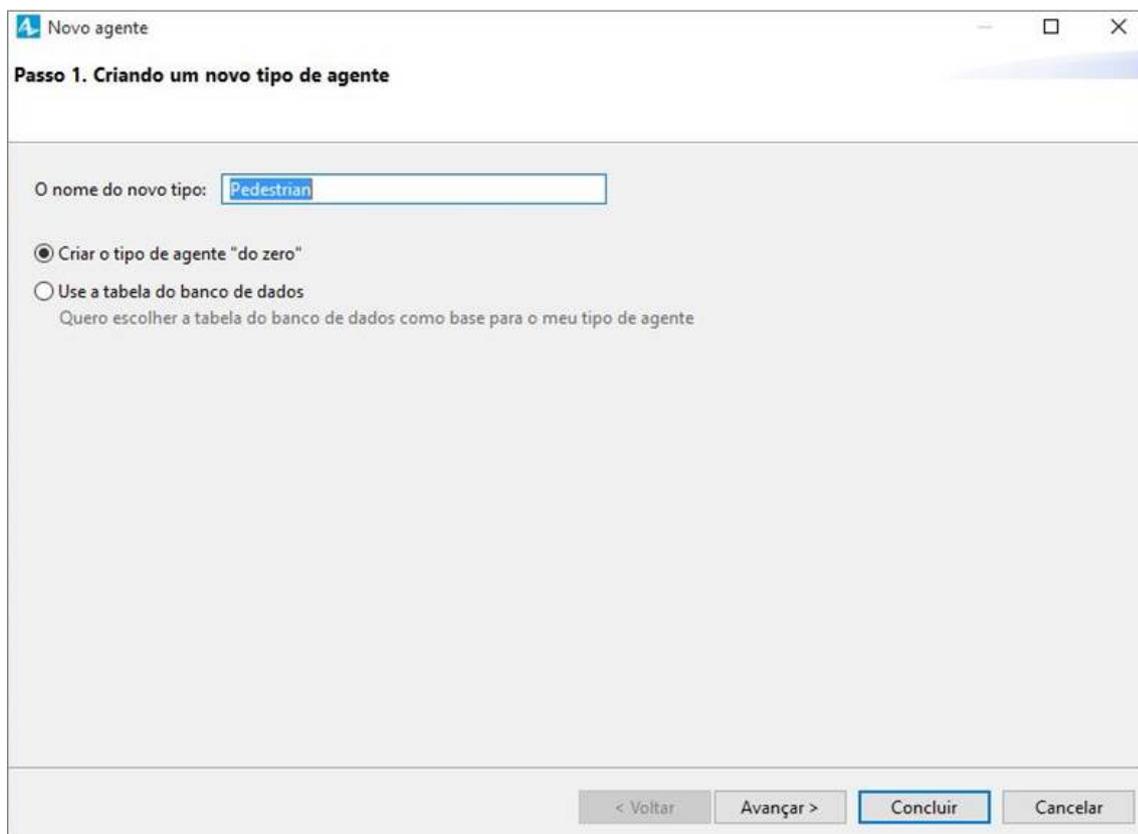
Fonte: AnyLogic

### 4.6.1 Visualização 3D da simulação

Na versão *Personal Learning Edition* do software AnyLogic, há possibilidade de visualização em 3D da simulação, sendo necessários a adição de alguns elementos auxiliares para possibilitar esta visão. Em relação à infraestrutura, com os elementos e blocos utilizados em sua modelagem, a mesma já está pronta para a visualização em três dimensões.

O primeiro passo que deve ser realizado para a visualização 3D é criar um novo tipo de agente ao modelo. Na paleta Biblioteca de Pedestres, deve-se arrastar o ícone Tipo de Pedestre para a área de edição do software. Em seguida, irá surgir uma janela auxiliar, Figura 32, devendo-se nomear o seu agente e, por fim, clicar em concluir.

Figura 32 – Janela auxiliar para criação de novo agente



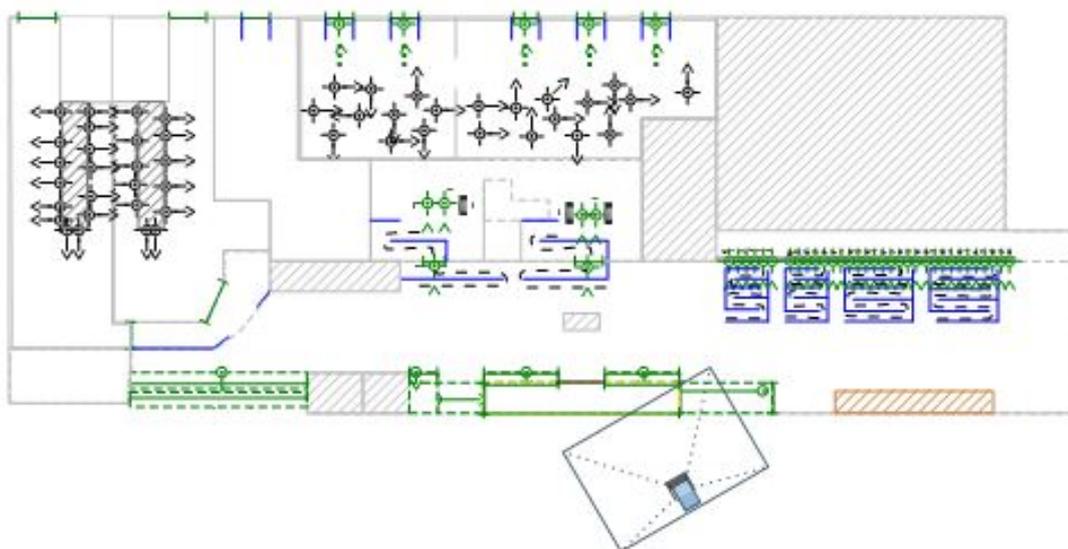
Fonte: AnyLogic

Com o novo agente criado, irá abrir um novo diagrama, de nome igual ao agente. Retorna-se para o diagrama *default* do AnyLogic, denominado *Main*, para adicionar os elementos necessários para a visualização 3D. Na paleta Apresentação, cujo símbolo é formado por formas geométricas das cores amarela, azul e vermelha, na aba 3D têm os elementos de Câmera e Janela 3D.

Ambos os ícones devem ser arrastados para a área de edição do AnyLogic, sendo que a câmera deve ser posicionada no local do modelo de infraestrutura em

que deseja-se obter a visualização da simulação, como apresentado na Figura 33, tomando cuidado com a altura vertical em que a mesma está posicionada. Para ajustar a altura vertical, na seção de propriedades da câmera deve-se ajustar sua altura no eixo Z. Ao adicionar o elemento Janela 3D, abrindo a seção de propriedades, na opção Câmera, deve ser escolhida a câmera recém posicionada no modelo. Portanto, inúmeras câmeras podem ser posicionadas para melhor visualização do modelo, desde que a Janela 3D esteja com a câmera correspondente selecionada.

Figura 33 – Câmera posicionada em frente ao modelo de infraestrutura



Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Com o agente criado, os elementos para a visualização 3D inseridos, para que a simulação funcione, o bloco *Ped Source* deve criar usuários do tipo recém criado. Abrindo as propriedades dos blocos *Ped Source*, presentes na modelagem da demanda, na aba Pedestre, na opção Novo Pedestre deve ser escolhido o nome do agente.

Para iniciar a simulação com visualização 3D deve-se iniciar de forma idêntica à explicada na neste capítulo. Porém, quando a simulação estiver rodando é necessário selecionar o ícone *Navigate to view area*, cuja representação é um marcador de mapa na cor vermelha e, por fim, selecionar a Janela 3D desejada.

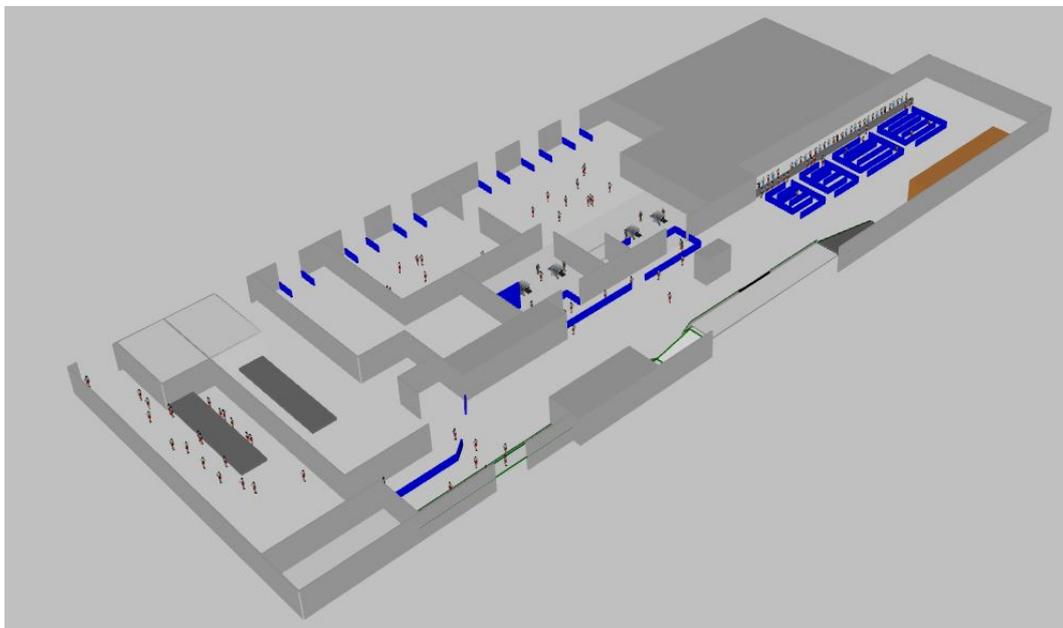


## 5 Resultados

O presente capítulo tem por objetivo apresentar os resultados da execução das simulações. Portanto, foram analisados os produtos provenientes da simulação do terminal aeroportuário e realizadas as comparações dos dados de níveis de serviço do método criado por Medeiros (2004). Serão apresentados os resultados em forma de tabela, para todas as simulações realizadas, porém os gráficos e o mapa de densidade foram obtidos na décima simulação.

A visualização da simulação é um recurso muito importante em modelos de simulação, pois além de possibilitar a observação do andamento da mesma, serve para a validação de um modelo. A visualização 3D da simulação está representada nas Figuras 34, 35, 36 e 37, as quais expõem toda a infraestrutura do modelo, a área de balcões das companhias aéreas, a área de vistoria e segurança e a sala de desembarque, respectivamente.

Figura 34 – Visualização 3D da infraestrutura do TPS

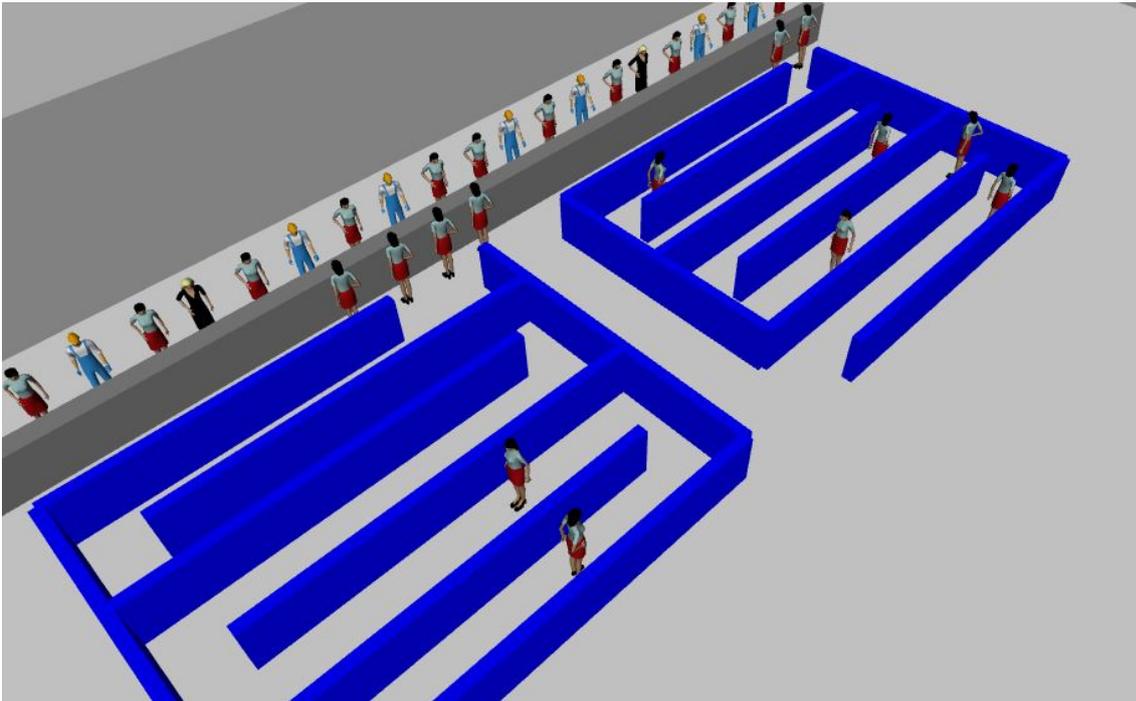


Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

### 5.1 MAPA DE DENSIDADE DE PASSAGEIROS

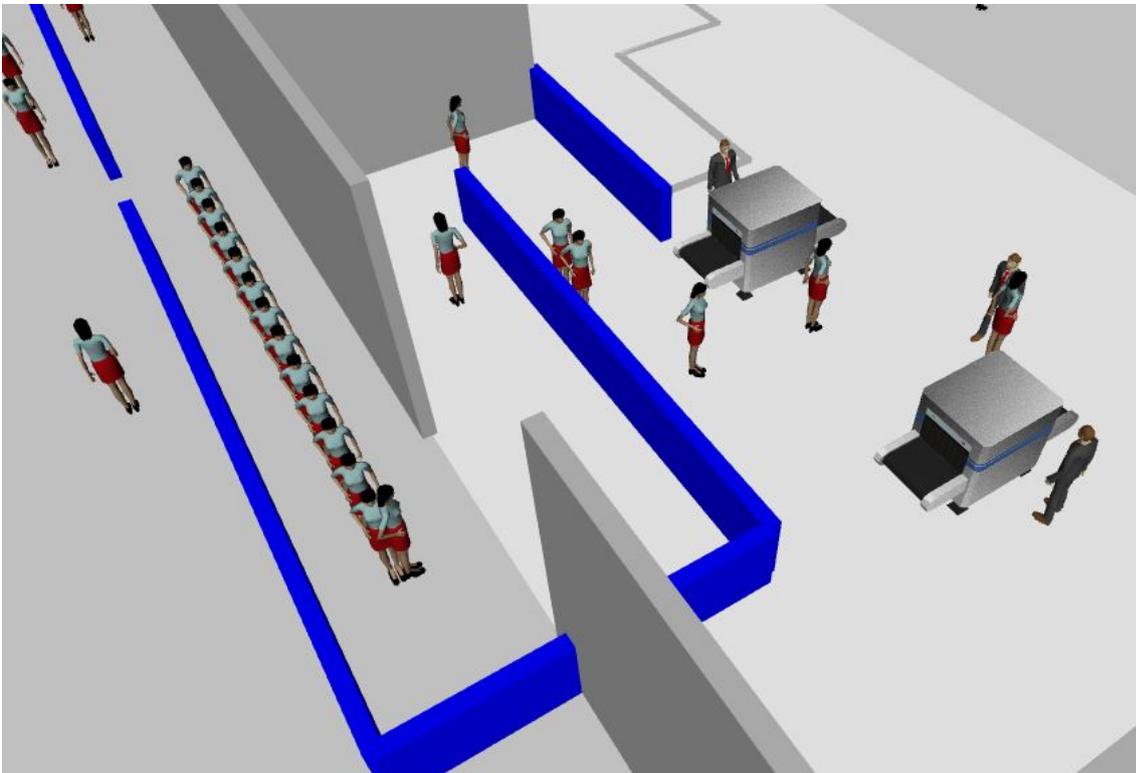
A primeira análise a ser realizada é a de densidade máxima de passageiros em cada uma das áreas do terminal do Aeroporto Hercílio Luz, para o Cenário 1 Figura 38, e para o Cenário 2, apresentado na Figura 39.

Figura 35 – Visualização 3D dos balcões das companhias aéreas



Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

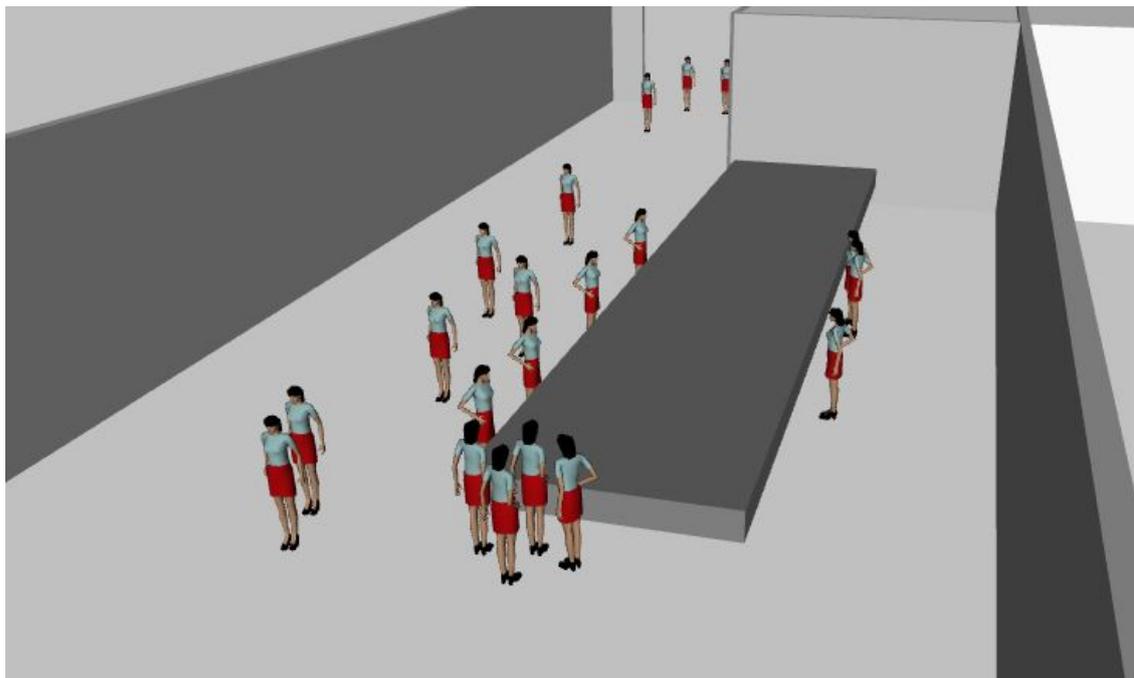
Figura 36 – Visualização 3D da área de vistoria de segurança



Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

A partir dos dez mapas de densidade máxima de passageiros de cada um dos cenários, foi possível identificar que as áreas com densidades mais críticas.

Figura 37 – Visualização 3D da sala de restituição de bagagens



Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Para o Cenário 1, as áreas com densidades mais críticas são: nas filas de serviço de *check-in*, filas na área de vistoria de segurança, filas de embarque e nos locais onde foram posicionados os elementos atratores, tanto na sala de pré-embarque, como nas salas de restituição de bagagens.

As filas de embarque, filas de *check-in* e filas da área de vistoria de segurança apresentam densidade muito próxima à crítica, perto de 1,5 passageiro/m<sup>2</sup>. Já os outros locais mencionados, nas salas de restituição de bagagens e nas proximidades dos elementos atratores, a densidade dos locais ficou a cima de 0,75 passageiro/m<sup>2</sup>, com tonalidades de amarelo, até 1,25 passageiro/m<sup>2</sup>, em que há tonalidade de vermelho mais claro.

Nas áreas que servem de passagem para os usuários, nas proximidades das portas de acesso e nos corredores, a densidade varia desde 0,25 passageiro/m<sup>2</sup>, com tons de azul claro, até 0,75 passageiro/m<sup>2</sup>, em tons de amarelo. Portanto, essas regiões apresentam densidade mais baixa e conseqüentemente são regiões de menor tráfego de passageiros.

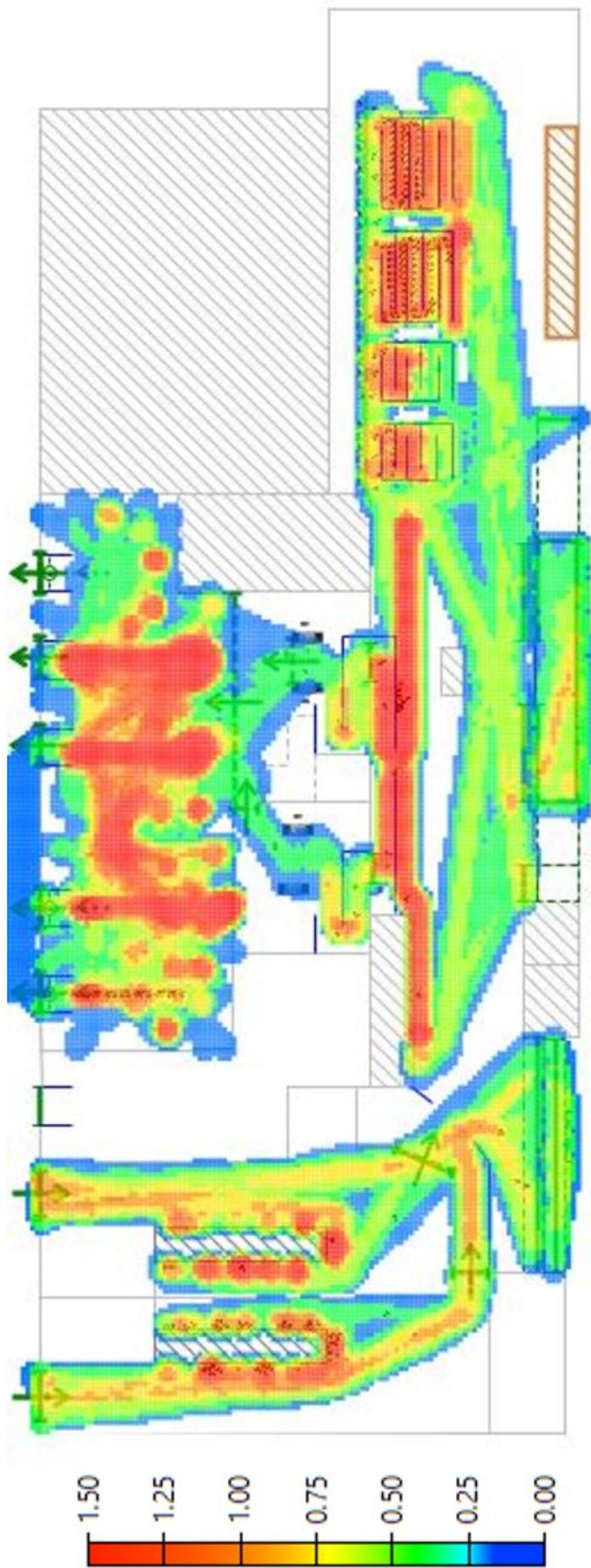
Para o Cenário 2, as áreas com densidades mais críticas são: nas filas de serviço de *check-in*, filas de embarque e nos locais onde foram posicionados os elementos atratores, tanto na sala de pré-embarque, como nas salas de restituição de bagagens.

As filas de embarque e filas de *check-in* apresentam densidade muito próxima à crítica, perto de 1,5 passageiro/m<sup>2</sup>. Nos outros locais mencionados, como as salas de

restituição de bagagens e filas de vistoria de segurança, as densidades ficaram acima de 0,75 passageiro/m<sup>2</sup>, com tonalidades de amarelo, até 1,25 passageiro/m<sup>2</sup>, em que há tonalidade de vermelho mais claro.

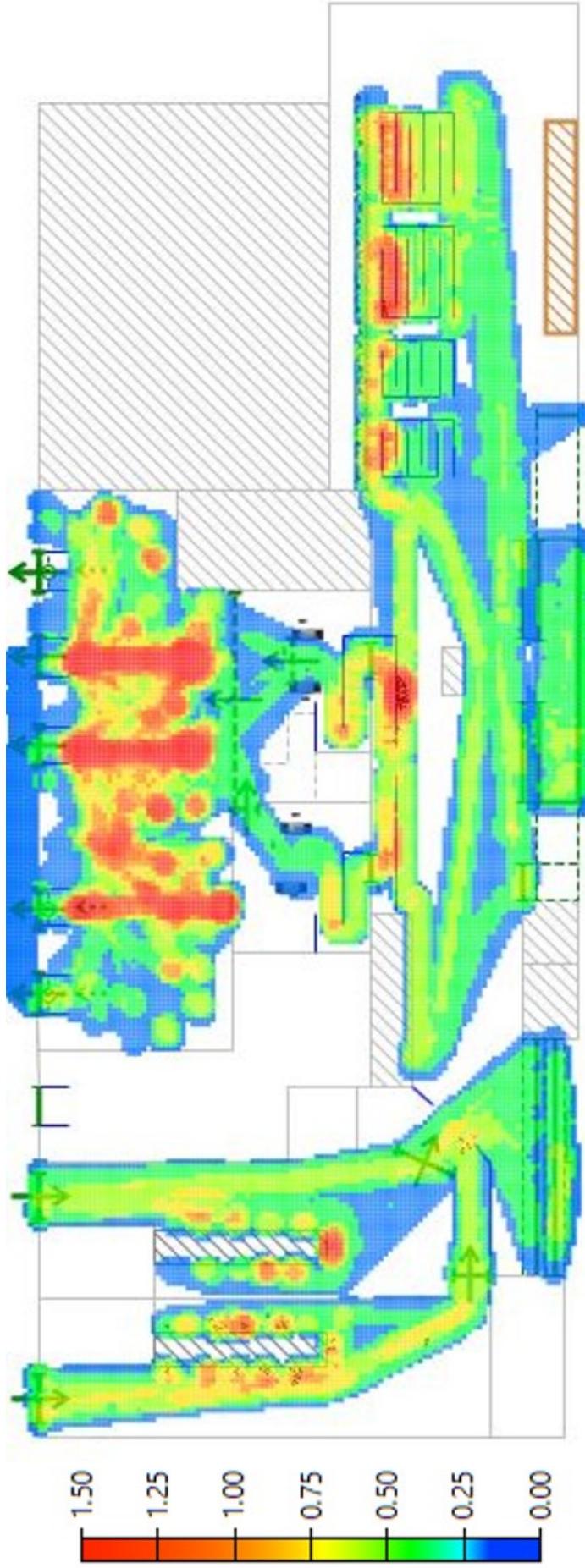
Como a demanda foi modelada com os blocos do *software* e os agentes de simulação realizam o percurso mais curto para cumprirem suas etapas, há inúmeras regiões do terminal aeroportuário, como os saguões de embarque e desembarque, em que a densidade foi igual a zero, não estando pintadas com nenhuma das colorações da escala.

Figura 38 – Mapa de densidade máxima no TPS do Aeroporto Hercílio Luz para o Cenário 1



Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

Figura 39 – Mapa de densidade máxima no TPS do Aeroporto Hercílio Luz para o Cenário 2



Fonte: Elaborado pela autora no software AnyLogic

## 5.2 QUANTIDADE DE PASSAGEIROS EM ÁREAS DE INSTALAÇÕES OPERACIONAIS

Através das simulações também foi possível determinar a quantidade máxima de passageiros esperando no interior das áreas operacionais, sala de pré-embarque e salas de restituição de bagagens, 1 e 2. Juntamente com suas respectivas áreas, foram obtidos os seus índices de dimensionamento em  $m^2$ /passageiro e verificados os seus respectivos níveis de serviço.

Para ambos os cenários, a quantidade de passageiros dentro das áreas operacionais foi obtida através de 10 simulações. Foram registrados os números máximos de passageiros em cada uma das áreas e, em seguida, foram calculados os valores médios. Por fim, com as áreas das instalações foram calculados os índices.

Em relação à quantidade de passageiros na sala de pré-embarque, a Tabela 9 apresenta os valores obtidos na simulações, para cada um dos cenários. Também apresenta os valores médios calculados e os índices de desempenho desta área operacional. Para o Cenário 1, o índice calculado ficou igual a 2,2  $m^2$ /passageiro e para o Cenário 2 igual a 2,6  $m^2$ /passageiro.

Tabela 9 – Quantidade máxima de passageiros na sala de pré-embarque

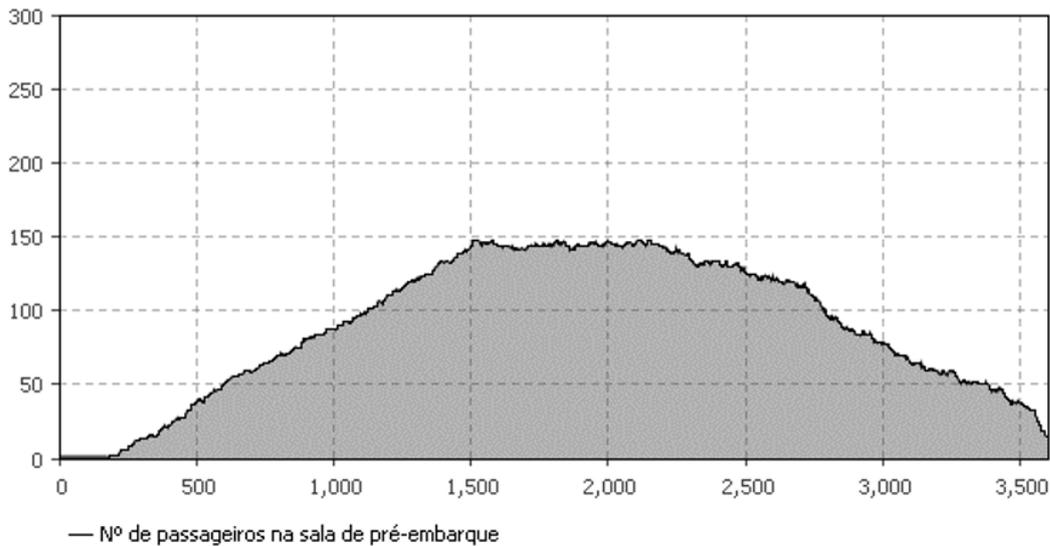
		Sala de pré-embarque	
		Cenário 1	Cenário 2
Área ( $m^2$ )		335	
Nº de passageiros nas instalações	Simulação 1	142	138
	Simulação 2	157	136
	Simulação 3	156	126
	Simulação 4	137	127
	Simulação 5	161	119
	Simulação 6	142	125
	Simulação 7	145	123
	Simulação 8	148	117
	Simulação 9	150	120
	Simulação 10	151	137
	Média	148,9	126,8
$m^2$ /pax	2,2	2,6	

Fonte: Elaborado pela autora

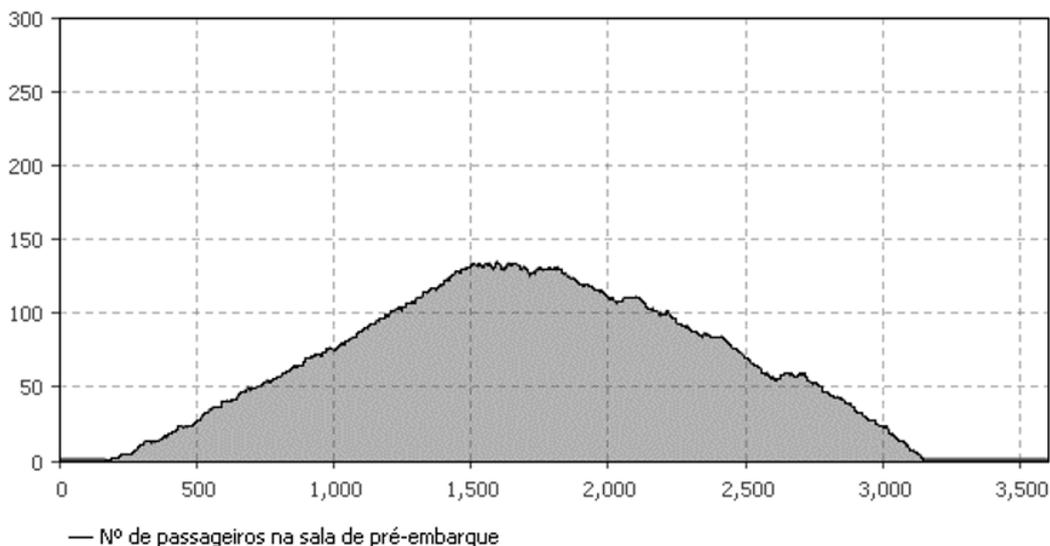
A Figura 40 ilustra a quantidade de passageiros na sala de pré-embarque, para cada um dos cenários, ao longo do período de tempo das simulações.

Figura 40 – Quantidade de passageiros na sala de pré-embarque

### Cenário 1



### Cenário 2



Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Conforme definido por Medeiros (2004), na Tabela 4, para obter nível de serviço A, cada passageiro deve ter pelo menos  $1,4 \text{ m}^2$  disponível na sala de pré-embarque. Como na sala pré-embarque os passageiros dispõem de valor de área maior que  $1,4 \text{ m}^2$ , no modelo de simulação do terminal, os níveis de serviço destas áreas são altos, para os dois cenários analisados.

Foi realizada a medição do número máximo de passageiros esperando ou passando pelas salas de restituição de bagagens 1 e 2 para os dois cenários, representadas na Figura 41 e Figura 42, respectivamente.

De forma análoga à realizada para a sala de pré-embarque, foram obtidos os resultados máximos de passageiros dentro das salas de restituição de bagagens, feito o cálculo do valor médio e, por fim, com as respectivas áreas calculados os índices, apresentados nas Tabelas 10 e 11. Com os valores apresentados, é possível identificar que a sala de restituição de bagagens 1 obteve um índice igual a 2,9 m<sup>2</sup>/passageiro e 5,3 m<sup>2</sup>/passageiro, para os cenários 1 e 2, respectivamente.

Tabela 10 – Quantidade máxima de passageiros na sala de restituição de bagagens 1

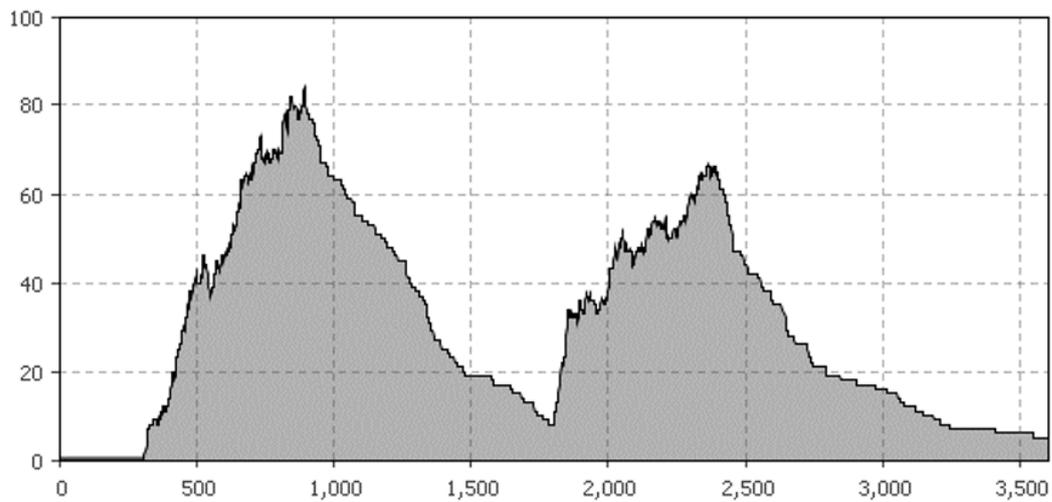
		Sala de restituição de bagagens 1	
		Cenário 1	Cenário 2
Área (m <sup>2</sup> )		200	
Nº de passageiros nas instalações	Simulação 1	71	40
	Simulação 2	68	32
	Simulação 3	62	37
	Simulação 4	72	43
	Simulação 5	65	33
	Simulação 6	76	40
	Simulação 7	61	37
	Simulação 8	68	35
	Simulação 9	59	37
	Simulação 10	82	40
	Média	68,4	37,4
m <sup>2</sup> /pax	2,9	5,3	

Fonte: Elaborado pela autora

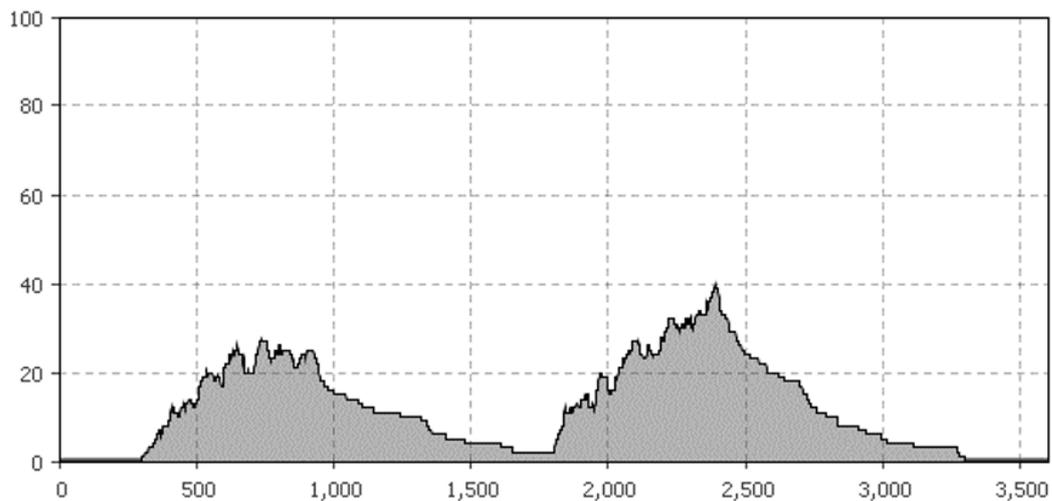
Para a sala de restituição de bagagens 2, com os valores apresentados na Tabela 11, é possível identificar que esta sala de restituição de bagagens obteve um índice igual a 3,3 m<sup>2</sup>/passageiro e 5,9 m<sup>2</sup>/passageiro, para os cenários 1 e 2, respectivamente.

Conforme definido por Medeiros (2004), na Tabela 5, para obter nível de serviço A, cada passageiro deve ter pelo menos 1,6 m<sup>2</sup> na sala de restituição de bagagens. Como nas salas de restituição de bagagens, os passageiros dispõem de valor de área maior que 1,6 m<sup>2</sup>, no modelo de simulação do TPS, os níveis de serviço destas áreas são altos, para ambos os cenários analisados.

Figura 41 – Quantidade de passageiros na sala de restituição de bagagens 1

**Cenário 1**

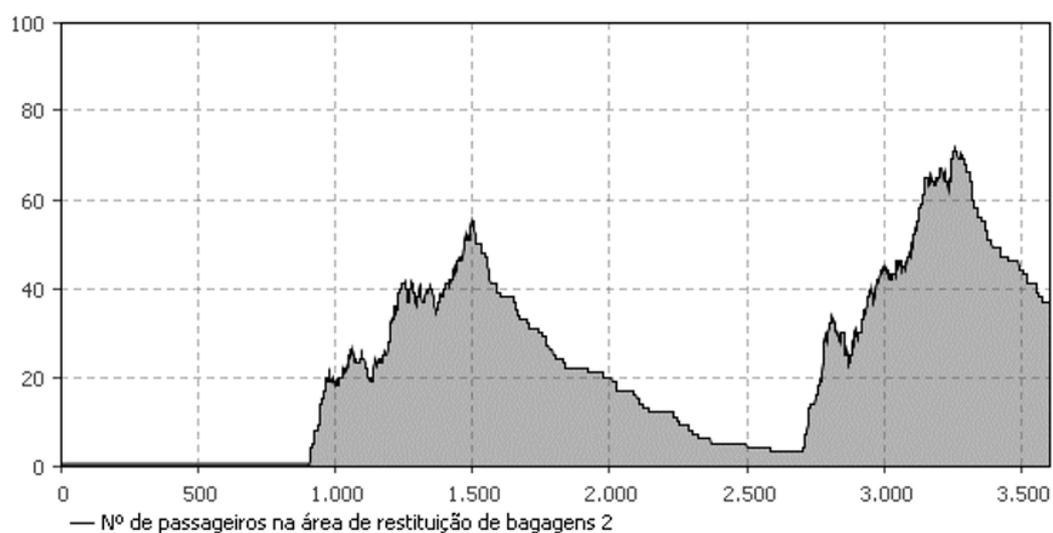
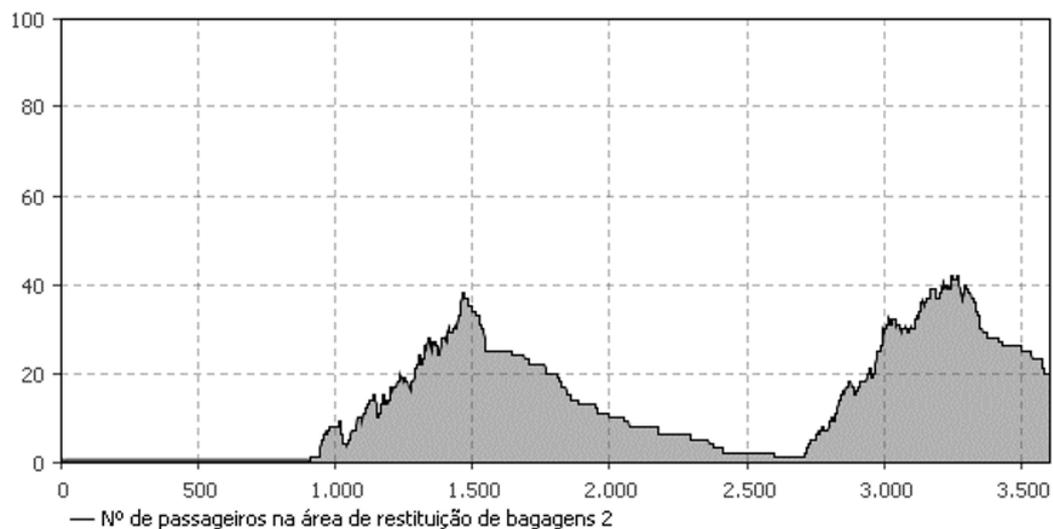
— Nº de passageiros na área de restituição de bagagens 1

**Cenário 2**

— Nº de passageiros na área de restituição de bagagens 1

Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Figura 42 – Quantidade de passageiros na sala de restituição de bagagens 2

**Cenário 1****Cenário 2**

Fonte: Elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Tabela 11 – Quantidade máxima de passageiros na sala de restituição de bagagens 2

		Sala de restituição de bagagens 2	
		Cenário 1	Cenário 2
Área (m <sup>2</sup> )		235	
Nº de passageiros nas instalações	Simulação 1	71	33
	Simulação 2	77	36
	Simulação 3	87	42
	Simulação 4	71	46
	Simulação 5	78	34
	Simulação 6	63	38
	Simulação 7	59	39
	Simulação 8	81	43
	Simulação 9	61	48
	Simulação 10	72	42
	Média	72	40,1
m <sup>2</sup> /pax	3,3	5,9	

Fonte: Elaborado pela autora

## 5.3 QUANTIDADE DE PASSAGEIROS EM FILAS DE PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

Para determinar o nível de serviço, em relação ao número máximo de passageiros esperando para serem atendidos pelo número de balcões de *check-in* das companhias aéreas, foi realizada análise da quantidade máxima de passageiros em cada uma das filas das companhias aéreas. Em seguida, com os dez valores das simulações, foi calculado o valor médio de passageiros esperando nas filas. Por fim, com a quantidade de balcões operantes de cada uma das companhias aéreas, foi calculada a proporção de número de passageiros por balcão.

A Tabela 12 apresenta os valores de números de passageiros por balcão da companhia aérea LATAM e a Figura 43 ilustra, para os dois cenários, o número de passageiros em fila, ao longo do período de simulação.

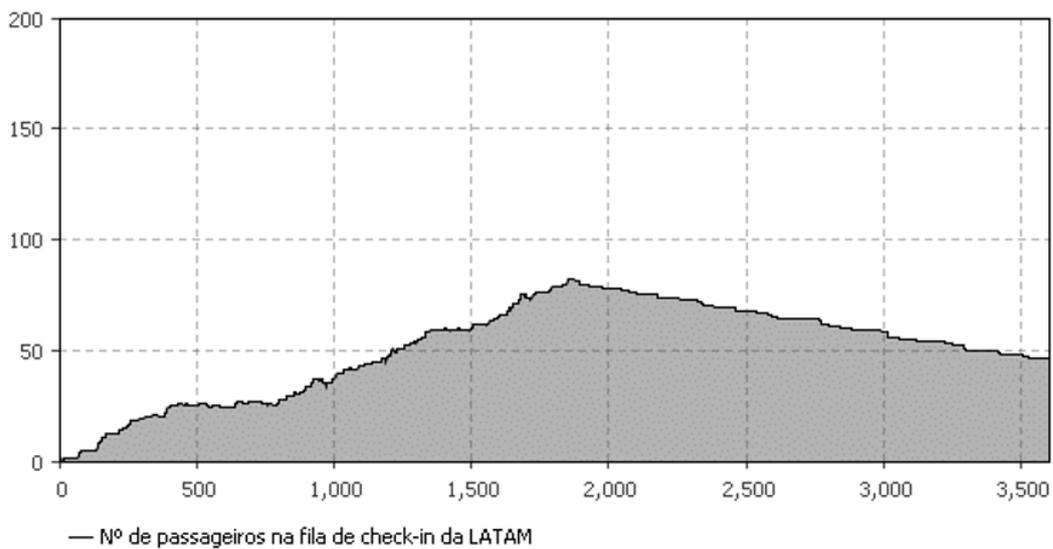
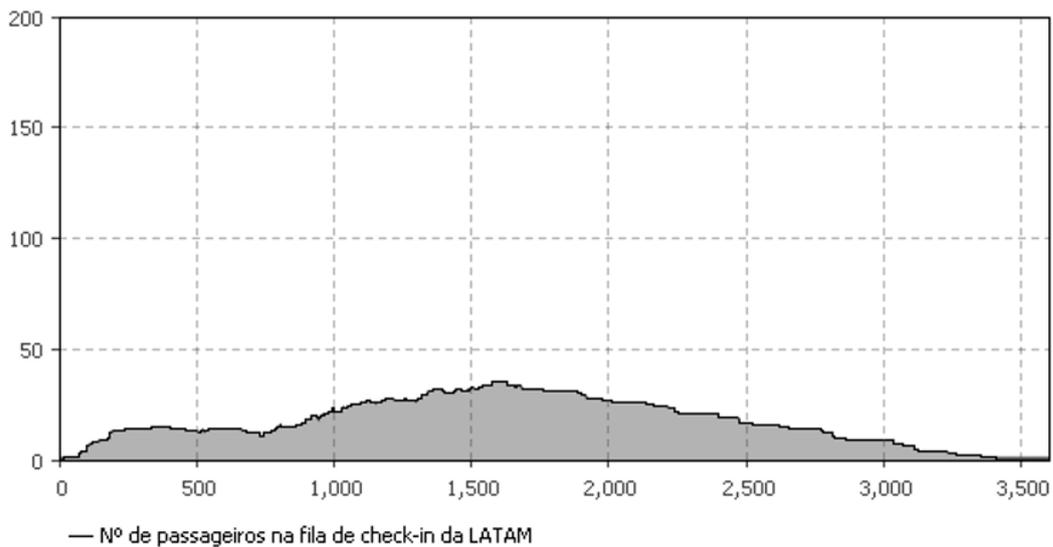
Tabela 12 – Quantidade máxima de passageiros na fila de *check-in* da LATAM

		LATAM	
		Cenário 1	Cenário 2
Nº de balcões de check-in		5	
Nº de passageiros na fila de check-in	Simulação 1	90	37
	Simulação 2	78	36
	Simulação 3	86	34
	Simulação 4	83	34
	Simulação 5	105	35
	Simulação 6	98	49
	Simulação 7	90	37
	Simulação 8	91	38
	Simulação 9	92	30
	Simulação 10	81	37
	Média	89,4	36,7
pax/balcão	17,9	7,3	

Fonte: Elaborado pela autora

Os valores dos números de passageiros por balcão da GOL, para ambos os cenários, estão apresentados na Tabela 13, e a Figura 44 dispõe dos gráficos com a quantidade de passageiros na fila, ao longo do tempo de simulação.

A Tabela 14 apresenta os números de passageiros por balcão na fila de *check-in* da companhia aérea Avianca. A Figura 45 dispõe da quantidade de passageiros esperando nas filas ao longo do período da simulação.

Figura 43 – Quantidade de passageiros na fila de *check-in* da LATAM**Cenário 1****Cenário 2**

Fonte: Modelo elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Tabela 13 – Quantidade máxima de passageiros na fila de *check-in* da GOL

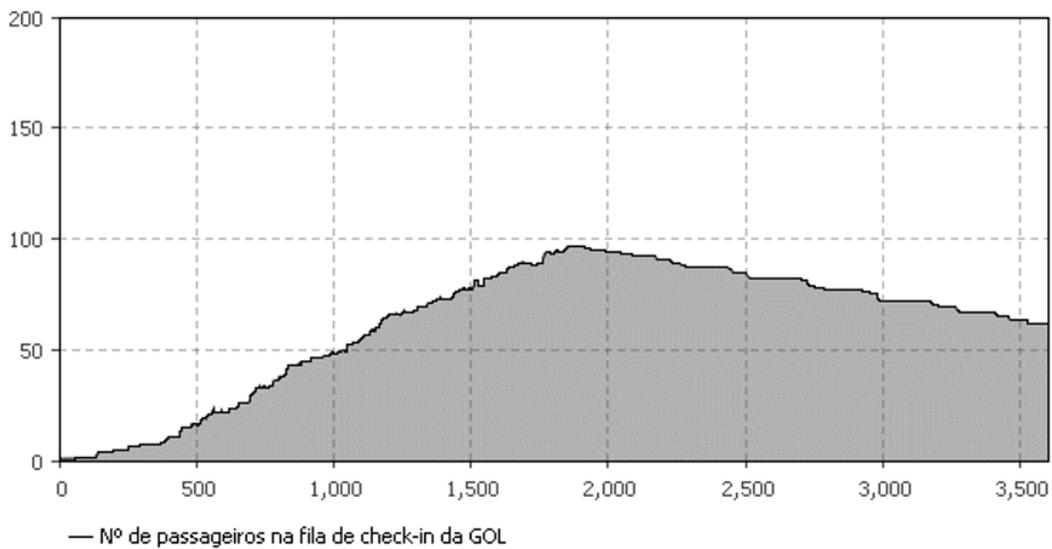
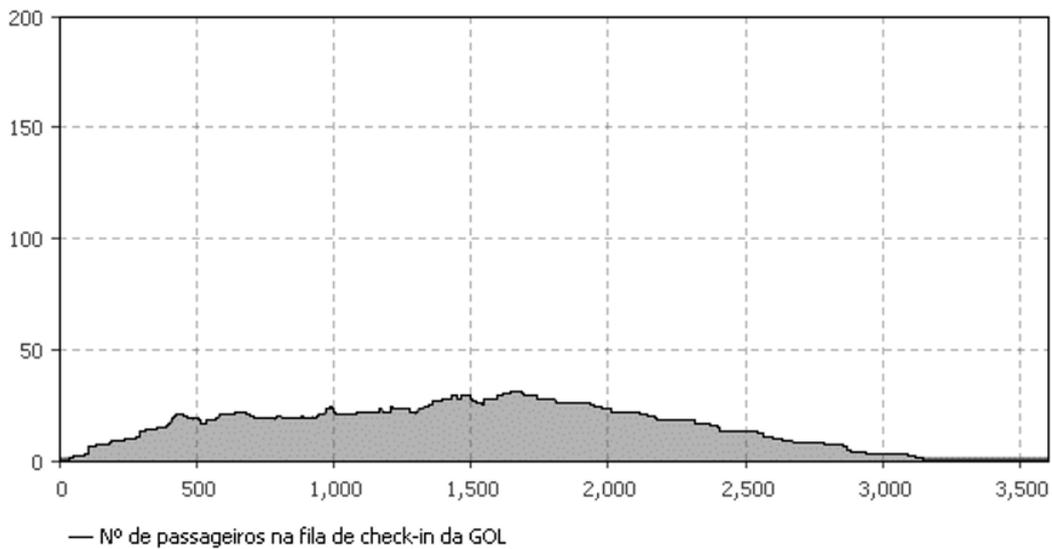
		GOL	
		Cenário 1	Cenário 2
Nº de balcões de check-in		5	
Nº de passageiros na fila de check-in	Simulação 1	73	33
	Simulação 2	99	36
	Simulação 3	76	40
	Simulação 4	77	22
	Simulação 5	95	23
	Simulação 6	76	36
	Simulação 7	87	29
	Simulação 8	89	25
	Simulação 9	98	26
	Simulação 10	97	36
	Média	86,7	30,6
pax/balcão	17,3	6,1	

Fonte: Elaborado pela autora

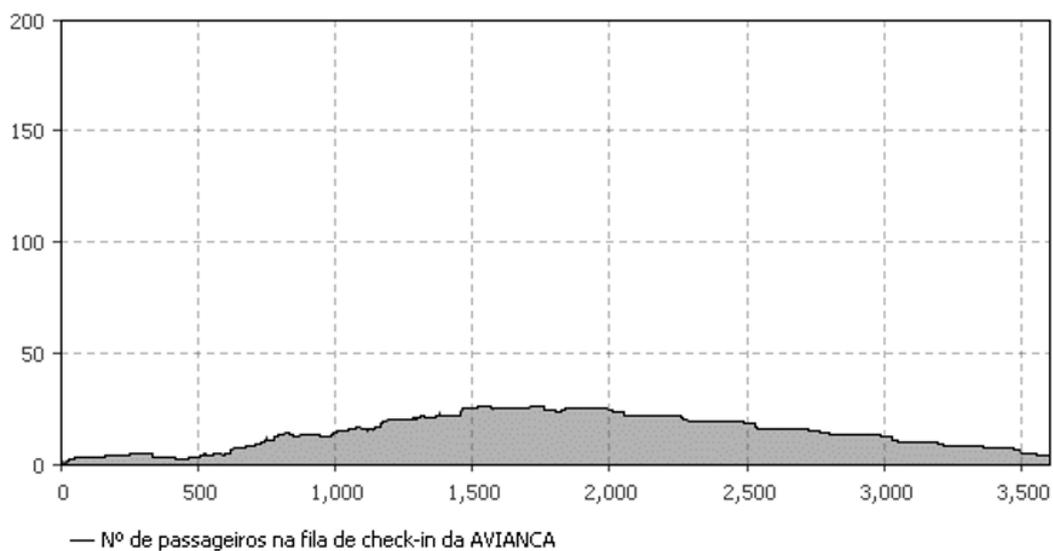
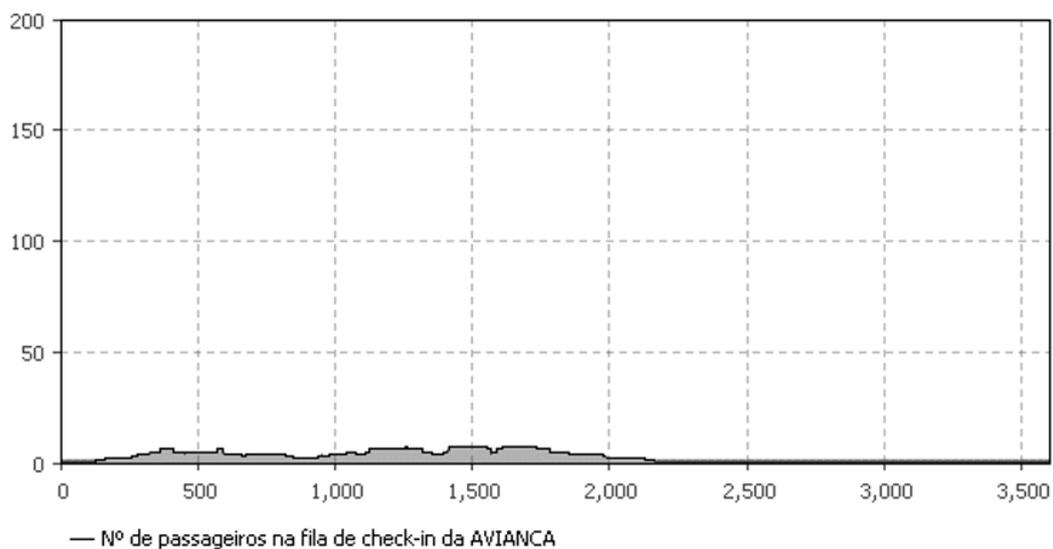
Tabela 14 – Quantidade máxima de passageiros na fila de *check-in* da Avianca

		Avianca	
		Cenário 1	Cenário 2
Nº de balcões de check-in		3	
Nº de passageiros na fila de check-in	Simulação 1	37	6
	Simulação 2	28	12
	Simulação 3	36	8
	Simulação 4	40	10
	Simulação 5	18	5
	Simulação 6	37	9
	Simulação 7	38	8
	Simulação 8	34	19
	Simulação 9	37	8
	Simulação 10	27	7
	Média	33,2	9,2
pax/balcão	11,1	3,1	

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 44 – Quantidade de passageiros na fila de *check-in* da GOL**Cenário 1****Cenário 2**

Fonte: Modelo elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Figura 45 – Quantidade de passageiros na fila de *check-in* da Avianca**Cenário 1****Cenário 2**Fonte: Modelo elaborado pela autora no *software* AnyLogic

Por fim, os valores de passageiros esperando na fila de *check-in* da companhia aérea Azul foram apresentados na Tabela 15. A Figura 46 ilustra a quantidade de passageiros esperando em fila ao longo da simulação.

Tabela 15 – Quantidade máxima de passageiros na fila de *check-in* da Azul

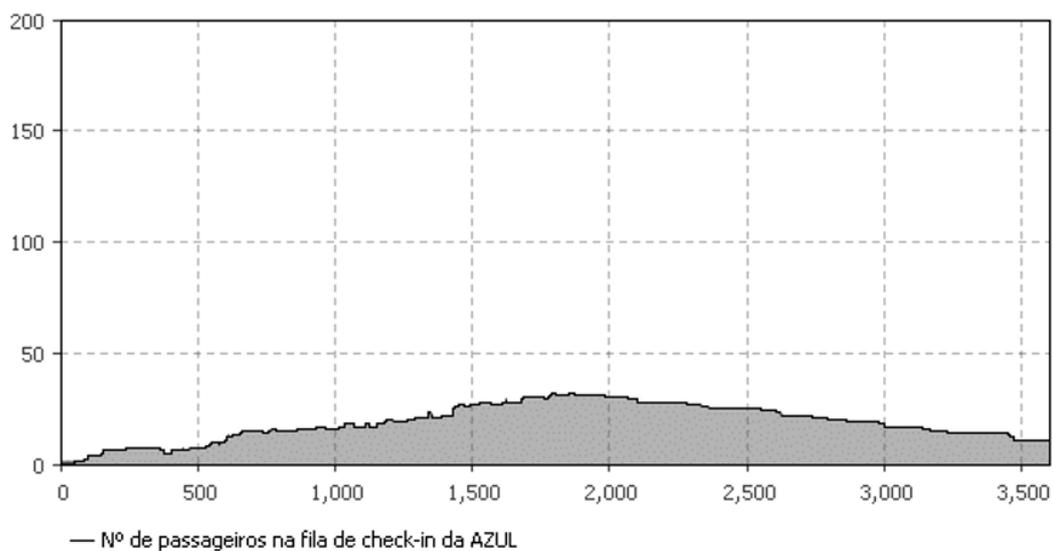
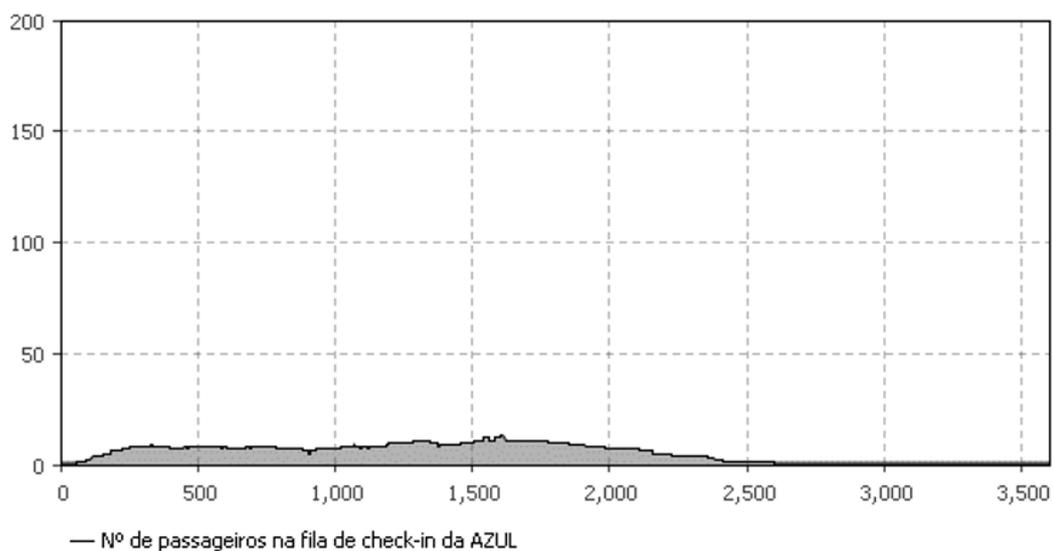
		Azul	
		Cenário 1	Cenário 2
Nº de balcões de check-in		3	
Nº de passageiros na fila de check-in	Simulação 1	37	10
	Simulação 2	38	9
	Simulação 3	35	12
	Simulação 4	36	7
	Simulação 5	30	12
	Simulação 6	41	14
	Simulação 7	38	15
	Simulação 8	21	8
	Simulação 9	30	6
	Simulação 10	36	16
	Média	34,2	10,9
pax/balcão	11,4	3,6	

Fonte: Elaborado pela autora

A partir dos produtos das simulações e dos cálculos apresentados, foi possível verificar a eficiência de operação dos serviços de *check-in* das companhias aéreas. Foram determinados os níveis de serviço para cada das instalações do modelo de simulação do terminal e verificadas as taxas de processamento das áreas de vistoria de segurança, a partir do método de dimensionamento elaborado por Medeiros (2004).

A Tabela 2 dispõe dos níveis de serviço para cada um dos números máximos de passageiros esperando na fila pela quantidade de balcões da companhia aérea. Medeiros (2004) determina que quando o índice máximo de passageiros esperando por balcão é menor ou igual a 8 o nível de serviço correspondente é o A - Alto, entre 8 e 10 passageiros por balcão, B - Bom e entre 10 e 12 passageiros por balcão, C - Regular. Para valores superiores a 12 passageiros por balcão, também foi considerado nível de serviço regular.

A LATAM, no Cenário 1, ficou com um índice igual a 17,9 passageiros/balcão e, no Cenário 2 igual a 7,3 passageiros/balcão. Portanto, para o Cenário 1 ficou com nível de serviço regular e para o Cenário 2, seu nível de serviço ficou alto.

Figura 46 – Quantidade de passageiros na fila de *check-in* da Azul**Cenário 1****Cenário 2**Fonte: Modelo elaborado pela autora no *software* AnyLogic

A empresa aérea GOL, no Cenário 1, ficou com um índice igual a 17,3 passageiros/balcão e, no Cenário 2 igual a 6,1 passageiros/balcão. Portanto, para o Cenário 1 ficou com nível de serviço regular e para o Cenário 2, seu nível de serviço ficou alto.

No Cenário 1, a companhia aérea Avianca ficou com um índice igual a 11,1 passageiros/balcão e, no Cenário 2 igual a 3,1 passageiros/balcão. Portanto, para o Cenário 1 ficou com nível de serviço regular e para o Cenário 2, seu nível de serviço ficou alto.

Por fim, a Azul, no Cenário 1, ficou com um índice igual a 11,4 passageiros/balcão e, no Cenário 2 igual a 3,6 passageiros/balcão. Logo, para o Cenário 1 ficou com nível de serviço regular e para o Cenário 2, seu nível de serviço ficou alto.

Para avaliar a taxa de processamento de passageiros não há níveis de serviços específicos, Medeiros (2004) determinou uma taxa mínima que deve ser atendida, disposta na Tabela 3, sendo que a taxa de processamento de 180 passageiros por hora deve ser considerada por equipamento de raio-x. Portanto, foram medidas as taxas de processamento nas 10 simulações para as duas áreas de vistoria de segurança, denominadas 1 e 2, apresentados respectivamente nas Tabelas 16 e 17.

Tabela 16 – Quantidade de passageiros atendidos na área de vistoria de segurança 1

		Área de vistoria de segurança 1	
		Cenário 1	Cenário 2
Nº de pax atendidos na vistoria de segurança	Simulação 1	260	162
	Simulação 2	258	152
	Simulação 3	247	161
	Simulação 4	252	153
	Simulação 5	259	157
	Simulação 6	249	159
	Simulação 7	253	159
	Simulação 8	250	141
	Simulação 9	247	150
	Simulação 10	257	149
	<b>pax/h</b>	<b>253,2</b>	<b>154,3</b>

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 17 – Quantidade de passageiros atendidos na área de vistoria de segurança 2

		Área de vistoria de segurança 2	
		Cenário 1	Cenário 2
<b>Nº de pax atendidos na vistoria de segurança</b>	<b>Simulação 1</b>	261	165
	<b>Simulação 2</b>	256	171
	<b>Simulação 3</b>	270	158
	<b>Simulação 4</b>	248	166
	<b>Simulação 5</b>	253	160
	<b>Simulação 6</b>	249	150
	<b>Simulação 7</b>	263	157
	<b>Simulação 8</b>	252	180
	<b>Simulação 9</b>	253	163
	<b>Simulação 10</b>	265	162
	<b>pax/h</b>	<b>257</b>	<b>163,2</b>

Fonte: Elaborado pela autora

Com os resultados das simulações, foi feito o cálculo da média dos valores medidos e, como a a simulação tem duração de 59 minutos e 59 segundos e cada área dispõe de um equipamento de raio-x, os valores médios já correspondem à taxa de processamento de cada uma das área de vistoria e segurança, os quais estão apresentados na Tabela 16.

Como disposto nas Tabelas 16 e 17, em ambas as áreas de vistoria de segurança, para o Cenário 1, as taxas de processamento estão acima de 180 pax/hora. Portanto, no modelo o processamento deste serviço nas áreas do TPS do Aeroporto Hercílio Luz está acima do desejado. Já para o Cenário 2, para ambas as áreas de vistoria de segurança, as taxas de processamento estão abaixo de 180 pax/hora, logo o modelo de simulação está aquém do desejado.



## 6 Conclusões

Este capítulo apresenta a conclusão do trabalho, além de propor recomendações para trabalhos futuros.

### 6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou o seu objetivo de aplicar um procedimento para análise de parâmetros de desempenho de um terminal aeroportuário de passageiros com base em um modelo de simulação.

Conforme os objetivos propostos neste trabalho, inicialmente foram verificadas as possibilidades de obtenção dos dados de infraestrutura e demanda do Aeroporto Hercílio Luz. Os dados de demanda foram disponibilizados pela Infraero em seu Anuário Estatístico, de fácil alcance e com dados concisos. Porém, a obtenção dos dados de infraestrutura do terminal foi trabalhosa e limitada, sem ter sido feita solicitação de dados diretamente com a administração do aeroporto.

Em seguida, foi iniciado o processo de estudo de simulação, em que foram constatadas as vantagens e desvantagens deste tipo de procedimento, estando algumas listadas na Tabela 18, juntamente com as limitações impostas pela versão livre do *software* AnyLogic. Tais limitações, em conjunto com a não obtenção de todos os dados operacionais necessários, fizeram com que fosse necessário uma série de simplificações no modelo de simulação, afastando-o da realidade.

Tabela 18 – Vantagens e desvantagens do processo de simulação

Processo de simulação em terminais aeroportuários	
Vantagens	Desvantagens
Simulação realista das operações de um terminal de passageiros	Modelos devem ter alta complexidade para serem fiéis à realidade
Acompanhamento periódico dos parâmetros de desempenho	Elevado nível de detalhamento dos dados para o modelo ser realístico
Prever o comportamento futuro de instalações já implantadas	Qualquer simplificação no modelo pode ter grande influência na confiabilidade dos resultados
Prever o comportamento futuro de projetos de terminais	

Fonte: Elaborado pela autora

Foram identificadas as técnicas de modelagem e simulação disponíveis no AnyLogic, verificando-se como devem ser feitas as modelagens da infraestrutura e da demanda, quais critérios e parâmetros devem ser inseridos no *software* e identificando

possíveis equívocos que fazem a simulação não rodar, como a falta de determinação do período de simulação, presença de agentes diferentes no fluxos de simulação e erros nas funções estatísticas.

Com as simulações realizadas, foi o momento de fazer a extração dos resultados a partir da modelagem. Foi possível a extração de resultados com estatísticas do fluxo de pedestres, através de contagens de pedestres em filas e em áreas e, para apresentação dos resultados, foram utilizados gráficos do tipo *time plot*. Também foi possível inserir mapas de densidade máxima de pedestres, mostrando em quais regiões há maior fluxos de pedestres.

Por fim, foram realizadas as análises dos dados obtidos a partir de 10 simulações no *software* AnyLogic e seus parâmetros de desempenho foram comparados aos definidos por Medeiros (2004) em seu método de dimensionamento para terminais aeroportuários brasileiros. Os mapas de densidade máxima ilustraram que os principais locais com altas densidades de passageiros foram: sala de pré-embarque, as salas de restituição de bagagens e nos locais onde há formação das filas de prestação de serviços.

Os recursos utilizados nas simulações, como as paletas, seções e blocos, foram os mais básicos disponibilizados pelo AnyLogic. Concluí-se que, se fossem utilizados os mesmos dados operacionais, mas com recursos mais complexos, disponíveis no *software* licenciado, o modelo de simulação ficaria mais próximo à realidade de operação do terminal do Aeroporto Hercílio Luz e os resultados seriam mais verossímeis. O aeroporto ficou com níveis de serviço altos, principalmente por três motivos: em razão da limitação do tempo de simulação, devido a não consideração dos passageiros em trânsito internacional e porque não foi possível iniciar a simulação com passageiros em seu interior.

Os dados obtidos sobre a infraestrutura e sobre os processos envolvidos no aeroporto foram limitados, não possibilitando a criação de um modelo que pudesse ser utilizado para mensurar com efetividade as condições operacionais do terminal. Apesar disto, foi possível verificar quais são os dados necessários para a realização de uma simulação realista e como é o procedimento da modelagem e de extração de resultados. A administração do aeroporto poderia manter um modelo de simulação realista de suas instalações, para que, periodicamente, fossem avaliados os níveis de serviço de suas instalações e prestações de serviço, além de apoiar decisões a nível de estudos de melhorias e ampliações.

Conclui-se que a simulação é uma ferramenta adequada para obtenção de parâmetros de desempenho de terminais aeroportuários de passageiros, porém para que o modelo e os resultados sejam confiáveis, é necessário um elevado nível de detalhes

dos dados operacionais e um *software* de simulação com todas as funcionalidades disponíveis.

## 6.2 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

São recomendações para trabalhos futuros na área de simulação de fluxo de passageiros:

- Estudo aprofundado sobre a modelagem de fluxo de pedestres e os seus reflexos nos resultados em simulações de terminais.
- Elaborar modelo mais realista do terminal do Aeroporto Hercílio Luz que considere todos os elementos relevantes para um estudo de capacidade e nível de serviço, e que pudesse ser utilizado na prática, a fim de representar o desempenho do aeroporto em frente à sua demanda.
- Realizar procedimentos de calibração e validação do modelo de simulação do TPS, previamente à extração de resultados.
- Realizar simulação para o novo TPS do Aeroporto Hercílio Luz, com incremento de demanda previsto.



# Referências

- AGENCIA NACIONAL DE AVIACAO CIVIL. *Aeródromos - Operação, Manutenção e Resposta à Emergência*. 2016.
- ANDRADE, E. L. de. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- ASHFORD, N. et al. *Operações Aeroportuárias*. 3. ed. Porto Alegre: bookman, 2015.
- ASHFORD, N. J.; MUMAYIZ, S.; WRIGHT, P. H. *Airport Engineering*. 4. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons Inc., 2011.
- BANKS, J.; CARSON, J.; NELSON, B. *Discrete-Event System Simulation*. Nova Jersey: Prentice-Hall, 1999.
- BAZZO, W. A.; PEREIRA, L. T. do V. *Introdução à Engenharia*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006.
- BECK, M. B. *Water quality modeling: a review of the analysis of uncertainty*. [S.l.: s.n.], 1987.
- COOPER, R. B. *Introduction to Queueing Theory*. Nova Iorque: The Macmillan Company, 1972.
- DIAMOND, R. et al. The current and future status of simulation software (panel). 2002.
- DONIGIAN, A.; RAO, P. S. *Selection, application and validation of environmental models*. Utah: [s.n.], 2004.
- ECONOMICS, O. *A IMPORTÂNCIA DO TRANSPORTE AÉREO NO BRASIL*. [S.l.], 2016.
- FAA. *PLANNING AND DESIGN GUIDELINES FOR AIRPORT TERMINAL FACILITIES*. [S.l.], 1988.
- FALCAO, V.; ZIMMERMANN, N. B.; CORREIA, A. Análise de nível de serviço em componentes de desembarque de terminais de passageiros aeroportuários: Estudo de caso no aeroporto internacional de campinas/viracopos. 2012.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. *Airport Capacity and Delay*. [S.l.], 1983. Disponível em: <[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory\\_Circular/150\\_5060\\_5.pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/150_5060_5.pdf)>.
- FILHO, P. J. de F. *Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas*. 2. ed. Florianópolis: Visual Nurse Managers Bookshelf, 2008.
- HIMESH, R. S.; MAHAJAN. Calibration and validation of water quality model. 2000.
- HORONJEFF, R. et al. *Planning & Design of Airports*. 5. ed. Nova Iorque: Mc Graw Hill, 2010.

- IATA. *Airport Development Reference Manual*. 10. ed. Montreal, 2014.
- INFRAERO. *Anuário Estatístico Operacional*. 2017. Disponível em: <<http://www.infraero.gov.br/index.php/br/estatisticas/estatisticas.html>>.
- KAZDA, R. E. C. A. *Airport Design and Operation*. 2. ed. Oxford: Elsevier, 2007.
- LOPES, P. M. S. Metodologias de calibração e validação do modelo de simulação climática cligen de apoio à modelação de perda de solo. *European Journal of Operational Research*, 2005.
- MARCOS, A. R. A.; FERREIRA, L. Um modelo de simulação para gestão da capacidade dos aeroportos brasileiros. 2015.
- MCKINSEY & COMPANY. *Estudo do setor de transporte aéreo do Brasil: relatório consolidado*. São Paulo, 2010.
- MEDEIROS, A. G. M. de. *Um método para dimensionamento de terminais de passageiros em aeroportos brasileiros*. Dissertação (Mestrado) — ITA, 2004.
- NEW YORK CITY DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *FAA Regional Air Service Demand Study*. 2007.
- OLIVA, R. Model calibration as a testing strategy for system dynamics models. 2002.
- OLIVEIRA, G. L. F. de; ALVES, C. J. P. Estudo da capacidade aeroportuária da grande são paulo. São José dos Campos, 2008.
- PABEDINSKAITE, A.; AKSTINAITEA, V. Evaluation of the airport service quality. 2014. Disponível em: <[https://ac.els-cdn.com/S1877042813055249/1-s2.0-S1877042813055249-main.pdf?\\_tid=657a41ca-cb46-11e7-9323-00000aab0f26&acdnat=1510889066\\_8b2e5b5cf8bb4a78d8170089ff01a230](https://ac.els-cdn.com/S1877042813055249/1-s2.0-S1877042813055249-main.pdf?_tid=657a41ca-cb46-11e7-9323-00000aab0f26&acdnat=1510889066_8b2e5b5cf8bb4a78d8170089ff01a230)>.
- PARK, Y. H. *A evaluation methodology for the level of service at the airport landside system*. Dissertação (Mestrado) — Loughborough University, 1994.
- PEREIRA, M. M.; DANTAS, M. J. P. Aplicação da modelagem e simulação nos sistemas de filas. 2015. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn\\_sto\\_215\\_271\\_28235.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/tn_sto_215_271_28235.pdf)>.
- PORTUGAL, L. da S. *Simulação de Tráfego*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005.
- SAATY, T. L. *Mathematical Methods of Operation Research*. Londres: McGraw-Hill Company, 1959.
- SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão & Produção*, 2009.
- SALIBY, E. *Softwares para Simulação*. 1997. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/softwares-para-simulacao-2/>>.
- TRB. *Aiport Passenger Terminal Planning and Design*. Washington: Airport Cooperative Research Program (ACRP), 2010. v. 1.

WANG, P. *The Derivation and Analysis of the Passenger Peak Hour: An Empirical Application to Brazil*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Loughborough, 1995.

YANG, Y.; LI, J.; ZHAO, Q. Study on passenger flow simulation in urban subway station based on anylogic. *Journal of Software*, 2014.

YOUNG, S.; WELLS, A. *Aerportos*. 6. ed. São Paulo: bookman, 2014.