

**DANIELLE MIE KAWAMURA  
LUISA DE MOURA CHAVES  
RAFAEL KOBAYASHI BARBARA  
SÍLVIA VITALI SANTOS MAUAD**

**ANÁLISE DO FLUXO DE PEDESTRES NA INTEGRAÇÃO ENTRE AS  
ESTAÇÕES PAULISTA E CONSOLAÇÃO DO METRÔ, COM EMPREGO  
DE MICROSSIMULAÇÃO**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo

São Paulo  
2018

**DANIELLE MIE KAWAMURA  
LUISA DE MOURA CHAVES  
RAFAEL KOBAYASHI BARBARA  
SÍLVIA VITALI SANTOS MAUAD**

**ANÁLISE DO FLUXO DE PEDESTRES NA INTEGRAÇÃO ENTRE AS  
ESTAÇÕES PAULISTA E CONSOLAÇÃO DO METRÔ, COM EMPREGO  
DE MICROSSIMULAÇÃO**

Trabalho de Formatura do Curso de  
Engenharia Civil apresentado à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo

Orientador: Prof. Dr. Gabriel Feriencic

São Paulo  
2018

Barbara, Rafael Kobayashi

ANÁLISE DO FLUXO DE PEDESTRES NA INTEGRAÇÃO ENTRE AS ESTAÇÕES PAULISTA E CONSOLAÇÃO DO METRÔ, COM EMPREGO DE MICROSSIMULAÇÃO / R. K. Barbara, L. M. Chaves, D. M. Kawamura, S. V. S. Mauad -- São Paulo, 2018.

119 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.  
Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Microsimulação 2.Fluxo de pedestres 3.Estações de metrô I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t. III.Chaves, Luisa de Moura IV.Kawamura, Danielle Mie V.Mauad, Sílvia Vitali Santos

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos que nos ajudaram durante os anos de faculdade. Em especial, aos nossos familiares e amigos que sempre estiveram ao nosso lado.

Agradecemos também ao professor Gabriel Feriencic, pelo apoio dado durante a realização desse estudo, e à ViaQuatro, por disponibilizar os dados utilizados na construção do modelo 3D.

Por último, gostaríamos de agradecer a Thiago Meira e Luciano Peron pelas contribuições fornecidas durante a execução do trabalho.



## SUMÁRIO

1	Introdução .....	11
2	Objetivos .....	12
2.1	Objetivos Gerais .....	12
2.2	Objetivos Específicos.....	12
3	Justificativa e método.....	13
3.1	Justificativa .....	13
3.2	Método.....	13
4	A importância do planejamento urbano e de transportes no desenvolvimento das cidades.....	17
4.1	Planejamento Urbano e Transportes na Cidade de São Paulo .....	17
4.1.1	A Rede sobre trilhos da cidade de São Paulo e a importância das estações de integração .....	19
5	Projetos de estações de integração em transferências de passageiros na rede metro-ferroviária.....	23
5.1	As Estações de Integração .....	23
5.1.1	Projetos de integração em transferências de passageiros .....	27
5.1.2	Capacidade de estações .....	28
5.1.3	Nível de serviço .....	30
5.1.4	Circulação horizontal .....	33
5.1.5	Circulação vertical .....	37
6	Metodologia de modelagem de microsimulação de pedestres.....	41
6.1	Métodos de análise do fluxo de pedestres: um breve histórico .....	41
6.1.1	Estudos empíricos .....	41
6.2	Modelos matemáticos de fluxo de pedestres.....	43
6.2.1	Classificações de Modelos .....	43
6.2.2	Modelo de Dinâmica dos Fluidos e Cinética dos Gases.....	45
6.2.3	Modelo de Forças Sociais .....	48
6.2.4	Modelo de Autômatos Celulares (CA) .....	51
6.3	Viswalk.....	54
6.3.1	Força motriz.....	55
6.3.2	Força de repulsão entre pedestres .....	55
6.3.3	Variáveis de calibração.....	56
6.3.4	Outras variáveis.....	57
6.3.5	Estudos de sensibilidade .....	57
6.3.6	Resultados.....	59
7	Estudo de caso: Microsimulação de pedestres na integração entre as Linhas 2 – Verde e 4 – Amarela nas estações Consolação e Paulista do Metrô de São Paulo ..	61
7.1	Integração entre as estações Paulista e Consolação .....	61
7.2	Coleta de dados.....	64
7.2.1	Dados disponibilizados pela ViaQuatro .....	64
7.2.2	Dados de campo.....	69

7.3	Modelagem do cenário atual.....	71
7.3.1	Arquitetura da integração .....	72
7.3.2	Inserção das linhas de metrô.....	72
7.3.3	Inserção de fluxos e rotas.....	74
7.3.4	Calibração do modelo.....	77
7.3.5	Resultados.....	84
7.4	Modelagem da demanda atual com o novo túnel de integração.....	88
7.4.1	Arquitetura da integração .....	88
7.4.2	Inserção de fluxos e rotas.....	88
7.4.3	Resultados.....	90
7.5	Modelagem dos cenários de demanda de projeto .....	94
7.5.1	Cenários com Demanda de Projeto.....	94
7.5.2	Resultados.....	94
7.6	Modelagem dos cenários de demanda futura.....	98
7.6.1	Cenários de 2019, 2020 e 2025.....	98
7.6.2	Resultados.....	100
7.7	Propostas.....	105
7.7.1	Retirada de 4 esteiras.....	106
7.7.2	Retirada de todas as esteiras .....	109
7.7.3	Resultados.....	109
7.8	Considerações finais sobre os resultados .....	113
8	Conclusões e Recomendações .....	115
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117

## RESUMO

Dentro do tema de planejamento de transportes na cidade de São Paulo, tem-se o metrô como importante tópico de estudo, seja pela sua característica de transporte de alta capacidade e integração com outros modais, ou pelo impacto de problemas em sua operação sobre os mais de 4 milhões passageiros que o utilizam diariamente.

Este trabalho foi elaborado com o intuito de analisar o fluxo de pedestres na interligação entre as estações Paulista (Linha 4 – Amarela) e Consolação (Linha 2 – Verde), do metrô de São Paulo, em sua situação atual e também em cenários futuros. Trata-se de uma integração sujeita a tráfego intenso de pedestres, com tempos de deslocamento excessivos e grande desconforto a seus usuários em horários pico.

Inicialmente, foi feito estudo bibliográfico dividido em 3 partes e, então, o desenvolvimento da modelagem em si. A análise bibliográfica trata da importância do planejamento urbano e de transportes, o funcionamento operacional de estações de integração e o desenvolvimento de softwares de microsimulação de pedestres, incluindo o VISSIM, principal ferramenta metodológica do trabalho.

O estudo se deu por meio de microsimulação, a partir da modelagem dessa interligação no software PTV Vissim. Na primeira etapa do trabalho, o objetivo foi realizar a construção, a calibração e a posterior análise do modelo do cenário atual (2018) na hora pico tarde. A calibração desse modelo foi balizada por dados de tempos de deslocamento do fluxo de pedestres e formação de filas obtidos por levantamentos realizados em campo.

Os resultados obtidos nessa etapa demonstraram níveis de serviço críticos alcançados, incluindo nível F (o mais crítico possível) nas escadas rolantes e no túnel que as antecede e nível E na maior parte da integração.

Na segunda etapa do trabalho, o objetivo foi simular diferentes cenários (de demanda e de infraestrutura), com o projeto existente de um novo túnel para a integração e com as demandas referentes a cenários futuros da rede metroferroviária de São Paulo previstos para 2019, 2020 e 2025.

Os níveis de serviço alcançados nesses diferentes cenários foram, então, avaliados. Evidenciou-se o impacto positivo da presença do novo túnel para a integração e a variação das condições de operação ao longo do tempo, com as demandas futuras.

Palavras-Chave: microsimulação; fluxo de pedestres; estações de metrô; integração entre estações; engenharia civil.

## **ABSTRACT**

Within the subject of transit planning in Sao Paulo, the subway is an important topic, for its characteristic of high-capacity transit and integration with other modes of transport and for the impact of operational problems on more than 4 million daily passengers.

This study has been made to analyze the pedestrian traffic flow along the integration between Paulista (Yellow Line – 4) and Consolação (Green Line – 2) subway stations in Sao Paulo, in its current and future scenarios. This integration has a high demand of pedestrian flow and its users face big discomfort and time-in-queue delays during the peak hours.

The first item of this document is a bibliographic study divided into three parts. Then the modeling and its development are discussed. The bibliographical analysis deals with the importance of urban transit planning, the operational functioning of integration stations and the development of pedestrian simulation softwares, including PTV Vissim, the main methodological tool for this work.

The analysis is based on microsimulation of the integration station model, using PTV Vissim software. The first part of this work aims the modeling of the current scenario (2018) in the afternoon peak hour and its calibration, which is driven by in-the-field collected data about pedestrian travel times and queue formation.

Critical levels of service have been found in this simulation, including F level (the most critical) in the escalators and in their preceding tunnel, and E level in the majority of the areas.

In the second stage of this study, different scenarios have been analyzed (in terms of demand and infrastructure), with an existing project of a second tunnel in the integration and also with expected demands from future scenarios, which are related to the expected metropolitan subway-railway network in 2019, 2020 and 2025.

The levels of service obtained from these various scenarios were then evaluated. The benefits from the presence of the new tunnel were remarkable, and the variation of the operational conditions over the upcoming years could be observed.

**Keywords:** microsimulation; pedestrian flow; subway stations; integration station; civil engineering.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 4-1: Áreas de influência dos Eixos de Estruturação da Transformação Urbana do Plano Diretor Estratégico da Cidade de São Paulo, Lei 16.050/14 .....	19
Figura 4-2: Mapa da rede sobre trilhos da cidade de São Paulo em 2018 .....	21
Figura 5-1: Integração de nível 2 entre as Linhas Azul e Verde na estação Paraíso .....	24
Figura 5-2: Integração de nível 3 entre as Linhas Azul e Amarela na estação Luz... ..	25
Figura 5-3: Integração de nível 3 entre a linha 4 - Amarela e a linha 9 - Esmeralda em momento de lotação atípica .....	25
Figura 5-4: Integração de nível 3 entre as estações Paulista, Linha Amarela, e Consolação, Linha Verde .....	26
Figura 5-5: A integração entre a estação Butantã e o Terminal de ônibus é de nível 4 para os estudantes e funcionários da USP – que não pagam pelo uso do circular – e de nível 5 para o restante da população .....	27
Figura 5-6: Níveis de Serviço em Áreas de Locomoção .....	31
Figura 5-7: Níveis de Serviço em Escada .....	31
Figura 5-8: Velocidade x Área Disponível ao Pedestre .....	34
Figura 5-9: Fluxo de Pedestres x Densidade de Capacidade .....	35
Figura 5-10: Fluxo de Pedestres x Largura Efetiva de Caminhada .....	36
Figura 5-11: Velocidade Ascendente x Espaço Disponível ao Pedestre .....	38
Figura 5-12: Fluxo Ascendente de Pedestres x Espaço Disponível ao Pedestre .....	38
Figura 6-1: Fotografia e ilustração esquemática de experimento de fluxo unidirecional de pedestres com gargalo curto .....	42
Figura 6-2 - Fotografia e ilustração esquemática de experimento de fluxo bi-direcional de pedestres com gargalo curto .....	42
Figura 6-3 - Fotografia e ilustração esquemática de experimento de fluxo unidirecional de pedestres com gargalo longo .....	42
Figura 6-4 - Fotografia e ilustração esquemática de experimento de interseção de dois fluxos perpendiculares de pedestres .....	42
Figura 6-5 - Diferentes níveis de modelagem do comportamento de pedestres .....	44
Figura 6-6 - Pedestres movendo-se em sentidos opostos .....	46
Figura 6-7 - Movimentos em sentidos opostos em faixas separadas .....	47
Figura 6-8 - Congestionamento de pedestres na entrada da Apple Store, na China .....	47
Figura 6-9 - Fenômeno de formação de fila em Bordeaux, França .....	48
Figura 6-10 - Forças sociais atuantes sobre o pedestre .....	50
Figura 6-11 - Representação de forças e velocidades no movimento do pedestre... ..	51
Figura 6-12 - Malha de células do modelo de autômatos celulares .....	52
Figura 6-13 - Um pedestre, as possíveis direções de movimento e a matriz M de preferência .....	52
Figura 6-14 - Resolução de conflitos de acordo com as probabilidades relativas .....	53
Figura 6-15 - Modelagem da Estação Central de Amsterdam .....	54
Figura 6-16 – Gráficos de sensibilidade da velocidade atingida pelos pedestres em função das variáveis de calibração. ....	58
Figura 6-17 - Opções de mapas de densidade (Viswalk) .....	59
Figura 6-18 - Exemplo de mapa de densidades (Viswalk) .....	60
Figura 7-1: Estação Paulista .....	61
Figura 7-2: Estação Consolação .....	61
Figura 7-3: Integração entre as estações Paulista e Consolação .....	62
Figura 7-4: Planta do túnel de integração entre as linhas amarela e verde .....	65

Figura 7-5: Planta do túnel do corpo da estação Paulista .....	65
Figura 7-6: Cortes do túnel de integração .....	66
Figura 7-7: Planta do novo túnel a ser projetado .....	66
Figura 7-8: Premissas usadas para estimativas de demandas futuras .....	68
Figura 7-9: Contadores utilizados nas medições .....	69
Figura 7-10: Pontos de medida de tempo inseridos no software .....	71
Figura 7-11: Headway medido .....	71
Figura 7-12: Modelagem no Vissim sendo construída .....	72
Figura 7-13 Adaptação do objeto 2D/3D model - Metrô .....	73
Figura 7-14: Representação da passagem do trem na plataforma da linha amarela .....	74
Figura 7-15: Locação de elementos da integração e pontos de leitura de tempo de percurso .....	76
Figura 7-16: Fluxo de pedestres no Vissim em planta .....	77
Figura 7-17: Fluxo de Pedestre nas Curvas .....	78
Figura 7-18: Exemplo de segmentação das áreas em curva com obrigatoriedade de passagem por parte do passageiro .....	79
Figura 7-19: Fluxo de entrada nas esteiras .....	80
Figura 7-20: Exemplo de segmentação das áreas de entrada na esteira, com obrigatoriedade de passagem pelas áreas .....	80
Figura 7-21: Níveis de serviço na integração – Destaque para áreas bloqueadas ...	82
Figura 7-22: Legenda de atribuição de níveis de serviço para HCM (ped /m <sup>2</sup> ) .....	85
Figura 7-23: Representação dos níveis de serviço na integração .....	85
Figura 7-24: Representação dos níveis de serviço no modelo 3D .....	85
Figura 7-25: Representação dos níveis de serviço na região da plataforma da linha amarela .....	86
Figura 7-26: Representação dos níveis de serviço no início do túnel de integração sentido linha amarela para verde .....	86
Figura 7-27: Níveis de serviço das escadas .....	86
Figura 7-28: Níveis de serviço das escadas no modelo 3D .....	87
Figura 7-29: Níveis de serviço obtidos nas escadas rolantes .....	87
Figura 7-30: Níveis de serviço obtidos nas esteiras e plataforma da linha verde .....	87
Figura 7-31: Locação de elementos da integração e pontos de leitura de tempo de percurso .....	89
Figura 7-32: Representação dos níveis de serviço dos cenários de demanda atual sem o novo túnel e com o novo túnel .....	91
Figura 7-33: Níveis de serviço obtidos nas áreas de integração dos cenários de demanda atual sem o novo túnel e com o novo túnel de integração .....	92
Figura 7-34: Representação dos níveis de serviço dos cenários com demanda projetada .....	95
Figura 7-35: Níveis de serviço observados na integração dos cenários com demanda projetada .....	96
Figura 7-36: Título de notícia no jornal Folha de São Paulo (26/10/2018) .....	98
Figura 7-37: Representação dos níveis de serviço dos cenários de demanda futura .....	101
Figura 7-38: Porcentagens de Níveis de Serviço Críticos por cenário .....	102
Figura 7-39: Tempos medidos por sentido nos cenários, em minutos .....	104
Figura 7-40: Configuração original das esteiras e do corredor visto do sentido linha amarela para verde .....	105
Figura 7-41: Situação atual - Corte do ponto de acesso da Linha Verde ao túnel de integração, visto do sentido Linha Amarela – Linha Verde; .....	106

Figura 7-42: Proposta de retirada de quatro esteiras - Corte do ponto de acesso da Linha Verde ao túnel de integração, visto do sentido Linha Amarela – Linha Verde; .....	107
Figura 7-43: Título de notícia no portal G1 (08/11/2018) .....	108
Figura 7-44: Configuração das esteiras em dezembro de 2018 visto do sentido linha amarela para verde .....	108
Figura 7-45: Proposta de retirada de todas as esteiras - Corte do ponto de acesso da Linha Verde ao túnel de integração, visto do sentido Linha Amarela – Linha Verde; .....	109
Figura 7-46: Representação dos níveis de serviço – Propostas 2019 sem túnel....	110
Figura 7-47: Representação dos níveis de serviço dos cenários de proposta - Propostas 2025 com túnel .....	111

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3-1: Cronograma do Trabalho Final I .....	15
Tabela 3-2: Cronograma do Trabalho Final II .....	16
Tabela 4-1: Entrada de passageiros por estações de metrô: média dos dias úteis, maio de 2018 .....	22
Tabela 5-1: Área, em metros quadrados por pessoa, para cada NS de calçada .....	32
Tabela 5-2: Capacidades dos Componentes de um Terminal .....	40
Tabela 6-1 - Classificação dos modelos .....	45
Tabela 7-1: Vinte distritos mais bem classificados no ranking do emprego formal em São Paulo .....	63
Tabela 7-2: Número de empregos e participação, segundo os dez principais distritos do centro corporativo metropolitano do município de São Paulo .....	63
Tabela 7-3: Viagens produzidas por motivo .....	63
Tabela 7-4: Contadores e bloqueios da estação Paulista .....	67
Tabela 7-5: Fluxos das horas pico manhã e tarde da integração .....	67
Tabela 7-6: Demandas previstas para a integração em 2019, 2020 e 2025 .....	68
Tabela 7-7: Volumes medidos nas escadas .....	70
Tabela 7-8: Porcentagens medidas nas escadas .....	70
Tabela 7-9: Média dos tempos de viagens medidos no percurso .....	70
Tabela 7-10: Inputs – Cenário Atual .....	75
Tabela 7-11: Rotas inseridas no software para o cenário atual .....	76
Tabela 7-12: <i>Walking Behavior Default</i> .....	81
Tabela 7-13: Tempos de percurso com <i>walking behavior default</i> .....	81
Tabela 7-14: Parâmetros das esteiras .....	83
Tabela 7-15: Parâmetros das escadas rolantes .....	83
Tabela 7-16: Comparativo entre parâmetros <i>Default</i> e calibrados .....	83
Tabela 7-17: <i>Walking behavior</i> final calibrado .....	84
Tabela 7-18: Tempos de percurso com <i>walking behavior</i> final calibrado .....	84
Tabela 7-19: Porcentagem de passageiros nos elementos de circulação vertical ....	89
Tabela 7-20: Rotas inseridas no software para o cenário atual com o novo túnel ....	89
Tabela 7-21: Percentual em área por nível de serviço para os cenários de demanda atual sem novo túnel e com o novo túnel .....	93
Tabela 7-22: Tempos de percurso observados nos cenários de demanda atual sem novo túnel e com o novo túnel .....	93
Tabela 7-23: Demanda projetada estimada .....	94
Tabela 7-24: Percentual de áreas por nível de serviço – demandas projetadas .....	96
Tabela 7-25: Tempos de percurso observados nos cenários de demanda projetada .....	97
Tabela 7-26: Inputs do cenário de 2019 .....	99
Tabela 7-27: Inputs do cenário de 2020 .....	99
Tabela 7-28: Inputs do cenário de 2025 .....	100
Tabela 7-29: Percentual de áreas por nível de serviço – Sem novo túnel .....	101
Tabela 7-30: Percentual de áreas por nível de serviço – Com novo túnel .....	102
Tabela 7-31: Tempo de percurso – Sem novo túnel .....	103
Tabela 7-32: Tempo de percurso – Com novo túnel .....	103
Tabela 7-33: Percentual de áreas por nível de serviço – Propostas 2019 sem túnel .....	111
Tabela 7-34: Percentual de áreas por nível de serviço – Propostas 2025 com túnel .....	112



Tabela 7-35: Tempos de percurso – Proposta 2019 sem túnel .....	112
Tabela 7-36: Tempos de percurso – Propostas 2025 com túnel.....	113

## 1 Introdução

A mobilidade urbana é tema recorrente dentro do contexto de grandes centros urbanos, onde o tempo e a qualidade dos deslocamentos proporcionam reflexos diretos na produtividade e bem-estar de cidadãos, estejam eles na condição de usuários diretos ou não do sistema de transporte.

No caso da cidade de São Paulo, em virtude de seu modelo de expansão e das políticas públicas empregadas no tratamento da ocupação urbana, verifica-se atualmente a existência de uma região periférica majoritariamente mais pobre contrastando-se com uma região central que abriga uma população de maior poder aquisitivo. É a partir dessa segregação urbana que se formam os principais problemas de mobilidade em São Paulo, uma vez que a maior parte dos empregos está concentrada na região central da cidade enquanto a maior parte da população está concentrada nas áreas periféricas.

Um dos sistemas de transporte de alta capacidade em São Paulo que atende parcelas significativas desses usuários é o sistema metroviário. Segundo os dados disponibilizados pelo Metrô, são transportados cerca de 4,5 milhões de passageiros diariamente. Os quilômetros de malha que atendem a cidade chegam somente a cerca de 90km.

Ao se considerar a escassez de áreas atendidas pela malha associada à elevada demanda em percursos extensos, torna-se evidente que a maior parte dos usuários acaba realizando baldeações. Nessa situação, são os elementos de integração entre modais ou linhas de um mesmo modal que facilitam a locomoção de pedestres e, em teoria, elevam a eficiência e o conforto de suas viagens.

O estudo dessas integrações mostra-se ainda mais relevante num cenário em que elas não cumprem com as premissas acima apresentadas e provocam problemas no deslocamento dos usuários, como se verifica recorrentemente no caso da integração entre as estações Consolação da Linhas 2-Verde e Paulista da Linha 4-Amarela.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos Gerais**

O objetivo do presente trabalho é analisar o fluxo de passageiros no corredor de integração entre as estações Consolação da Linhas 2-Verde e Paulista da Linha 4-Amarela. Serão analisados diferentes cenários de demanda de passageiros para se obter uma melhor compreensão e quantificação da circulação de pedestres entre as duas estações no que tange aos critérios de desempenho já normatizados.

Uma vez alcançados esses resultados, os dados extraídos da análise poderão ser utilizados para delinear possíveis soluções para o problema de excesso de demanda que se apresenta atualmente nessa integração.

### **2.2 Objetivos Específicos**

O objetivo principal do trabalho é realizar o estudo do fluxo de passageiros utilizando software de microssimulação. Primeiramente, foi realizada a simulação dos passageiros que realizam a integração no horário de pico do cenário atual. Posteriormente também será realizado a construção de diferentes cenários com as demandas de projeto e futuras.

No Trabalho de Formatura I (TF1) foi realizada a modelagem da plataforma da linha amarela até a plataforma da linha verde considerando os dados de fluxo atual de passageiros na hora de pico tarde. Essa etapa se constituiu de três passos: construção, calibração e simulação do modelo 3D no software VISSIM.

Para o Trabalho de Formatura II (TF2), já com a rede calibrada, foi realizada a simulação de diversos cenários. O primeiro deles é relativo à demanda de projeto. Com os dados dessa demanda, foi possível analisar que a integração também operaria com demanda acima da capacidade. Também foram analisadas as demandas futuras de 2019, 2020 e 2025 e a proposta do Metrô de construir um novo túnel de integração. A partir dessas análises, foram apresentadas propostas de modificações na região das esteiras para melhorar o fluxo de pedestres na integração.

### **3 JUSTIFICATIVA E MÉTODO**

#### **3.1 Justificativa**

Dentro do contexto da cidade de São Paulo, a escassez de quilômetros da malha distribuídos pela cidade, associada à alta demanda de deslocamentos entre as regiões periféricas e o centro, muitas vezes atendidas por linhas distintas, provoca um elevado fluxo de usuários em estações de integração.

Dessa forma, equívocos no projeto de transferências podem ter consequências altamente indesejáveis em virtude das complexidades associadas ao modal metroviário, desde impactos verificados na execução, com a mobilização de capital, equipamentos, espaço urbano e trabalhadores; até impactos decorrentes da própria operação do sistema, atrelados a aspectos como quantidade de usuários atendidos e tempo despendido por eles nos deslocamentos.

Levando-se em consideração esses fatores, torna-se clara a importância de estudos referentes ao desempenho de projetos de integração física em transferências de passageiros entre linhas metroviárias que permitam uma avaliação objetiva de sua operabilidade.

Nesse sentido, a ferramenta de simulação apresenta-se como recurso de grande utilidade, na medida em que não apenas fornece os subsídios necessários para avaliar o desempenho de um sistema de transporte, ou parte dele; como também apresentar resultados de fácil visualização, auxiliando a compreensão de cada cenário tanto pelos utilizadores diretos do software quanto por pessoas indiretamente envolvidas com o projeto, como gestores ou outros superiores.

#### **3.2 Método**

Os métodos utilizados na primeira etapa deste trabalho incluem a revisão bibliográfica, a coleta de dados primários e secundários, a elaboração da rede microsimulação e a calibração da rede.

A revisão bibliográfica foi dividida em três partes. A primeira aborda a importância do planejamento urbano e de transportes para caracterizar o tema em que o trabalho está inserido. A segunda envolve o conceito de estações de integração e sua importância na malha metroviária de uma cidade metropolitana como São Paulo. A abordagem realizada nesse tópico é teórica e inclui o estudo sobre tráfego de pedestres, nível de serviço e parâmetros de circulação. Esse estudo permite compreender qual é o padrão mais adequado para circulação de pedestres para o estudo de caso proposto, além de servir como uma motivação para o desenvolvimento desse projeto.

A terceira parte foca no conceito de microsimulação de tráfego de pedestres e em como o software de simulação escolhido (PTV Vissim) realiza essa função. Essa parte é importante para o projeto, pois discorre sobre a principal ferramenta metodológica de desenvolvimento do trabalho.

Também foi realizado um breve estudo com apoio bibliográfico sobre a integração e as estações de Metrô Paulista e Consolação para, juntamente às análises teóricas das partes 1 e 2, melhor compreender o local estudado pelo grupo.

Foram solicitados à ViaQuatro (empresa concessionária que realiza a operação da Linha Amarela e também da integração) dados para que fosse possível executar a modelagem no software para o cenário atual. Os dados obtidos foram:

- Definição das horas pico manhã e tarde;
- Número de pessoas que fazem a integração nos dois sentidos nas horas- pico;
- Número de pessoas que desembarcam do trem nas horas-pico;
- *Headway* dos trens nas horas pico;
- Desenhos da integração (plantas e cortes) para facilitar a modelagem;
- Estudos de demanda futuras de 2019, 2020 e 2025;
- Premissas consideradas para projeção das demandas futuras;
- Projeto do futuro túnel a ser implementado.

Foi também solicitada a demanda inicialmente projetada, mas esta não foi enviada. O grupo pode estimar este dado a partir do projeto funcional da Linha 4 – Amarela de junho de 1997.

Além disso, o grupo realizou coleta de dados de campo em três dias úteis (terça, quarta e quinta) na hora pico tarde. Foram feitas medições do volume de pessoas que sobem pela escada normal e pela escada rolante da integração sentido Linha Amarela para Verde de 15 em 15 minutos das 17h30 às 19h. Esse dado foi necessário para calcular porcentagens de utilização de cada tipo de escada e possibilitar a modelagem das rotas no software. Não foi necessário medir no outro sentido (da Verde para a Amarela) porque o fluxo nesse sentido utiliza apenas escadas rolantes.

Outra medição realizada pelo grupo foi a de tempo de percurso entre plataformas, desde a saída dos trens até o final da integração, incluindo os tempos intermediários entre percursos. Essa informação foi utilizada para a calibração do modelo por meio da comparação entre os tempos de viagens reais medidos com os tempos simulados.

De posse de todas essas informações foi possível realizar a modelagem no software para os diversos cenários. Esse processo será melhor explorado no item 7 deste trabalho.

Na Tabela 3-1 a seguir consta o cronograma da primeira etapa deste trabalho, que foi desenvolvido em 2018. Como se pode observar, o mês de março consistiu na discussão por parte do grupo com o professor orientador para definição do tema do trabalho e, também, como seria desenvolvido. Também nesse mês iniciou-se a revisão bibliográfica que perdurou até o final do desenvolvimento do relatório, que se iniciou no final de maio e foi até final de junho. O contato com os responsáveis da ViaQuatro iniciou-se na última semana de março e perdurou até a segunda quinzena de maio, quando foi possível obter os dados que foram solicitados.

Na primeira semana de maio foram coletados dados em campo. O início da modelagem ocorreu logo após à divulgação dos dados pela ViaQuatro, quando foram disponibilizadas as plantas e cortes da estação, além dos dados de contagem

volumétrica do fluxo de pedestres na hora pico. Após três semanas de modelagem, foi possível iniciar a calibração, que foi concluída no início de julho. O cronograma inicial termina com a banca na segunda semana de julho.

**Tabela 3-1: Cronograma do Trabalho Final I**

Atividade	Março				Abril				Maio				Junho				Jul.	
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Definição do Escopo de projeto	x	x	x	x														
Revisão Bibliográfica	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
Contato Metrô				x	x	x	x	x	x	x								
Coleta de dados									x									
Modelagem										x	x	x	x	x	x	x		
Calibração													x	x	x	x	x	
Relatório											x	x	x	x	x	x	x	
Banca Final																		x

O foco da segunda etapa deste trabalho foi a modelagem e análise dos cenários de projeto e de demandas futuras de 2019, 2020 e 2025, como pode ser visto na tabela abaixo.

A partir da situação atual, modelada e calibrada na primeira etapa, foi possível construir o cenário de demanda atual com o novo túnel de integração, etapa finalizada na primeira semana de setembro.

Esses dois cenários de demanda atual com e sem o novo túnel de integração serviram como cenários base de infraestrutura para os demais cenários construídos, cuja única variação foram os inputs de demanda nas duas estações. Esses cenários foram construídos entre a segunda semana de setembro e a primeira semana de novembro.

Com os resultados das análises desses cenários, foi possível a proposição de melhorias na infraestrutura da integração. A modelagem das propostas foi finalizada em novembro. Houve ainda apresentação parcial do trabalho na 3ª semana de outubro e outra para o Metrô no início de novembro. A banca final foi marcada para segunda semana de dezembro.



## 4 A IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO URBANO E DE TRANSPORTES NO DESENVOLVIMENTO DAS CIDADES

Este tópico foca na motivação para o estudo de um projeto de microsimulação de pedestres nas estações de integração e transferência. O objetivo é mostrar o contexto atual das políticas de desenvolvimento urbano e de transporte no Brasil e em São Paulo, enfatizando as estações de integração como elementos cruciais de uma rede de transportes metroviários.

### 4.1 Planejamento Urbano e Transportes na Cidade de São Paulo

No texto *“São Paulo: segregação urbana e desigualdade”* diz-se que:

*“Provavelmente o maior avanço ocorrido no campo da ciência da geografia em todos os tempos tenha sido a consciência e a recente difusão da ideia (Lefèbvre, Harvey, Gottdiener e tantos outros) de que o espaço social – no nosso caso, o espaço urbano – é socialmente produzido, ou seja, não é dado pela natureza, mas é produto produzido pelo trabalho humano.” (VILLAÇA, 2011)*

Neste texto, Villaça (2011) procura desmitificar o entendimento da segregação urbana na cidade de São Paulo como uma simples dicotomia centro *versus* bairro ou rico *versus* pobre. Segundo ele, esses estudos se limitam a regiões ou classes sociais e

*“não colocam a segregação num contexto histórico nem a articulam com o restante da estrutura urbana, como também não mostram explicitamente (às vezes deixando apenas subentendidas) as articulações entre a segregação e as esferas econômicas, políticas e ideológicas da sociedade” (VILLAÇA, 2011)*

Para o autor, a segregação em cidades como São Paulo são *“um mecanismo especial de controle dos tempos de deslocamento”*, em que a população pobre, incapaz de pagar monetariamente por moradias de melhor qualidade em regiões nobres da cidade, acaba pagando em tempo de deslocamento de duas a quatro horas diárias perdidas no trânsito. (VILLAÇA, 2011)

Assim, *“[...] a movimentação de paulistanos que moram em áreas periféricas é muito volumosa, se dá com grande consumo de tempo e sob más condições de conforto”*. (VASCONCELLOS, 2013)

Esse tipo de segregação por tempo de deslocamento decorreria da configuração das cidades brasileiras. Vasconcellos (2013) afirma que pessoas de maior poder aquisitivo costumam usar mais o automóvel do que qualquer outro meio de transporte. Assim, as pessoas de maior poder aquisitivo e detentoras do poder de construção da cidade teriam estruturado as regiões urbanas em torno das grandes vias de transporte individual de automóveis.

Esse tipo de *“mobilidade por automóvel é inviável, injusta e danosa à qualidade de vida e ao meio ambiente. São Paulo perseguiu esse padrão por décadas e hoje a insustentabilidade tornou-se evidente”*. (VASCONCELLOS, 2013)



Seguindo essa lógica, o pior problema de cidades como São Paulo seria, não a localização dos bairros da população de baixa renda, mas as suas dificuldades encontradas para ter acesso às potencialidades proporcionadas pelo espaço urbano, como oportunidades de trabalho e estudos, e acesso a equipamentos de saúde, lazer e cultura.

Procurando reverter essa situação, o Brasil aprovou em 2001 a Lei 10.257, também conhecida como Estatuto da Cidade. Essa lei define em seu capítulo I – Diretrizes Gerais, que todo cidadão brasileiro tem direito a cidades sustentáveis:

*“Art. 2o A política urbana tem por objetivo ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade urbana, mediante as seguintes diretrizes gerais:*

*I – garantia do direito a cidades sustentáveis, entendido como o direito à terra urbana, à moradia, ao saneamento ambiental, à infraestrutura urbana, ao transporte e aos serviços públicos, ao trabalho e ao lazer, para as presentes e futuras gerações;” (BRASIL, 2001)*

Seguindo essa diretriz, o país aprovou em 2012 a Política Nacional de Mobilidade Urbana, Lei 12.587. Essa lei busca transformar a realidade da mobilidade urbana no país, voltada para o transporte motorizado individual, para modais mais sustentáveis, equitativos e eficientes. Dentre os vários modais, a lei incentiva o desenvolvimento *“dos projetos de transporte público coletivo estruturadores do território e indutores do desenvolvimento urbano integrado” (Lei 12.587/12)*, como, por exemplo, o Metrô da cidade de São Paulo.

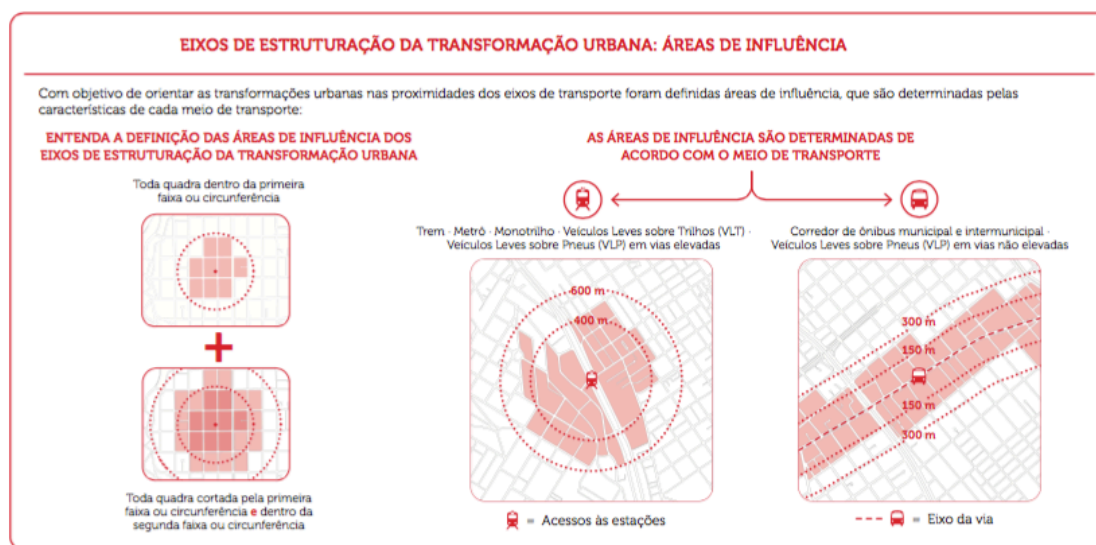
No ano de 2017, o IBGE estimou que o número de habitantes na cidade de São Paulo era de 12.106.920, com 99,1% da população vivendo na região urbana. Se for considerada a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), esse valor sobe para 21.391.624 de pessoas. Isso significa que aproximadamente 21 milhões de habitantes demandam um transporte de qualidade dentro da RMSP. Assim sendo, é essencial a existência de um eficiente transporte sobre trilho capaz de permitir o rápido deslocamento da população, garantindo o direito de todo cidadão às potencialidades da cidade como educação, trabalho, saúde, cultura e lazer.

Segundo o Instituto de Políticas de Transporte & Desenvolvimento (ITDP), uma das formas de atingir esse objetivo é através de políticas e projetos estratégicos de Desenvolvimento Orientado ao Transporte Sustentável (DOTS). No documento *“Guia de Implementação de Políticas e Projetos de DOTS”*, o conceito de DOTS é definido como o desenvolvimento das cidades

*“qualificando o transporte sustentável (ativo e coletivo), o desenvolvimento urbano compacto, orientado pela rede de transporte coletivo (especialmente a de média e alta capacidade), a distribuição mais equilibrada das oportunidades urbanas no território e a mistura de atividades complementares (habitação, comércio e serviços, por exemplo) no interior dos bairros” (ITDP, 2017)*

Dentro dessa lógica, a cidade de São Paulo aprovou em 2014 a Lei 16.050, também conhecida como o Plano Diretor Estratégico da Cidade de São Paulo, que orienta o desenvolvimento da cidade até o ano de 2030. O PDE definiu o desenvolvimento da cidade nos Eixos de Estruturação da Transformação Urbana, que são

*“elementos estruturais dos sistemas de transporte coletivo de média e alta capacidade, existentes e planejados, que determinam áreas de influência potencialmente aptas ao adensamento construtivo e populacional e ao uso misto entre usos residenciais e não residenciais” (Lei 16.050/14)*



**Figura 4-1: Áreas de influência dos Eixos de Estruturação da Transformação Urbana do Plano Diretor Estratégico da Cidade de São Paulo, Lei 16.050/14**

Como pode ser visto na Figura 4-1, os eixos de Estruturação da cidade estão próximos das estações de trem, metrô, monotrilho e veículos leves sobre trilhos (VLT) e sobre pneus (VLP) e os corredores de ônibus municipais e intermunicipais.

Dessa forma, torna-se imprescindível o estudo desses elementos estruturantes. Apesar da grande importância dos corredores de ônibus municipais e intermunicipais da cidade, esse trabalho desenvolverá apenas o estudo da rede sobre trilhos da cidade, com enfoque para as estações de integração.

#### **4.1.1 A Rede sobre trilhos da cidade de São Paulo e a importância das estações de integração**

A Secretaria de Transportes Metropolitanos do Estado de São Paulo conta, atualmente, com dois grandes órgãos estaduais responsáveis pela rede sobre trilhos do Estado:

- Companhia do Metropolitano de São Paulo (Metrô), órgão responsável pela implantação e operação do sistema metroviário da cidade de São Paulo;
- Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), responsável pela implantação e operação dos serviços de trens metropolitanos.

Juntos, esses dois órgãos são responsáveis pela maior rede sobre trilhos do Brasil que conta, atualmente, com:

- 4 linhas de metrô, com as Linhas 1, 2, 3, e 15 operadas pelo Metrô; a Linha 5 operada pela ViaMobilidade e a Linha 4 operada pela empresa ViaQuatro;<sup>1</sup>
- 7 linhas de trens metropolitanos operadas pela CPTM, as Linhas 7, 8, 9, 10, 11, 12 e 13;<sup>2</sup>
- 65 estações operadas pelo Metrô, com 74,3 km de extensão de linhas;<sup>1</sup>
- 9 estações operadas pela ViaQuatro, com 12,8 km de extensão da linha;<sup>3</sup>
- 94 estações operadas pela CPTM, com 273 km de extensão de linhas;<sup>2</sup>
- 4,7 milhões de passageiros transportados diariamente pelo Metrô;<sup>1</sup>
- 700 mil passageiros transportados diariamente pela ViaQuatro;<sup>3</sup>
- 2,8 milhões de passageiros transportados diariamente pela CPTM;<sup>2</sup>
- 4 estações de transferência entre as estações de Metrô;<sup>1</sup>
- 3 estações de transferência entre as estações de Metrô e da ViaQuatro;<sup>1</sup>
- 7 estações de transferência entre as estações de Metrô e da CPTM;<sup>1</sup>

No que tange ao fluxo de passageiros nas estações, a Tabela 5-1 mostra o número de passageiros que utilizaram as 65 estações durante o mês de maio de 2018.

Ao analisarmos essa tabela, é possível perceber que a demanda das estações de integração é consideravelmente maior que das estações normais, com as cinco maiores demandas nas estações Sé, Barra Funda, Luz, República e Consolação.

A estação da Sé é a estação de maior demanda da cidade, com 274 mil passageiros diariamente. Já na estação da Consolação, que será objeto do Estudo de caso: Microsimulação de pedestres na integração entre as Linhas 2 – Verde e 4 – Amarela nas estações Consolação e Paulista do Metrô de São Paulo, tem uma demanda atual de 142 mil passageiros por dia.

Se compararmos, em uma mesma linha de metrô, as maiores demandas de estações com e sem integração, é possível perceber que os pontos de transferência concentram demandas de duas a três vezes maiores. Por exemplo, a demanda da estação Consolação é 2,3 vezes a demanda da estação Brigadeiro, com uma entrada de 62 mil pessoas por dia. Se compararmos a estação da Sé com a estação Corinthians-Itaquera, com 100 mil passageiros diários, esse valor sobe para 2,74.

Dessa forma, fica clara a importância das estações de integração na rede metroviária de São Paulo, sendo o seu estudo justificado por dois motivos: (1) alto fluxo diário de passageiros em comparação as demais estações e (2) dada a definição das estações como elementos estruturantes da cidade de São Paulo pelo PDE, as áreas de entorno das estações sofrem cada vez mais o processo de adensamento populacional e de comércio e serviços, aumentando ainda mais o fluxo diário de passageiros.

---

<sup>1</sup>Dados retirados do site oficial do Metrô em 27 de junho de 2018. Disponível em <<http://www.metro.sp.gov.br/>>

<sup>2</sup>Dados retirados do site oficial da CPTM em 27 de junho de 2018. Disponível em <<http://www.cptm.sp.gov.br/>>

<sup>3</sup>Dados retirados do site oficial da ViaQuatro em 27 de junho de 2018. Disponível em <<http://www.viaquatro.com.br/>>

# Mapa do Transporte Metropolitano

## Metropolitan Transport Network



Figura 4-2: Mapa da rede sobre trilhos da cidade de São Paulo em 2018  
Fonte: Metrô, SP.

INFORMAÇÕES SOBRE A DEMANDA - MAIO/2018

DEMANDA DE PASSAGEIROS POR ESTAÇÃO\* - MÉDIA DOS DIAS ÚTEIS (em milhares)

Linha 1 - Azul		Linha 2 - Verde		Linha 3 - Vermelha		Linha 5 - Lilás		Linha 15 - Prata	
Estação	Entradas	Estação	Entradas	Estação	Entradas	Estação	Entradas	Estação	Entradas
Jabaquara	90	Vila Prudente <sup>5</sup>	56	Corinthians-Itaquera	100	Capão Redondo	80	Vila Prudente <sup>6</sup>	12
Conceição	42	Tamanduateí	71	Artur Alvim	70	Campo Limpo	34	Oratório	10
São Judas	21	Sacomã	42	Patriarca	26	Vila das Belezas	12	-	-
Saúde	37	Alto do Ipiranga	21	Guilhermina-Esperança	27	Giovanni Gronchi	22	-	-
Praça da Árvore	23	Santos-Imigrantes	16	Vila Matilde	32	Santo Amaro	93	-	-
Santa Cruz	63	Chácara Klabin	8	Penha	38	Largo Treze	31	-	-
Vila Mariana	32	Ana Rosa <sup>2</sup>	83	Carrão	61	Adolfo Pinheiro	9	-	-
Ana Rosa <sup>1</sup>	91	Paraisópolis <sup>2</sup>	76	Tatuapé	93	Alto da Boa Vista <sup>7</sup>	3	-	-
Paraisópolis <sup>1</sup>	118	Brigadeiro	62	Belém	49	Borba Gato <sup>7</sup>	8	-	-
Vergueiro	34	Trianon-Masp	58	Bresser-Moóca	46	Brooklin <sup>7</sup>	12	-	-
São Joaquim	51	Consolação	142	Brás	99	Eucaliptos <sup>8</sup>	19	-	-
Liberdade	30	Clínicas	28	Pedro II	26	-	-	-	-
Sé <sup>3</sup>	254	Santuário N.S. de Fátima-Sumaré	15	Sé <sup>4</sup>	274	-	-	-	-
São Bento	73	Vila Madalena	28	Anhangabaú	76	-	-	-	-
Luz	177	-	-	República	152	-	-	-	-
Tiradentes	18	-	-	Santa Cecília	33	-	-	-	-
Armênia	30	-	-	Marechal Deodoro	38	-	-	-	-
Portuguesa-Tietê	64	-	-	Palmeiras-Barra Funda	214	-	-	-	-
Carandiru	15	-	-	-	-	-	-	-	-
Santana	68	-	-	-	-	-	-	-	-
Jardim São Paulo-Ayrton Senna	15	-	-	-	-	-	-	-	-
Parada Inglesa	17	-	-	-	-	-	-	-	-
Tucuruvi	70	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>1.436</b>	<b>TOTAL</b>	<b>706</b>	<b>TOTAL</b>	<b>1.455</b>	<b>TOTAL</b>	<b>322</b>	<b>TOTAL</b>	<b>22</b>

Fonte: Diretoria de Operações / Coordenadoria de Informações Gerenciais e Estudos Estratégicos

\*Corresponde à soma das entradas pelas linhas de bloqueios com as transferências entre linhas nas Estações Sé, Paraisópolis, Ana Rosa e Vila Prudente.

<sup>1</sup>Corresponde à soma dos usuários que embarcaram na Linha 1 - Azul com as transferências da Linha 2 - Verde

<sup>2</sup>Corresponde à soma dos usuários que embarcaram na Linha 2 - Verde com as transferências da Linha 1 - Azul

<sup>3</sup>Corresponde à soma dos usuários que embarcaram na Linha 1 - Azul com as transferências da Linha 3 - Vermelha

<sup>4</sup>Corresponde à soma dos usuários que embarcaram na Linha 3 - Vermelha com as transferências da Linha 1 - Azul

<sup>5</sup>Corresponde à soma dos usuários que embarcaram na Linha 2 - Verde com as transferências da Linha 15 - Prata

<sup>6</sup>Corresponde à soma dos usuários que embarcaram na Linha 15 - Prata com as transferências da Linha 2 - Verde

<sup>7</sup>Início da Operação Comercial das estações Alto da Boa Vista, Borba Gato e Brooklin em 27/11/2017.

<sup>8</sup>Início da Operação Comercial da estação Eucaliptos em 02/04/2018.

Tabela 4-1: Entrada de passageiros por estações de metrô: média dos dias úteis, maio de 2018

## 5 PROJETOS DE ESTAÇÕES DE INTEGRAÇÃO EM TRANSFERÊNCIAS DE PASSAGEIROS NA REDE METRO-FERROVIÁRIA

Este item consiste na definição do conceito de estações de integração e transferência de passageiros, buscando entender os diferentes tipos de projetos de integração física.

Nessa parte também se destaca o desenvolvimento dos projetos de integração, definindo os conceitos de capacidade, níveis de serviço, circulação horizontal e vertical.

### 5.1 As Estações de Integração

O *Transit Capacity and Quality of Service Manual (TCQSM)*, publicado pela *Federal Transit Administration (FTA)*, em sua terceira edição, define que:

*“Transit stops, stations, and terminals (...) are the locations where passengers board, alight from, and transfer between transit vehicles. They range in size and complexity from simple streetside bus stops to large intermodal terminals (...)” (FTA, 2013)*

Gualda (1995) apresenta uma definição semelhante sobre as estações. Segundo o autor, a função primária das estações é permitir a entrada e saída de passageiros ou cargas do sistema de transporte. Mais do que isso, ele defende que as estações são um subsistema do sistema de transporte, junto com os veículos e as vias, interferindo diretamente na qualidade dos serviços prestados.

No documento *Standards Development Program – Recommended Practice for Bus Rapid Transit Stations and Stops*, produzido pela *American Public Transportation Association (APTA, 2010)*, as estações são definidas como elementos essenciais na performance de um sistema de transporte por serem capazes de:

- Atrair novos usuários;
- Promover visibilidade e marketing para o sistema de transporte;
- Prover abrigo contra as condições climáticas exteriores;
- Garantir acesso seguro para toda a população, inclusive pessoas com necessidades especiais;
- Garantir o acesso dos usuários para as demais estações e modais de transporte;

Wright, L. e Hook, W. (2008), no documento *Manual do BRT – Guia de Planejamento* publicado em conjunto com o *ITDP (Institute for Transportation & Development Policy)* e o Ministério das Cidades, definem que a necessidade de transferência é desagradável para o usuário, e quando mal executada, angaria pouca simpatia da população. Além disso, as transferências que apresentam dificuldades físicas tais como a necessidade de trocar de nível e de utilizar escadas ou túneis, ou a exposição as intemperes externas, geraram problemas de acessibilidade ao sistema, diminuindo o número de usuários.



Para os autores, existem quatro grandes problemas que geram desconforto no usuário durante a transferência entre os serviços de transporte e que devem ser evitadas em projetos de integração:

- Longas distâncias físicas separando os serviços prestados pela transferência;
- Áreas de transferência abertas e desprovidas de proteção climática externa;
- Transferências mal sincronizadas, gerando longos tempos de espera entre um serviço e outro;
- Falta de integração tarifária, onerando o usuário que troca de serviço de transporte.

Dado esses problemas, Wright, L. e Hook, W. (2008) definem sete níveis de transferência para as estações de *Bus Rapid Transit (BRT)*.

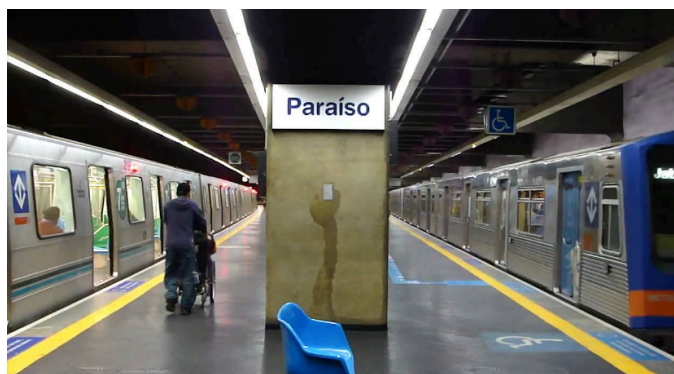
- **Nível 1:**

Representa a não necessidade de transferência, ou seja, a situação mais confortável para o passageiro, que consegue se deslocar diretamente para o destino final. Apesar de confortável ao passageiro, um sistema de transporte que opera exclusivamente com o nível 1 de integração exige uma rede ampla, cara, complexa e bem desenhada, que muitas vezes não é possível de se atingir. Além disso, considerando o sistema de ônibus, o conforto de não fazer a transferência deve ser analisado em contrapartida com o tempo de viagem, que, em sistemas de transporte diretos, pode gerar viagens longas e cansativas. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

- **Nível 2:**

O segundo nível representa a transferência em plataforma, em ambiente fechado e com integração tarifária. Esse é o tipo de transferência mais confortável para o usuário, que não precisa enfrentar grandes distâncias para trocar o serviço de transportes. Além disso, por ser uma transferência fechada, esse tipo de transferência garante a proteção do usuário contra o clima externo. Em níveis de integração maiores que o nível 2, o sistema começa a perder usuários discricionários. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

A integração na estação Paraíso entre as linhas de metrô azul, sentido Jabaquara, e verde, sentido Vila Madalena, é um dos poucos exemplos de integração de nível 2 na cidade de São Paulo.



**Figura 5-1: Integração de nível 2 entre as Linhas Azul e Verde na estação Paraíso**

Fonte: GoogleMaps

- **Nível 3:**

O terceiro nível representa a transferência com longas caminhadas e mudança de plataforma, em ambiente fechado e com integração tarifária. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

Esse é o tipo de transferência mais comum entre as estações de metrô da cidade de São Paulo e exige cuidados no desenvolvimento do projeto da integração, principalmente no que se refere ao problema (1) de longas distâncias entre os serviços, e a localização das escadas e acessos para pessoas com deficiência.

Por exemplo, a integração entre as linhas azul e amarela do metrô na estação da Luz exige longas caminhadas. O mesmo ocorre na integração entre as linhas azul e vermelha, na estação da Sé, onde o problema é ainda maior, uma vez que a demanda atual é maior que a demanda de projeto, levando a problemas de segurança devido à multidão que se desloca de uma linha para outra.



**Figura 5-2: Integração de nível 3 entre as Linhas Azul e Amarela na estação Luz**

Fonte: <http://blog.pittsburgh.com.br/2013/01/primeira-integracao-metro-suburbios/>



**Figura 5-3: Integração de nível 3 entre a linha 4 - Amarela e a linha 9 - Esmeralda em momento de lotação atípica**

Fonte: Skyscrapercity



A integração das linhas amarela e verde entre as estações da Consolação e Paulista é um caso de transferência de nível 3. A integração entre essas duas linhas exige uma longa caminhada, incluindo um túnel, e a transferência entre dois andares que podem ser feitos por escadas fixas, escadas rolantes ou elevadores.



**Figura 5-4: Integração de nível 3 entre as estações Paulista, Linha Amarela, e Consolação, Linha Verde**

Fonte: Os autores, 2018

A escolha entre uma transferência de nível 2 e 3 varia por diversos fatores como topografia e geologia do solo, que influenciam na localização dos trilhos e das estações; disponibilidade de área para construção da estação, custos de projeto, design e projeto arquitetônico, entre outros. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

Por exemplo, os trilhos da linha amarela do metrô foram instalados em profundidades muito maiores se comparadas com as demais linhas de metrô da cidade por questões geológicas e topográficas, exigindo estações que vençam grandes diferenças de cota entre o trem e a integração e/ou saída da estação.

- **Nível 4:**

Do quarto ao sexto nível, as transferências são realizadas em ambiente aberto, desprovidos de proteção climática, e são consideradas mais desconfortáveis para o usuário. A integração de nível 4, segundo o manual, é a integração em superfície, aberta, com tarifa integrada. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

- **Nível 5:**

O nível 5 é semelhante ao nível 4, com única diferença sendo a integração tarifária parcial. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

A integração entre o sistema de metrô-ferroviário e o sistema de ônibus da cidade de São Paulo é um exemplo de integração de nível 5, em que o usuário paga apenas parcialmente o preço da segunda tarifa. O surgimento dos bilhetes eletrônicos, como o Bilhete Único de São Paulo, foi essencial para tanto principalmente no que se refere à rede de transporte coletivo de ônibus, pois permite que o usuário saia de um veículo e embarque em outro, não pagando ou pagando parcialmente a próxima tarifa.



**Figura 5-5: A integração entre a estação Butantã e o Terminal de ônibus é de nível 4 para os estudantes e funcionários da USP – que não pagam pelo uso do circular – e de nível 5 para o restante da população**

Fonte: <https://economia.uol.com.br/busca/montecarlo.htm?tag-id=13633&tag-texto=%20Greve&repository=image&next=0004H1840U1020N#>

- **Nível 6 e 7:**

O nível 6, conta com a total falta de integração tarifária, e é um dos piores tipos de integração, atrás apenas da integração de nível 7, a qual apresenta barreiras físicas que impedem o fluxo de pedestres. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

Dada a implantação do Bilhete Único, que integra as tarifas de ônibus, Metrô e CPTM, os níveis 6 e 7 de transferência não existem em São Paulo.

Dessa maneira, seguindo a proposição de Wright, L. e Hook, W. (2008), um bom sistema de transportes é aquele que, dentre outras coisas, tem baixos níveis de integração. Por isso, torna-se imprescindível, para o oferecimento de um transporte de qualidade para a população, o desenvolvimento dos projetos de integração física em transferências de passageiros entre linhas metroviárias que minimizem as dificuldades de deslocamento.

### **5.1.1 Projetos de integração em transferências de passageiros**

Os projetos de estações dependem de vários fatores.

*“The type [of station] selected will depend on a number of parameters, including project budget, estimated passenger demand, surrounding area land use zoning, and available right-of-way.” (APTA, 2010)*

De forma semelhante, Wright, L. e Hook, W. (2008) dizem que os projetos de infraestrutura de transportes dependem de vários fatores estratégicos como custos, atributos funcionais e desenho estético, sendo o projeto físico decorrente, principalmente, das características operacionais de serviços prestados ao usuário.

Já Gualda (1995) acredita que os passageiros, primordialmente, são os elementos determinantes da arquitetura, dos espaços, dos tempos e componentes operacionais e não operacionais de uma estação.

Assim, se listarmos todos esses fatores, temos que, para o desenvolvimento de projetos de estações devem ser considerados:

- Componentes Operacionais
- Estimativa de demanda
- Projeto de Engenharia
- Projeto de Arquitetura
- Segurança e Acessibilidade
- Conforto estético e climático
- Área disponível e Zoneamento
- Questões orçamentárias
- Questões políticas

Dado que o objetivo desse estudo são as estações de integração, esse tópico focará no estudo dos componentes operacionais de capacidade e de circulação de passageiros, mais especificamente aqueles que afetam a circulação interna entre estações. Os demais fatores podem ser encontrados nos documentos:

- *Standards Development Program – Recommended Practice for Bus Rapid Transit Stations and Stops*
- Manual do BRT – Guia de Planejamento

Existem cinco componentes importantes para a circulação de pedestres em estações: o nível de serviço de pedestre, a circulação horizontal e a vertical – parâmetros importantes para a circulação interna entre estações – o acesso às estações e as áreas de espera dos trens e ônibus. (FTA, 2013).

Para Guazzelli (2011), os componentes operacionais estão diretamente relacionados com a função primária das estações, ou seja, com a entrada e saída de usuários do sistema. Esses componentes estão associados a:

- Circulação de passageiros em rampas, escadas, escadas rolantes e elevadores – circulação horizontal e vertical;
- Processamento nas bilheterias e bloqueios – acesso às estações;
- Espera ou aglomerações em halls de acesso, pisos intermediários e plataformas de embarque – áreas de embarque.

### 5.1.2 Capacidade de estações

Para a FTA (2013), a capacidade de uma estação é determinada pela amplitude de seus componentes - como plataformas, interligações e pontos de acesso - e pelo *headway* ou frequência dos veículos que carregam ou descarregam na estação.

Guazzelli (2011) considera que a concepção de uma estação deve, antes de mais nada, definir a capacidade desejada tanto da estação como um todo como de seus componentes. Essa consideração, segundo o autor, evita a formação de gargalos e pontos ociosos na estação. Assim, o projeto de uma estação deve ser capaz de atender:

*“[...] passenger demand volumes under typical peak-period conditions, additional demand that builds during service disruptions and special events, and emergency evacuation situations. Either peak-period demand or emergency evacuation needs may drive the design of a specific station element, and both types of conditions should be evaluated during station planning and design.” (FTA, 2013)*

Entretanto, o fluxo de pedestres em uma estação sofre forte influência do número de passageiros. Isso significa que quanto maior o número de pessoas na estação, mais restrito e desconfortável será o espaço de circulação. Isso justifica o dimensionamento das estações não para a capacidade máxima, mas pela manutenção de níveis de serviço confortáveis, ou seja, pela relação entre capacidade e espaço disponível por passageiro. (FTA, 2013)

De forma semelhante,

*“O conceito de capacidade está intrinsecamente relacionado com o conceito de qualidade e, portanto, para que a estação cumpra sua função, o transbordo deve sempre respeitar as restrições dos níveis de serviço associados à percepção de qualidade dos usuários.” (GUAZZELLI, 2011)*

Essas considerações definem dois tipos de capacidades a serem atendidas pelas estações (Alves, 1981, apud Guazzelli, 2011):

**Capacidade estática** – Refere-se à capacidade das instalações acolherem sob determinado nível de conforto um certo número de usuários. A capacidade estática produz a estimativa do número de passageiros que podem ocupar determinada área;

**Capacidade dinâmica** – Refere-se à capacidade das instalações processarem um fluxo de usuários. A capacidade dinâmica permite avaliar o fluxo horário que pode ser atendido com as instalações existentes.

Segundo as consideramos de Guazzelli, o projeto de uma estação deve ser considerado em componentes. Assim, em áreas de espera ou aglomerações em halls de acesso, pisos intermediários e plataformas de embarque, a capacidade a ser analisada é a estática. Já em projetos de integração - cujo o principal objetivo é garantir o fluxo de pedestres de uma estação a outra – deve-se considerar a capacidade dinâmica.

Outro fator importante a ser considerado na capacidade das estações são os espaços comerciais dentro dos recintos que, apesar de elevarem a arrecadação comercial das empresas de transporte, podem – quando mal planejadas – gerar problemas de circulação de pedestres. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

Segundo Wright, L. e Hook, W. (2008), os espaços comerciais são importantes elementos nas estações de transporte público por oferecerem conveniência aos viajantes, que passam a poder combinar a viagem com outros tipos de atividades. Os serviços mais requisitados seriam os alimentícios, de farmácia, de telecomunicações, de sapataria, de chaveiro e bicicletário.

*“Entretanto, [...], a integração do sistema de transporte público com lojas varejistas traz consigo complicações não esperadas. A presença de lojas dentro do sistema soma uma camada de complexidade nos fluxos de passageiros e pode retardar o processamento de passageiros.” (WRIGHT, L. E HOOK, W., 2008)*

### 5.1.3 Nível de serviço

Segundo Guazzelli (2011), o conceito de nível de serviço (NS) ou *pedestrian level of service (LOS)*, em inglês, é o desempenho de um serviço de transporte percebido pelo passageiro. Por refletir a perspectiva do usuário, o conceito torna-se complexo, pois avalia o sistema e os serviços prestados com base nos conceitos individuais do que cada passageiro considera ideal.

Para Wright, L. e Hook, W. (2008), as vias de circulação de pedestre podem ser comparadas as vias de circulação de veículos, que possuem capacidades inerentes ao sistema. Essas capacidades podem ser atingidas durante os horários de pico, comprometendo a circulação de passageiros e atrasando o tempo de viagem. Assim, o NS seria uma medida física que permite quantificar o fluxo de pedestres em uma dada largura da via.

Já segundo a FTA (2013), o nível de serviço de pedestres é uma forma de medir a capacidade, conforto e segurança de pedestres em espaços destinados aos mesmos. Assim, o NS de uma estação está diretamente ligado a liberdade do pedestre em circular pelos espaços disponíveis, podendo escolher a direção e a velocidade de circulação, e podendo optar por ultrapassar ou não o pedestre a frente.

Dessa forma, podemos considerar o nível de serviço como uma medida que relaciona a capacidade da estação, o espaço de circulação e o conforto do passageiro.

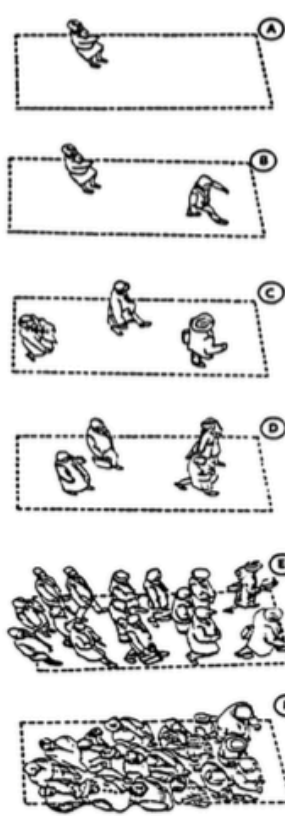
Existem vários fatores que impactam na percepção de conforto de um usuário do sistema de transporte, seja nas vias, calçadas ou estações de transporte. Nas integrações, os principais seriam (FTA, 2013):

- A percepção de segurança dos passageiros;
- Se transferências são necessárias para completar a viagem;
- A aparência e o conforto das instalações de transporte.

Guazzelli (2011) propõe que esses componentes sejam adaptados para as estações da seguinte forma:

- Percepção dos passageiros quanto à sua segurança nos terminais;
- Número de passageiros nos componentes terminais;
- Tempo que o passageiro leva dentro do sistema de terminal de transportes;
- Aparência e conforto proporcionados pelo terminal.

Dada essa situação e considerando HCM2000 *apud* FTA (2003), a FTA estabelece diferentes níveis de serviço que indicam o conforto dos passageiros em sistemas de transporte. Os níveis A a F podem ser vistos nas Figura 5-6 e Figura 5-7.

	Definição NS	Espaço por pedestre (m <sup>2</sup> /p)
	Nível de Serviço A	$\geq 3,3$
	Velocidade de caminhada definida livremente; conflito com outros pedestres improvável.	
	Nível de Serviço B	2,3 - 3,3
	Velocidade de caminhada definida livremente; pedestres respondem à presença de outros.	
	Nível de Serviço C	1,4 - 2,3
	Velocidade de caminhada definida livremente; ultrapassagem é possível em fluxos unidirecionais; pequenos conflitos com pedestres em fluxo reverso ou cruzado.	
	Nível de Serviço D	0,9 - 1,4
	Liberdade restrita para escolha de velocidade e ultrapassagem; alta probabilidade de conflito com pedestres em fluxo reverso ou cruzado.	
	Nível de Serviço E	0,5 - 0,9
	Velocidade e possibilidade de ultrapassagem restritas para todos os pedestres; movimento é possível apenas com conflito; movimento reverso ou cruzado é possível apenas com extrema dificuldade; volume se aproxima à máxima capacidade.	
	Nível de Serviço F	$< 0,5$
	Velocidade e possibilidade de ultrapassagem extremamente restritas; constante contato involuntário com outros pedestres; movimento reverso ou cruzado impossível; fluxo esporádico e instável.	

**Figura 5-6: Níveis de Serviço em Áreas de Locomoção**

Fonte: Manual da FTA, 2003 *apud* Guazzelli, 2011, p.8

Definição NS	Espaço por pedestre (m <sup>2</sup> /p)
Nível de Serviço A	$\geq 1,9$
Área suficiente para escolha de velocidade e ultrapassagem de pedestres mais lentos; fluxo reverso não causa conflitos restritos.	
Nível de Serviço B	1,4 - 1,9
Área suficiente para escolha de velocidade e certa dificuldade na ultrapassagem de pedestres mais lentos; fluxo reverso causa poucos conflitos.	
Nível de Serviço C	0,9 - 1,4
Velocidade levemente restrita devido à incapacidade de ultrapassagem de pedestres mais lentos; fluxo reverso causa alguns conflitos.	
Nível de Serviço D	0,7 - 0,9
Velocidade restrita devido à incapacidade de ultrapassagem de pedestres mais lentos; fluxo reverso causa conflitos significativos.	
Nível de Serviço E	0,4 - 0,7
Velocidade reduzida de todos os pedestres; paradas intermitentes são prováveis de acontecer; fluxo reverso causa sérios conflitos.	
Nível de Serviço F	$< 0,4$
Colapso total no fluxo de pedestres, com muitas paradas. Movimento depende dos pedestres mais lentos.	

**Figura 5-7: Níveis de Serviço em Escada**

Fonte: Manual da FTA, 2003 *apud* Guazzelli, 2011, p.9



Wright, L. e Hook, W. (2008) definem as seguintes áreas mínimas de calçada, em metros quadrados por pessoa, para cada nível de serviço do HCM2000 *apud* FTA (2003). A tabela está dividida para duas situações, as condições média e de batalhões. Os batalhões, ou comboios de pessoas, são definidos como um grupo de pessoas liberados simultaneamente por sinais de pedestres, portas de ônibus, trens e metrô, entre outros. Os batalhões são recorrentes nas estações de metrô e exigem maior espaço nas vias de pedestre. Além disso, é necessária especial atenção nos projetos em que há encontro entre dois ou mais batalhões.

**Tabela 5-1: Área, em metros quadrados por pessoa, para cada NS de calçada**

**NS de calçadas**

	<b>Média</b>	<b>Batalhão</b>
A	> 5,6	> 49,2
B	> 3,7 – 5,6	> 8,4 – 49,2
C	> 2,2 – 3,7	> 3,7 – 8,4
D	> 1,4 – 2,2	> 2,1 – 3,7
E	> 0,7 – 1,4	> 1,0 – 2,1
F	≤ 0,7	≤ 1,0

metros quadrados por pessoa

Fonte: Wright, L. e Hook, W. (2008)

É possível perceber que há uma diferença entre as dimensões propostas pelo FTA (2003) e por Wright, L. e Hook, W. (2008). Isso acontece porque os níveis estabelecidos por cada manual variam de país para país e devem ser calibrados de acordo com cada região estudada.

Um bom projeto de integração deve considerar boas condições de NS x custos de projeto. Quanto maior o conforto do usuário, permitindo a livre circulação dos passageiros, maior a área demandada para a integração e, conseqüentemente, o custo do projeto. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

Para Guazzelli (2011), os níveis de serviços aceitáveis durante o período de operação normal das estações devem estar entre A e C. Entretanto, a manutenção desses níveis durante todo o horário de funcionamento pode gerar problemas de custo. Isso acontece porque, para atender as condições de conforto durante os horários de pico, as dimensões da estação seriam tal que, durante os períodos normais ou de baixa demanda, grande parte da área disponível seria subutilizada. Assim, durante períodos de tempo curto, os níveis D e E são aceitáveis. Esses níveis também são aceitos para situações emergenciais.

Para situações em que o conforto do passageiro é baixo durante grande parte da operação e o projeto geométrico da estação não permite o aumento da largura da via de integração, algumas medidas operacionais podem ser tomadas para melhorar o percurso do passageiro. Uma opção é a instalação de amenidades durante o percurso como ar-condicionado, monitores de TV ou propagandas interativas. Outra opção é o deslocamento das áreas críticas da via de pedestres. Esse deslocamento aumenta o percurso do pedestre, mas aumenta seu conforto ao deslocá-lo para áreas mais confortáveis, abertas e com mais espaço. (WRIGHT, L. e HOOK, W., 2008)

#### 5.1.4 Circulação horizontal

Segundo a *FTA* (2013), existem quatro fatores que influenciam a capacidade de circulação horizontal em uma dada via:

- A velocidade dos pedestres;
- As características dos pedestres;
- A densidade de pedestres;
- A largura efetiva de caminhada no gargalo de projeto.

Além desses fatores, esse item irá discutir o uso de esteiras rolantes.

#### Velocidade e Característica dos Pedestres

Existem inúmeros fatores que influenciam a velocidade de um pedestre.

Por exemplo, a velocidade varia com o tipo de pedestre. Um pedestre de maior idade tende a caminhar mais devagar que um pedestre mais jovem, dada a dificuldade de locomoção da população mais idosa. O mesmo ocorre para as pessoas com mobilidade reduzida, como cadeirantes e pessoas com deficiência física. (*FTA*, 2013).

Segundo o *FTA* (2013), o tipo de bagagem, o uso de bicicletas ou carrinhos de bebê e o tipo de bagagem também interferem na velocidade do passageiro, pois diminuem a sua capacidade de locomoção. Pode-se ainda citar o uso de celulares como um importante fator de impacto no comportamento dos usuários.

Segundo Yoshiki et al (2017), anualmente há um crescimento no número de pessoas que sofrem acidentes relacionados ao uso de celular. Os autores fizeram experimentos em pedestres e concluíram que aqueles que digitavam mensagens, ou navegavam na internet enquanto andavam, confirmam visualmente o caminho a frente somente em 30% do tempo total de caminhada e a sua visão periférica diminui. Além disso, quando a densidade de pedestres aumenta, percebeu-se que as pessoas digitando mensagens no celular realizam movimentos mais abruptos de redução de velocidade para evitar colisão, justamente por não mudar a frequência da confirmação visual do caminho à frente.

Outros fatores que impactam na velocidade são o clima, a temperatura e as reações do usuário ao meio em que ele está. (*FTA*, 2013). Dependendo das condições climáticas externas e internas, o usuário pode passar por um processo chamado de *heat stress*<sup>4</sup>, diminuindo a sua capacidade de deslocamento.

Dessa maneira, o *FTA* (2013) define que:

- A velocidade normal de um passageiro em condições de deslocamento livre varia de 45m/min à 145m/min;
- Velocidades abaixo de 45m/min significam problemas/dificuldades de deslocamento;

---

<sup>4</sup> ISO 7243, *Ergonomics of the thermal environment – Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index*, terceira edição, 2017-2018.



- Para velocidades acima de 145m/min, considera-se que os passageiros estão correndo;
- Recomenda-se a utilização, em projeto, de uma velocidade de 75m/min, ou seja, 4,5 km/h.

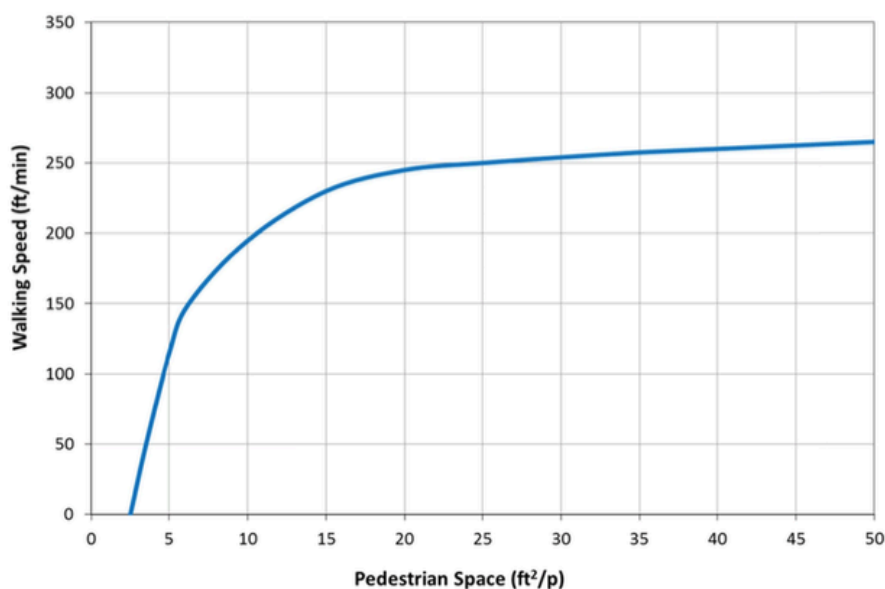
## Densidade

Para o *FTA* (2013), a densidade de pedestres é o parâmetro que mais influencia a circulação horizontal de pedestres.

De forma semelhante aos níveis de serviço, em que o passageiro se sente mais desconfortável a medida que perde liberdade de circulação, a velocidade de um usuário diminui à medida que aumenta a densidade de pessoas. Isso ocorre porque, a medida em que se aumenta a densidade, se diminui o espaço disponível por passageiro, aumentando o número de conflitos entre pedestres. (*FTA*, 2013)

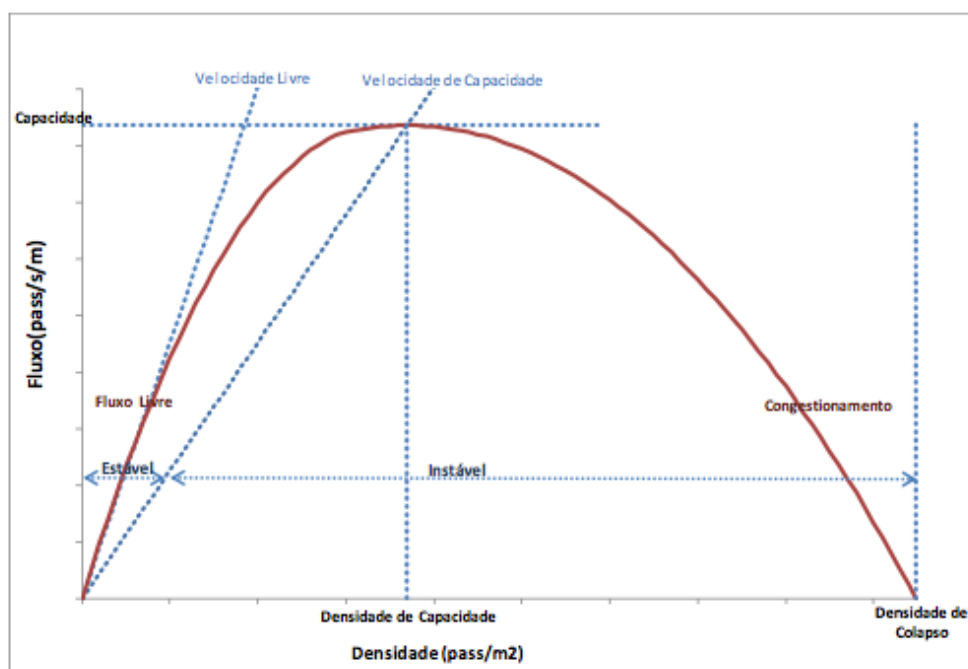
Para que o passageiro possa circular de forma normal, sem restrições de caminho e velocidade, e permitindo que ele reconheça o espaço e reaja a potenciais obstáculos, é necessário que haja um espaço de 2,3m<sup>2</sup>/pessoa. A restrição de espaço diminui rapidamente a velocidade de um pedestre, tendendo a zero para áreas de 0,5m<sup>2</sup>/pessoa. (*FTA*, 2013)

A relação entre espaço disponível e velocidade do pedestre (inverso da densidade) pode ser visto na Figura 5-8. A Figura 5-9 mostra a relação entre o fluxo de pedestres e densidade.



**Figura 5-8: Velocidade x Área Disponível ao Pedestre**

Fonte: Fruin, 1971, *apud* FTA, 2013



**Figura 5-9: Fluxo de Pedestres x Densidade de Capacidade**

Fonte: Daamen, 2004, *apud* Guazzelli, 2011

### Largura efetiva de caminhada

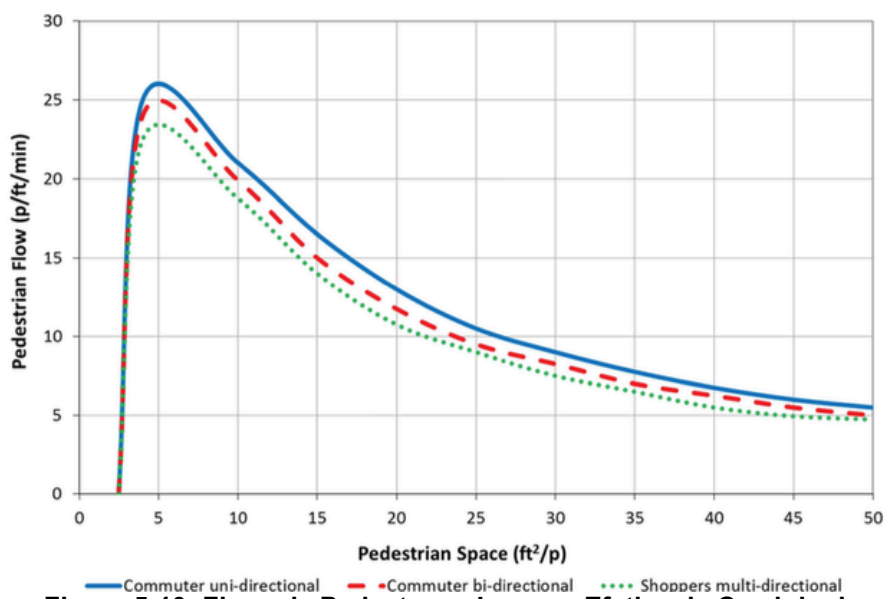
A largura efetiva de caminhada de uma via é diferente da largura total da via porque:

*"[...] pedestrians keep as much as an 18-in. (0.5-m) buffer between themselves and adjacent walls, street curbs, platform edges, and other obstructions, such as trash receptacles, sign posts and so forth." (FTA, 2013)*

Na prática, a largura efetiva de caminhada depende de inúmeros fatores como as características da parede ou do obstáculo, da largura disponível para caminhada e do número de pedestres. (FTA, 2013)

O FTA (2013) recomenda que a largura efetiva de caminhada seja a largura total:

- Menos 0,5m próximo as bordas de plataformas;
- Menos 0,3m próximo a paredes ou obstáculos maiores que 1m;
- Menos 0,2m à 0,3m próximos a obstáculos menores que 1m.



**Figura 5-10: Fluxo de Pedestres x Largura Efetiva de Caminhada**

Fonte: Fruin, 1971, *apud* FTA, 2013

A Figura 5-10 mostra a relação entre o fluxo de pedestres e a largura efetiva de caminhada uni, bi e multidirecional (fluxo cruzado). É possível perceber que não há uma diminuição significativa entre fluxos unidirecionais e bi/multidirecionais para situações normais. Entretanto, essa situação não se repete em casos singulares, como gargalos do sistema, que podem gerar diferenças maiores (FTA, 2013).

### Esteiras rolantes

Esteiras rolantes são elementos comuns em aeroportos, mas menos encontradas em estações de ônibus ou metrô. (FTA, 2013). Entretanto, esse elemento de circulação horizontal pode ser encontrado em algumas estações, como é o caso da integração entre as estações Consolação e Paulista.

Algumas das características mais importantes das esteiras rolantes são (FTA, 2013);

- Geralmente são instaladas para cobrir médias a longas distâncias de caminhadas, com variação de 30m a 300m;
- As esteiras raramente ultrapassam o tamanho de 120m;
- Quando a distância a ser coberta é maior do que 120m, são instaladas mais de uma esteira rolante, com espaços de circulação entre os pontos de entrada e saída dos elementos;
- A esteiras rolantes operam com velocidades menores do que as velocidades dos passageiros, entre 30m/min e 50m/min
- Esteiras rolantes que operam em velocidades maiores geralmente apresentam muitos problemas de manutenção e são, portanto, menos eficientes;
- É recomendado que haja um caminho de circulação disponível próximo às esteiras rolantes para que os passageiros possam se locomover adequadamente quando essas estiverem em manutenção.

### 5.1.5 Circulação vertical

A circulação vertical, assim como a circulação horizontal, é um importante elemento das estações de integração. O seu projeto deve considerar, entre outras coisas, a circulação de passageiros e a acessibilidade ao sistema.

Existem quatro elementos a serem considerados nesse tipo de projeto (FTA, 2013):

- Escadas;
- Escadas rolantes;
- Rampas
- Elevadores.

Esse item também irá exemplificar os parâmetros adotados nos projetos de circulação do Metrô de São Paulo.

#### Escadas

O uso das escadas é a forma mais tradicional de circulação vertical nas estações. Segundo Guazzelli (2011), a função primordial das escadas em estações é garantir a capacidade de escoamento e a retirada dos passageiros da plataforma em um intervalo menor que o *headway* dos trens. Dessa forma, é possível garantir a segurança dos passageiros e impedir que o sistema entre em colapso.

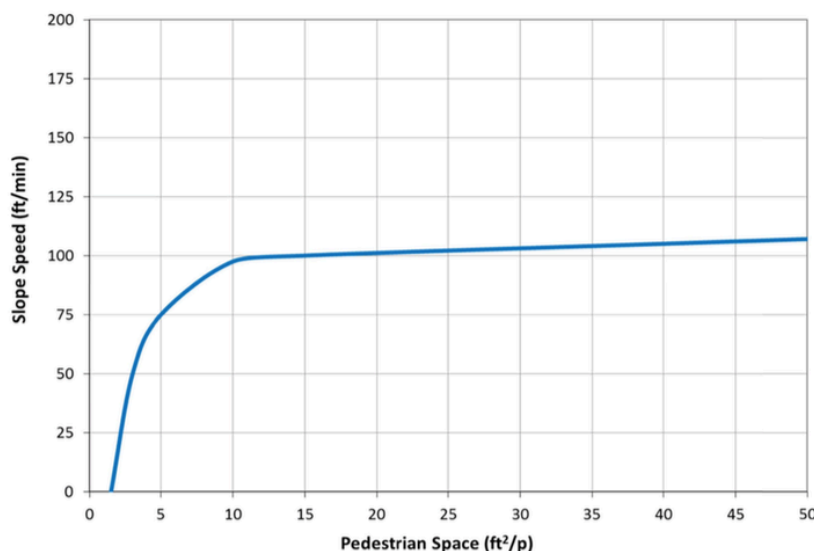
A NBR9050 - Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos (2015), define que uma sequência de três ou mais degraus é considerada uma escada, sendo o seu dimensionamento estabelecido pelas normas de segurança NBR9077 – Saídas de emergências em edifícios (2001). Para rotas acessíveis, entretanto, a norma considera uma largura mínima é de 1,2m.

A capacidade de uma escada é fortemente afetada pela sua largura. Diferentemente da circulação horizontal, em que as pessoas circulam livremente, nas escadas há a tendência de se andar em faixas. Dessa forma, a largura da escada determina dois fatores importantes: (1) o número de faixas de circulação disponíveis e (2) a distância entre dois passageiros em duas linhas diferentes, interferindo na capacidade de ultrapassar pedestres mais lentos (FTA, 2013)

Algumas considerações importantes podem ser feitas sobre as escadas (FTA, 2013):

- Dada a existência de faixas de circulação nas escadas, o aumento da largura da escada não é proporcional ao aumento da capacidade. O aumento ocorre com incrementos de aproximadamente 0,75m;
- Diferentemente da circulação horizontal, escadas bidirecionais apresentam capacidades muito menores que escadas unidirecionais. Uma faixa de circulação no sentido oposto ocupa aproximadamente uma largura de 0,75m. Assim, escadas de 1,5m de largura perdem aproximadamente 50% da sua capacidade durante o deslocamento de alguns pedestres no sentido oposto;
- O fluxo de pedestres costuma ser maior quando a escada é descendente, se comparada com escadas ascendentes devido ao maior gasto de energia para subir as escadas;

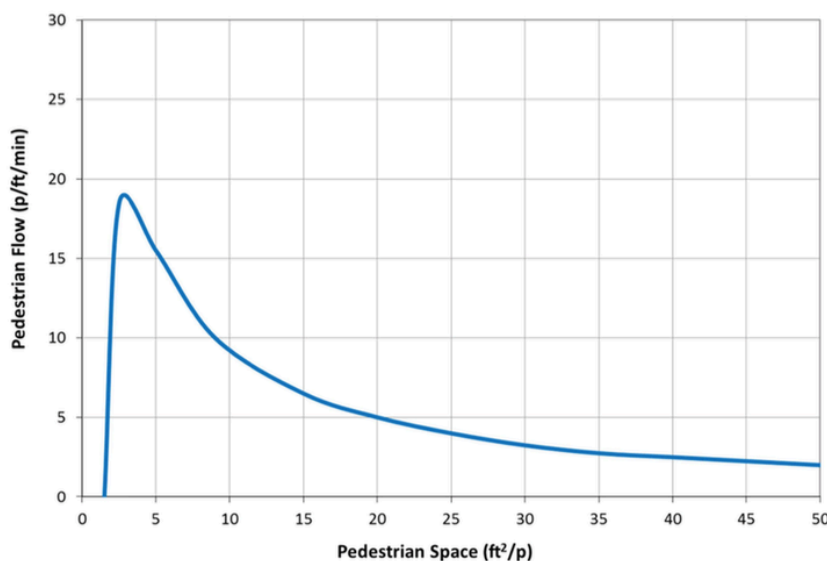
- O dimensionamento de escadas bidirecionais deve considerar o fluxo crítico, ou seja, o fluxo ascendente;
- A velocidade descendente varia de 17m/min à 31m/min, com velocidade recomendada de projeto de 18m/min;
- A velocidade ascendente varia de 12m/min à 21m/min, com velocidade recomendada de projeto de 15m/min;
- Por motivos de segurança, é importante evitar a formação de filas no final das escadas ou disponibilizar áreas para sua formação fora das escadas;



**Figura 5-11: Velocidade Ascendente x Espaço Disponível ao Pedestre**

Fonte: Fruin, 1971, *apud* FTA, 2013

Pela Figura 5-11, é possível perceber que a velocidade normal de ascensão ocorre para um espaço de 0,9m²/pessoa. Já a velocidade desejada ocorre apenas para 1,9m²/pessoa (FTA, 2013).



**Figura 5-12: Fluxo Ascendente de Pedestres x Espaço Disponível ao Pedestre**

Fonte: Fruin, 1971, *apud* FTA, 2013

Já a Figura 5-12 mostra que fluxo ascendente em escadas é máximo para a relação de  $0,3\text{m}^2/\text{pessoa}$ . Entretanto, por questões de segurança, esse valor não deve ser usado no dimensionamento da circulação vertical.

### **Escadas Rolantes**

As escadas rolantes se tornaram elementos comuns em estações de transporte, geralmente localizadas próximas, quando não ao lado, das escadas normais. (FTA, 2013)

A capacidade de uma escada rolante depende de dois fatores: (1) a largura de entrada e (2) a velocidade de operação. Assim, as seguintes considerações sobre escadas rolantes podem ser feitas (FTA, 2013):

- Na maior parte dos países, o ângulo de inclinação das escadas rolantes é de 30 graus, com largura de entrada variando de 0,6m a 1,1m;
- A velocidade de operação típica das escadas é de 27,4m/min, mas pode variar até 36,6m/min caso as medidas de segurança permitam;
- Estudos mostram que o aumento da velocidade para 36,6m/min aumenta a capacidade do sistema em 12%;
- Estudos também mostram que caminhar nas escadas rolantes não aumenta a capacidade do sistema, mas melhora o tempo de viagem dos passageiros;
- Como em escadas normais, deve-se tomar cuidado com a formação de filas nos finais das escadas rolantes.

### **Rampas**

As rampas são importantes elementos de circulação vertical para pessoas com mobilidade reduzida, tais como cadeirantes, idosos e pessoas com bebês. Além disso, esses elementos também podem ser utilizados por passageiros com bagagens/pacotes pesados e que circulam, por exemplo, com carrinhos de compras. (FTA, 2013)

A NBR9050 (2015) define que as rampas são elementos com a inclinação da superfície do piso, longitudinal ao longo do sentido de caminhar, com declive igual ou superior a 5%.

Para a FTA (2013), a inclinação das rampas não pode ser elevada, recomendando-se valores entre 5% a 6,25%. Entretanto, o comprimento de rampas com essas inclinações pode ser tal que inviabilize o projeto. Por esse motivo, são aceitas rampas de até 8,3% de inclinação.

### **Elevadores**

Assim como as rampas, os elevadores são importantes elementos de circulação vertical para pessoas com mobilidade reduzida.

Algumas considerações podem ser feitas sobre os elevadores (FTA, 2013):

- Dependendo do tamanho da estação, pode ser necessário a instalação de mais de um elevador;
- Em muitas estações, os elevadores são o único elemento de acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida;
- Por questões de segurança em incêndios, a instalação de elevadores não extingue a necessidade de instalar escadas normais nas estações;
- É importante que haja uma manutenção constante dos elevadores, garantindo que estes não quebrem durante as horas de serviço;
- Dada a necessidade de manutenção, os custos de se manter um elevador são geralmente altos;
- A capacidade dos elevadores pode ser medida de forma semelhante à de veículos, uma vez que os elevadores trabalham com serviços *on-demand*.

### Projeto de circulação vertical do Metrô

Dado que muitas estações de Metrô exigem projetos de circulação vertical, algumas diretrizes são utilizadas no dimensionamento desses elementos. Essas diretrizes foram estabelecidas tal que, nas estações, não haja problemas no acesso do usuário. Esses parâmetros podem ser vistos na Tabela 5-2 (Metrô, 2005, apud Guazzelli, 2011).

Componente	Capacidade	Observação
Escadas Rolantes	6.500 pass/h	Nominal
Escadas Fixas	1.500 pass/h/m	H≤4,00 m
	1.200 pass/h/m	H>4,00 m
Bloqueios	1.500 pass/h	Entrada
	2.000 pass/h	Saída
Corredores e Rampas	3.000 pass/h/m	-
Bilheterias	360 pass/h	-

**Tabela 5-2: Capacidades dos Componentes de um Terminal**

Fonte: Metrô, 2005/2008, apud Guazzelli, 2011

É possível perceber, por exemplo, que as escadas rolantes são os elementos de maior capacidade do sistema. Isso justifica a ampla utilização desses elementos nos projetos de circulação vertical da cidade de São Paulo.

Assim como é recomendado pelo FTA (2013), o dimensionamento das estações de metrô também recomenda atenção para a formação de filas nos finais das escadas, inserindo locais de formação de filas suficientemente grandes em pontos de escoamento crítico. (Metrô, 2005, apud Guazzelli, 2011).

## 6 METODOLOGIA DE MODELAGEM DE MICROSSIMULAÇÃO DE PEDESTRES

Esta seção do documento divide-se em três partes. Primeiramente, é enunciado um breve histórico da evolução dos diferentes métodos de análise do fluxo de pedestres. É definido, então, o conceito de modelo, os diferentes tipos e as vantagens do uso da modelagem para estudar um fenômeno. Por fim, justificada a escolha da metodologia, descreve-se com mais enfoque a técnica adotada.

### 6.1 Métodos de análise do fluxo de pedestres: um breve histórico

Papadimitriou et al. (2009), da Universidade Nacional de Tecnologia de Atenas (NTUA), discutem a complexidade de se estudar a dinâmica do fluxo de pedestres:

*"Isso envolve um processo complicado de tomada de decisão, onde pedestres percebem e avaliam o ambiente, decidem sua trajetória e adaptam-na quando necessário" (tradução livre dos autores).*

Devido à natureza complexa e caótica desta dinâmica quando há grandes multidões, análises simplificadas não são suficientes para descrever o comportamento real das pessoas, pois há um grande número de interações entre os pedestres e o ambiente. Esta dificuldade motivou diversas pesquisas, realizadas ao longo das últimas décadas, estudando desde a modelagem do fluxo de pedestres até o comportamento individual de cada pedestre.

#### 6.1.1 Estudos empíricos

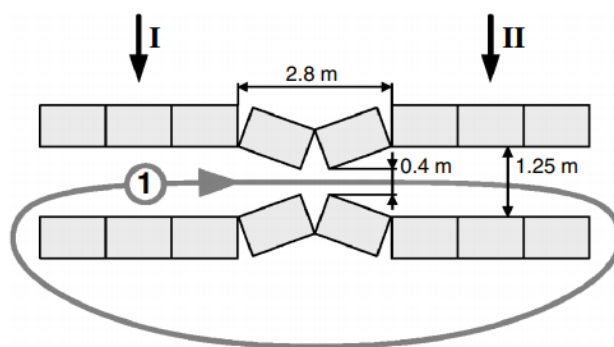
Um dos primeiros estudos a respeito da dinâmica do fluxo de pedestres se deu em 1958, por Hankin and Wright, que resultou no artigo *"Passenger flow in subways"*. Trata-se de um estudo empírico de fenômenos de auto-organização, com base em observações, fotografias e *time lapse*, com o objetivo de entender profundamente a dinâmica do pedestre.

Dirk Helbing, do Instituto Federal de Tecnologia de Zurique (ETH Zurich), teve papel fundamental no desenvolvimento de estudos a respeito desse tema. A seguir, citam-se alguns de seus experimentos empíricos em modelos físicos:

- Fluxo bidirecional de pedestres em corredores (Helbing et al. 1991);
- Quatro fluxos conflitantes de pedestres com e sem orientação com obstáculos e grades (Helbing, 1997);
- Movimento de pedestres através de multidão em espera (Helbing, 1997);
- Evacuação de estudantes de uma sala com uma saída estreita (Helbing et al. 2003);
- Fluxo uni e bidirecional de pedestres em corredores com e sem gargalos (Helbing et al. 2005);
- Dois fluxos conflitantes de pedestres (Helbing et al. 2005).

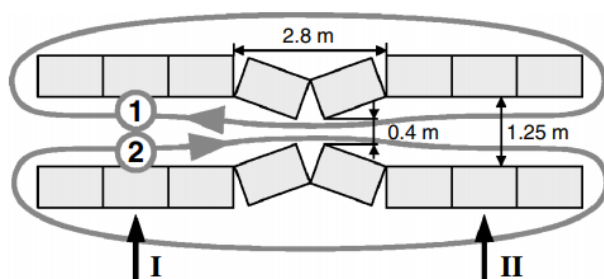
Alguns dos modelos físicos utilizados nestes experimentos valeram-se de mesas (120 x 60 cm) dispostas de modo a simular um corredor com ou sem gargalo, em diferentes configurações, como mostrado nas figuras a seguir:





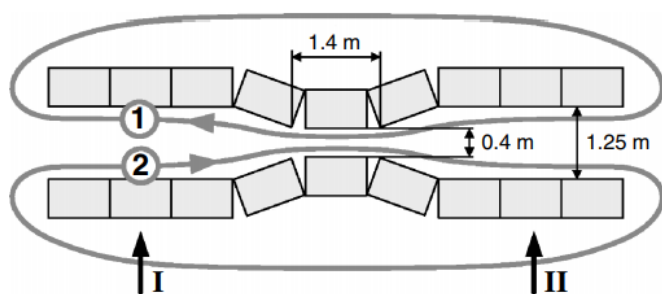
**Figura 6-1: Fotografia e ilustração esquemática de experimento de fluxo unidirecional de pedestres com gargalo curto**

Fonte: Helbing et al. 2005



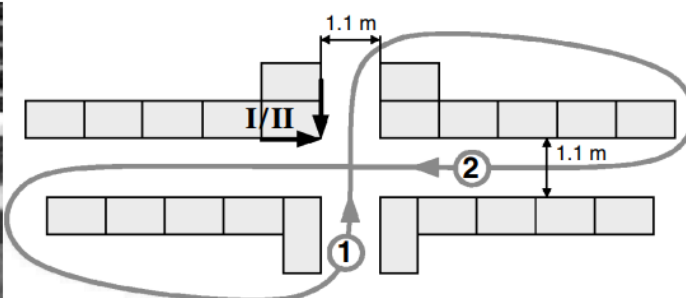
**Figura 6-2 - Fotografia e ilustração esquemática de experimento de fluxo bi-direcional de pedestres com gargalo curto**

Fonte: Helbing et al. 2005



**Figura 6-3 - Fotografia e ilustração esquemática de experimento de fluxo unidirecional de pedestres com gargalo longo**

Fonte: Helbing et al. 2005



**Figura 6-4 - Fotografia e ilustração esquemática de experimento de interseção de dois fluxos perpendiculares de pedestres**

Fonte: Helbing et al. 2005

Esse e outros estudos empíricos foram importantes para criação de modelos matemáticos representativos do comportamento do pedestre, pois serviram para identificar e quantificar os principais parâmetros que influenciam o tráfego de pedestres. Além disso, os resultados obtidos (tempos de viagem) serviram de base para calibração de modelos, de modo a garantir que eles de fato repliquem o fenômeno real por meio de validação dos *outputs*.

Antes de mencionar os diferentes modelos matemáticos desenvolvidos para a análise do fluxo de pedestres, é importante definir o conceito de Modelo, distinguir os diferentes tipos de modelagem e quais as suas vantagens.

## 6.2 Modelos matemáticos de fluxo de pedestres

Segundo Bassanezi (2002, p.33-34), as vantagens de se utilizar a modelagem consistem na possibilidade de se extraírem informações em diferentes aspectos dos inicialmente previstos, obtendo um melhor entendimento da realidade, além de permitir interpolações, extrapolações e previsões. Por fim, *"pode sugerir prioridades de aplicações de recursos e pesquisas e eventuais tomadas de decisão"*.

A simulação da dinâmica de pedestres com o uso de modelos físicos é importante e algumas vezes necessária para entender o problema ou mecanismos específicos que ocorrem com frequência em diferentes ocasiões, como congestionamento, formação de filas, efeito de gargalos, entre outros. Contudo, este tipo de modelo pode ser extremamente custoso em termos de tempo e dinheiro (no caso de simulações de evacuações, pode ser inclusive perigoso). Toma-se como exemplo um experimento de evacuação realizado pela Guarda Costeira da Marinha Americana, em 1996, que custou o equivalente a mais de 10 mil dólares. Por este motivo, mostra-se necessária a elaboração de modelos matemáticos, enunciados neste subitem.

Antes de citar os principais modelos matemáticos para simulação do movimento de pedestres, é importante definir alguns conceitos fundamentais que caracterizam a modelagem, pois os modelos podem diferir-se em diversos aspectos.

### 6.2.1 Classificações de Modelos

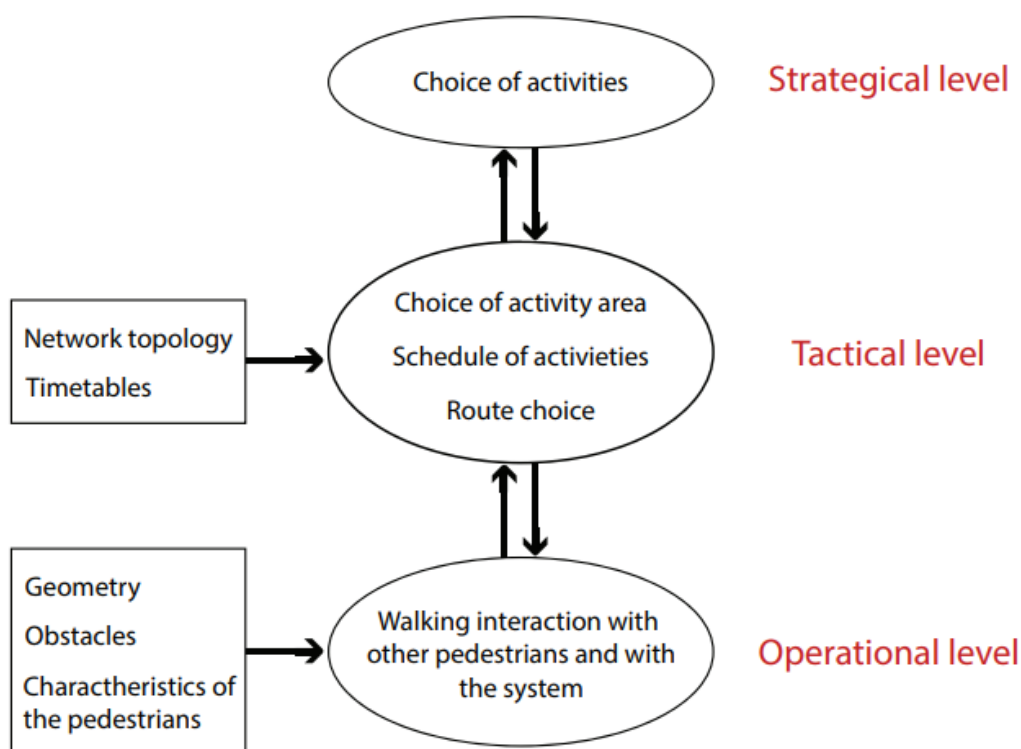
- **Macroscópico vs. microscópico:**

Modelos macroscópicos não distinguem os pedestres individualmente. Em vez disso, o estado do sistema é descrito por densidades, em geral uma densidade de massa, que provêm da posição dos pedestres e uma correspondente velocidade média local. Hughes (2002) considera a multidão de pedestres como uma única entidade fluida, onde variam-se as densidades e velocidades em cada região. Este tipo de modelo é adequado quando se deseja modelar o fluxo de pedestres a nível estratégico ou tático, tendo a vantagem de reduzir o número de cálculos necessários e, portanto, o custo computacional. Níveis de modelagem serão explicados ainda neste subitem.

Os modelos microscópicos, por sua vez, consideram cada pedestre individualmente. Este tipo de modelo permite introduzir diferentes

características a um único indivíduo, como a rota desejada ou a velocidade desejada. Uma vantagem desta abordagem é que ela permite modelar o comportamento de pedestres a nível operacional, que descreve o verdadeiro comportamento de indivíduos para evitar colisões com o ambiente e demais pedestres.

Schadschneider et al. (2008) destaca os três níveis de modelagem do comportamento de pedestres, como ilustra a figura a seguir:



**Figura 6-5 - Diferentes níveis de modelagem do comportamento de pedestres**

Fonte: RIBOLDI A. 2003-2004

Como mostrado na figura acima, a primeira decisão do pedestre ocorre a nível estratégico e diz respeito às atividades que irá realizar. Em seguida, é tomada a decisão a nível tático, que está relacionada às escolhas de curto prazo, como a escolha de rotas para chegar de maneira mais rápida e confortável a um destino. Por último, o nível operacional, abordado e explicado no parágrafo anterior, caracteriza a interação do pedestre com os demais e com o ambiente. Este último nível da modelagem é analisado com maior enfoque na microsimulação (modelo microscópico).

- **Discreto vs. contínuo:**

Por se tratar de um sistema dinâmico, todas as variáveis em um modelo de simulação de pedestres são função do tempo, por exemplo, as velocidades. Essas variáveis podem ser discretas ou contínuas. Quando um modelo é contínuo no tempo, para cada passo no tempo, ocorre uma atualização aleatória e sequencial dos pedestres e regiões, ou seja, os elementos a serem atualizados a cada instante são escolhidos aleatoriamente entre os demais.

Por outro lado, em um modelo discreto, todos os pedestres são movidos ao mesmo tempo. Neste caso é necessário definir uma escala de tempo.

- **Determinístico vs. estocástico:**

A dinâmica dos pedestres pode ser descrita de forma determinística ou estocástica. No caso da determinística, o comportamento do indivíduo é determinado pela condição no presente instante. Deste modo, se um pedestre se encontra em uma certa condição, ele sempre reagirá da mesma forma.

Nos modelos estocásticos, o comportamento é controlado por probabilidades, de modo que pedestres podem reagir de diferentes maneiras a uma mesma condição. A implementação da estocasticidade, mesmo em modelos simples, pode gerar comportamentos muito complexos. Porém é esta complexidade que torna possível uma representação realista de situações complexas, como multidões de pedestres. Vale mencionar que o uso dessas probabilidades é baseado em observações empíricas, quando não se consegue descrever um processo, como por exemplo a tomada de decisão de um pedestre.

- **Baseado em regras vs. baseado em forças:**

A diferença entre esses dois tipos de modelos está presente na forma como os pedestres interagem com o ambiente e demais indivíduos. No modelo baseado em regras, todos os pedestres tomam suas decisões de movimento de acordo com a sua situação e a da sua vizinhança, isto é, o foco está nas condições locais do pedestre.

O modelo baseado em forças considera a situação global do sistema, onde os indivíduos são influenciados por uma força exercida pelos demais e pela infraestrutura, agindo conforme a resultante de todas as forças. Trata-se de uma abordagem física, baseada na observação de que a presença de outros leva a um desvio do movimento original, que seria direto.

A tabela a seguir classifica os três modelos que serão discutidos neste trabalho, quanto aos atributos supracitados.

**Tabela 6-1 - Classificação dos modelos**

MODELO				
Dinâmica dos Fluidos	macroscópico	contínuo	determinístico	baseado em forças
Forças Sociais	microscópico	contínuo	semi-estocástico	baseado em forças
Autômato Celular	microscópico	discreto	determinístico ou estocástico	baseado em regras

No modelo semi-estocástico, alguns parâmetros podem ter caráter estocástico, enquanto outros são determinísticos.

### 6.2.2 Modelo de Dinâmica dos Fluidos e Cinética dos Gases

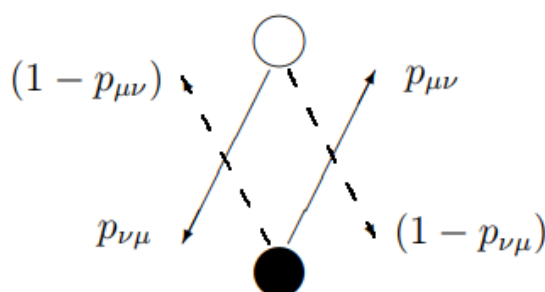
Os primeiros modelos matemáticos de dinâmica de pedestres foram inspirados pela teoria da hidrodinâmica e da cinética dos gases (*gas-kinetic theory*). Henderson (1971) foi o primeiro a elaborar uma analogia entre esses conceitos e o comportamento de

pedestres nos estudos empíricos, onde as interações entre eles foram representadas por colisões entre partículas, que trocam quantidade de movimento e energia, valendo-se das equações de Navier-Stokes. Este modelo foi posteriormente aprimorado por Helbing, nos anos 90, com base em um modelo baseado na cinética dos gases.

Helbing et al. (2002) enunciam algumas similaridades entre a dinâmica de pedestres e a dinâmica dos fluidos, gases ou materiais granulares:

- O surgimento de fluxos de pedestres em multidões estáticas mostra-se análogo à formação de leito de rios;
- Pegadas de pedestres na neve são similares a linhas de fluxos de fluidos;
- Nas fronteiras de corredores de pedestres em direções opostas, foi observado o fenômeno "dedos viscosos" ou "*viscous fingering*", isto é, protuberâncias com padrão instável na fronteira entre fluidos em um meio poroso;
- Quando a densidade é elevada o bastante, pedestres formam espontaneamente filas de direção definida como a segregação ou estratificação de materiais granulares;
- Em gargalos, a direção de passagem de pedestres oscila e pode ser comparada ao que se observa em materiais granulares em ampulheta.

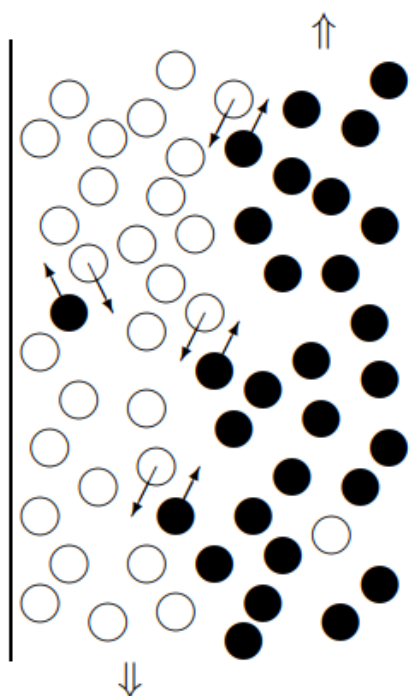
Um dos fenômenos estudados a partir dessas analogias foi o da formação de filas em sentidos opostos, que está relacionado ao fato de que pedestres tendem a desviar um dos outros com uma tendência maior para um dos lados (esquerda ou direita), conforme a figura a seguir:



**Figura 6-6 - Pedestres movendo-se em sentidos opostos**

Fonte: A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians Complex system, Helbing 1992

Na situação da figura acima, é vantajoso se ambos os pedestres optarem por desviar para a direita, ou ambos para a esquerda. Caso contrário, eles teriam que parar para evitar a colisão. A probabilidade  $p_{\nu\mu}$  de escolher o lado direito é geralmente um pouco maior do que  $(1 - p_{\nu\mu})$  de escolher o lado esquerdo. Essa probabilidade assimétrica de desvios causa uma tendência de movimento em diferentes faixas.



**Figura 6-7 - Movimentos em sentidos opostos em faixas separadas**

Fonte: A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians Complex system, Helbing 1992

A figura acima mostra a tendência previamente mencionada de formação de faixas separadas para fluxos em sentidos opostos. As setas pretas indicam manobras de desvio, enquanto as setas largas são o sentido desejado de movimento (branco para baixo e preto para cima).

Outros fenômenos estudados pela teoria da dinâmica dos fluidos foi o de congestionamento de pedestres e a formação de filas. A figura abaixo ilustra o primeiro caso.



**Figura 6-8 - Congestionamento de pedestres na entrada da Apple Store, na China**

Fonte: Pedestrian dynamics: modelling and calibration of a 2-dimensional cellular automata model, RIBOLDI A. 2003-2004

A formação de filas pode ser observada na figura a seguir.



**Figura 6-9 - Fenômeno de formação de fila em Bordeaux, França**

Fonte: Pedestrian dynamics: modelling and calibration of a 2-dimensional cellular automata model, RIBOLDI A. 2003-2004

A descrição detalhada dos fenômenos estudados por este modelo e a sua formulação matemática não fazem parte do escopo do presente trabalho, porém são abordadas em:

1. *The statistics of crowd fluids Nature* (Henderson, 1971);
2. *On the fluids mechanics of human crowd motion* (Henderson, 1974);
3. *A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians Complex system* (Helbing, 1992).

### 6.2.3 Modelo de Forças Sociais

Helbing (1998) introduziu o conceito de forças sociais, baseando-se na ideia de que a velocidade e a direção do pedestre são influenciadas atrativamente por pontos de interesse (destinos ou pontos intermediários) e repulsivamente por outros pedestres e obstáculos.

O modelo de forças sociais é um modelo determinístico e contínuo que possibilita o estudo do comportamento do pedestre por meio de uma equação de movimento. Esta equação descreve a variação no tempo  $\frac{d\vec{v}_\alpha}{dt}$  da velocidade  $\vec{v}_\alpha$  de um pedestre  $\alpha$  em função de uma grandeza vetorial  $\vec{F}_\alpha$ , força social, que representa o efeito do ambiente.

Embora a conceituação matemática seja relativamente simples, este modelo representou o comportamento real de pedestres com grande acurácia e, portanto, o seu desenvolvimento merece ser apresentado.

- Consideremos um pedestre  $\alpha$  que deseja chegar a um destino  $\vec{r}_\alpha^0$  da maneira mais conveniente possível. Assim, este pedestre escolherá o caminho mais curto possível, que geralmente forma um polígono, cujos lados são  $\vec{r}_\alpha^0, \vec{r}_\alpha^1, \dots, \vec{r}_\alpha^n$ . Os lados  $\vec{r}_\alpha^k$  desse polígono definem o versor da direção desejada  $\vec{e}_\alpha(t)$  pelo pedestre:

$$\vec{e}_\alpha(t) = \frac{\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha}{\|\vec{r}_\alpha^k - \vec{r}_\alpha\|}$$



Se não encontrar obstáculos, ele/ela caminhará na direção  $\vec{e}_\alpha(t)$  com uma velocidade desejada  $v_\alpha^0$ . Caso contrário, a diferença entre a velocidade real  $\vec{v}_\alpha$  e a velocidade desejada  $v_\alpha^0$ , pela desaceleração necessária, gera uma tendência de se aproximar novamente de  $\vec{v}_\alpha^0$  dentro de um tempo de relaxação  $\tau_\alpha$  (tempo necessário para alcançar o equilíbrio). Isso é expresso por um termo de aceleração:

$$\vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, \vec{v}_\alpha^0) = \frac{1}{\tau_\alpha} (\vec{v}_\alpha^0 - \vec{v}_\alpha)$$

- O pedestre  $\alpha$  é influenciado pela presença de um pedestre  $\beta$ . Isso se deve ao fato de que o pedestre  $\alpha$  deseja manter uma distância dos demais pedestres. Esta distância depende de dois fatores: densidade de pedestres e velocidade desejada  $v_\alpha^0$ . Isso gera uma força de repulsão:

$$\vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta}) = -\nabla_{\vec{r}_{\alpha\beta}} V_{\alpha\beta}[b(\vec{r}_{\alpha\beta})]$$

Onde:

$V_{\alpha\beta}(b)$  é uma função monótona decrescente, que depende de  $b$  com linhas equipotenciais em forma de uma elipse direcionada na direção do movimento;

$b$  é o semieixo menor da elipse e é dado por:

$$2b(\vec{r}_{\alpha\beta}) = \sqrt{(\|\vec{r}_{\alpha\beta}\| + \|\vec{r}_{\alpha\beta} - v_\beta \Delta t \vec{e}_\beta\|)^2 - (v_\beta \Delta t)^2}$$

Com  $\vec{r}_{\alpha\beta} = \vec{r}_\alpha - \vec{r}_\beta$  e  $s_\beta = v_\beta \Delta t$ , que representa a largura do passo do pedestre  $\beta$ .

De maneira análoga, o pedestre  $\alpha$  também sofre influência das bordas de edifícios, paredes, vias e obstáculos. Isto gera outra força de repulsão, proveniente de uma borda  $B$ :

$$\vec{F}_{\alpha B}(\vec{r}_{\alpha B}) = -\nabla_{\vec{r}_{\alpha B}} U_{\alpha B}(\|\vec{r}_{\alpha B}\|)$$

Onde:

$U_{\alpha B}(b)$  é uma função monótona decrescente, e o vetor  $\vec{r}_{\alpha B} = \vec{r}_\alpha - \vec{r}_B$  representa o ponto dessa borda  $B$  que está mais próximo do pedestre  $\alpha$ .

- Pedestres podem ser atraídos por outros pedestres (amigos) ou por objetos (saídas). Estes efeitos de atração são modelados de maneira similar aos efeitos de repulsão.

$$\vec{f}_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t) = -\nabla_{\vec{r}_{\alpha i}} W_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t)$$

Onde  $\vec{r}_{\alpha i} = \vec{r}_\alpha - \vec{r}_i$  e  $W_{\alpha i}(\|\vec{r}_{\alpha i}\|, t)$  é uma função monótona crescente, de modo que a atração  $\|\vec{f}_{\alpha i}\|$  decresce no tempo, conforme o interesse está diminuindo. Esses efeitos de atração são responsáveis pela formação de grupos de pedestres (que podem ser comparados a moléculas).



- É importante ressaltar que a formulação descrita acima, para forças atrativas e repulsivas, só vale para situações que são percebidas pelo pedestre. Por exemplo, situações ocorrentes atrás do pedestre terão uma influência  $c$  menor sobre o seu movimento, com  $0 < c < 1$ . Para considerar este efeito de percepção (como o ângulo efetivo  $2\varphi$  de visão), é preciso introduzir pesos  $w(\vec{e}, \vec{f})$  (que multiplicarão as forças acima) que dependem da direção do elemento em relação ao pedestre:

$$w(\vec{e}, \vec{f}) = \begin{cases} 1, & \text{se } \vec{e} \cdot \vec{f} \geq \|\vec{f}\| \cos \varphi \\ c, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

Portanto, as forças de atração e repulsão sobre o pedestre são dadas por:

$$\vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_{\alpha\beta}) = w(\vec{e}_\alpha, -\vec{f}_{\alpha\beta}) \vec{f}_{\alpha\beta}(\vec{r}_{\alpha\beta})$$

$$\vec{F}_{\alpha i}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_{\alpha i}, t) = w(\vec{e}_\alpha, -\vec{f}_{\alpha i}) \vec{f}_{\alpha i}(\vec{r}_{\alpha i}, t)$$

Finalmente, o modelo de forças sociais é definido por:

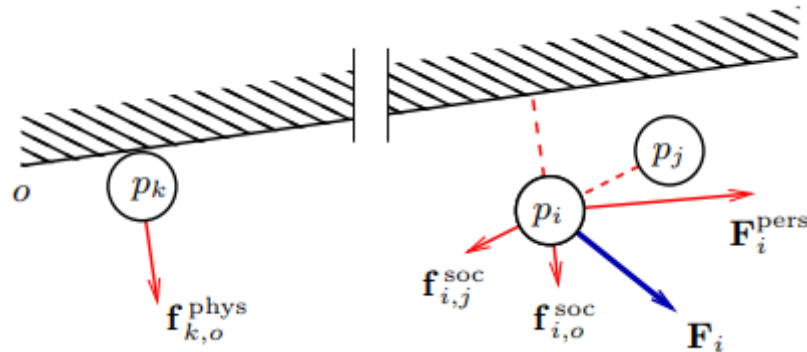
$$\frac{d\vec{v}_\alpha(t)}{dt} = \vec{F}_\alpha(t) + \text{flutuações}$$

Onde  $\vec{F}_\alpha(t)$  é a força resultante de todas os efeitos de atração e repulsão:

$$\vec{F}_\alpha(t) = \vec{F}_\alpha^0(\vec{v}_\alpha, \vec{v}_\alpha^0) + \sum_\beta \vec{F}_{\alpha\beta}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_{\alpha\beta}) + \sum_B \vec{F}_{\alpha B}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_{\alpha B}) + \sum_i \vec{F}_{\alpha i}(\vec{e}_\alpha, \vec{r}_{\alpha i}, t)$$

O termo de *flutuações* considera as variações aleatórias de comportamento do pedestre  $\alpha$ .

Visando melhor ilustrar as forças supracitadas, a figura a seguir mostra um pedestre sujeito a estas forças.

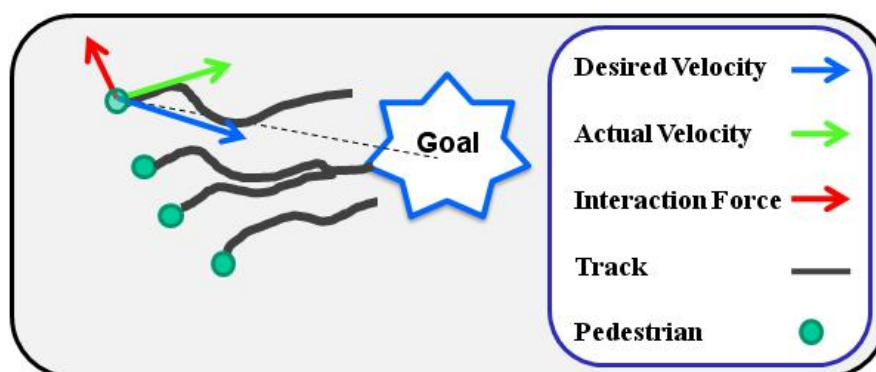


**Figura 6-10 - Forças sociais atuantes sobre o pedestre**

Fonte: LUBER et al, People Tracking with Human Motion Predictions from Social Forces. p. 464-469, University of Freiburg, 2010

À direita, observa-se a presença de duas forças de repulsão  $f_{i,j}^{soc}$ , uma devido à proximidade de um obstáculo (parede) e outra devido à presença de outro pedestre  $p_j$ . Além disso, é ilustrada uma força de atração  $F_i^{pers}$ , proveniente da direção desejada. A resultante  $\vec{F}_\alpha(t)$  está representada nesta figura como  $F_i$ , destacada em azul. À esquerda, é evidenciada uma força  $f_{k,o}^{phys}$  não citada até agora, porém também presente no modelo. Trata-se da força de reação proveniente do contato pedestre-obstáculo, conforme a Terceira Lei de Newton.

A imagem a seguir resume de maneira didática e inteligível as principais variáveis consideradas na dinâmica do movimento de pedestres.



**Figura 6-11 - Representação de forças e velocidades no movimento do pedestre**

Fonte: Mehran et al., *Abnormal Crowd Behavior Detection using Social Force Model*, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Miami, 2009

Em suma, a força resultante  $\vec{F}_\alpha(t)$  que atua sobre o pedestre está destacada na cor vermelho. A figura acima também destaca a velocidade desejada (azul) e a real (verde). Os pedestres são representados por pontos (azul-piscina) e suas trajetórias estão em cinza (diferem da trajetória ideal, tracejada). O balão branco poligonal é o destino do pedestre destacado.

#### 6.2.4 Modelo de Autômatos Celulares (CA)

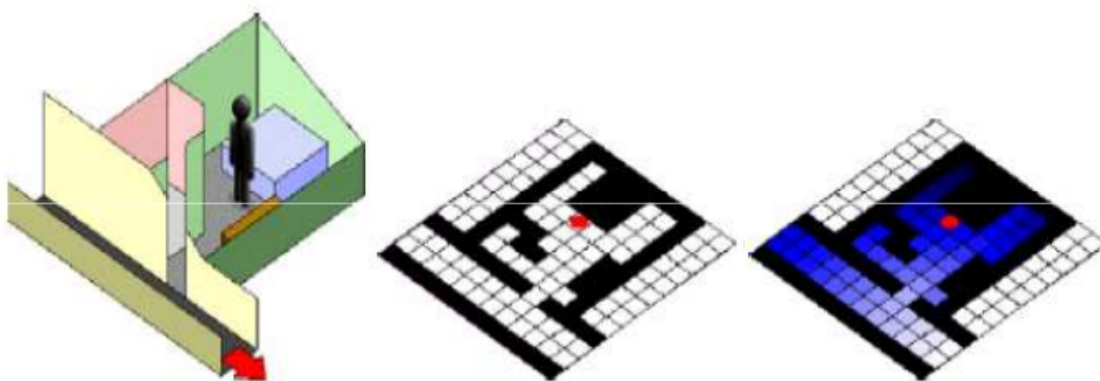
O modelo de autômatos celulares (CA) foi criado no fim dos anos 1940 por Stanislaw Ulam e John von Neumann, em busca de um modelo que simulasse a auto reprodução na biologia. Trata-se de um modelo matemático para descrever sistemas ou processos que estão distribuídos espacialmente e que passou a ser usado posteriormente em diversas áreas, inclusive para simular sistemas de transporte.

No final dos anos 1990, os modelos CA foram largamente aplicados para estudar tráfego de veículos. Nagel e Schreckenberg (1992), por exemplo, analisaram os movimentos veiculares baseando-se em um modelo CA para fluxo de tráfego.

Mais recentemente, houve um crescente interesse em compreender o comportamento de pedestres. Blue e Adler (1998) aplicaram o modelo CA para simular fluxo de pedestres e mostraram que esses modelos forneciam resultados condizentes de padrões nos fluxos. Klüpfel et al. (2000) apresentaram um modelo CA para descrever o movimento de multidões em microssimulação de evacuação de passageiros em navios.

Dadas as diversas aplicações desse modelo, é importante ressaltar que o objetivo do presente trabalho envolve simular o fluxo de pedestres, e é neste fenômeno em que se baseia a descrição mais detalhada do modelo, a seguir.

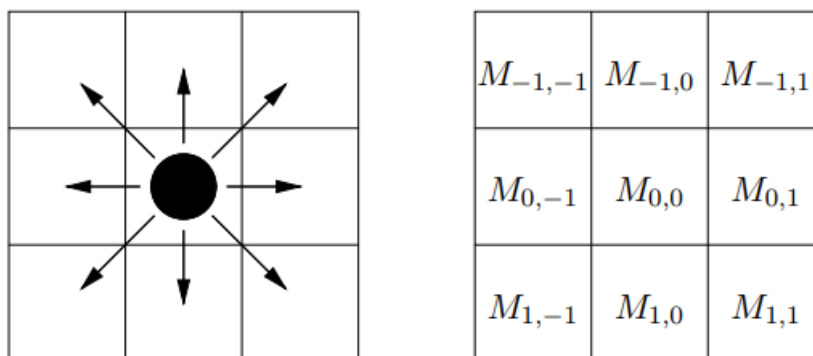
O modelo de autômatos celulares, ou “*cellular automata*”, é um modelo baseado em regras que é discreto no espaço e no tempo. Divide-se o espaço em uma malha bidimensional, onde cada célula pode estar vazia ou ser ocupada por uma única partícula, isto é, um pedestre. Esta discretização leva em consideração o mínimo espaço necessário que um indivíduo ocupa, o que ocorre em regiões de máximas densidades nas multidões de pessoas. Estudos empíricos mostraram que esta densidade máxima é de 6,25 pedestres por metro quadrado, o que leva a um tamanho de célula de 40 cm x 40 cm. Segundo Burstedde et al. (2001), este é o espaço médio ocupado por uma pessoa em uma multidão densa. A posição de todos os pedestres é atualizada ao mesmo tempo, onde a escala de tempo (passo do tempo) está relacionada ao tempo de reação  $t_{reac}$  das pessoas. A figura a seguir permite visualizar a malha de células em uma simulação de pedestres.



**Figura 6-12 - Malha de células do modelo de autômatos celulares**

Fonte: Castle, 2007

Cada pedestre possui uma direção desejada, a partir da qual é gerada uma matriz de preferências, com 3 x 3 células que correspondem à posição do pedestre e às células vizinhas. Na verdade, o elemento central descreve a probabilidade de o pedestre não sair do lugar, enquanto os demais elementos correspondem à probabilidade de se mover para as respectivas células vizinhas.

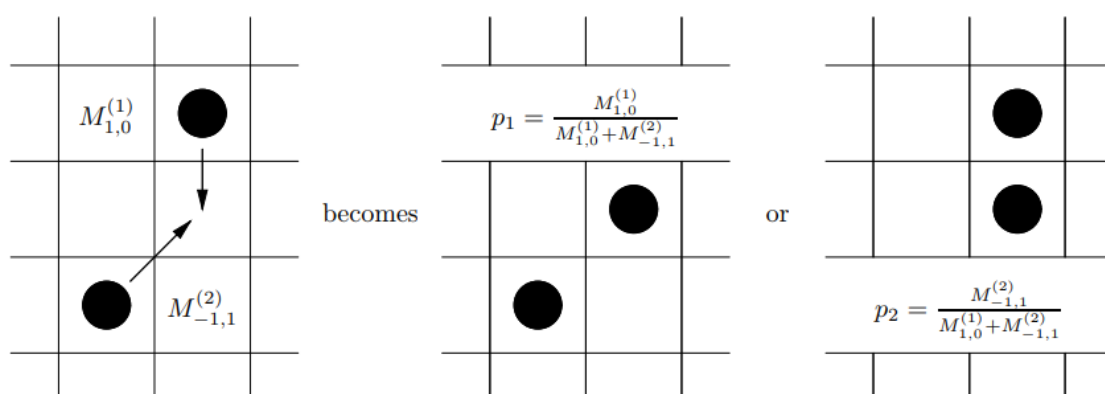


**Figura 6-13 - Um pedestre, as possíveis direções de movimento e a matriz M de preferência**

Fonte: Schadschneider. Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics - Theory, Universidade de Colônia, 2001

A matriz de preferências contém, portanto, informações a respeito da direção e velocidade desejadas. Isso pode diferir entre cada célula, a depender da geometria local e do objetivo do pedestre. A matriz é gerada para cada pedestre e é diferente ao longo do tempo e pode ser obtida por modelos de escolha de rota.

A cada passo de tempo, cada indivíduo tem sua ação escolhida de acordo com essas probabilidades. Se o pedestre decide se mover para uma célula já ocupada, ele permanece onde está. Caso ela esteja desocupada e não é alvo de nenhum outro pedestre, o movimento ocorre. Porém, quando mais de um pedestre deseja se mover para a mesma célula, a decisão é probabilística, conforme mostra a figura a seguir:



**Figura 6-14 - Resolução de conflitos de acordo com as probabilidades relativas**

Fonte: Schadschneider. Cellular Automaton Approach to Pedestrian Dynamics - Theory, Universidade de Colônia, 2001

No caso acima, cada partícula tem uma matriz de preferências  $M^{(1)}$  ou  $M^{(2)}$ . À esquerda, tem-se a situação inicial, em que dois pedestres almejam a mesma célula. O segundo e o terceiro esquema mostram quais são as duas possibilidades de estado do sistema no próximo passo de tempo, com as respectivas probabilidades  $p_1$  e  $p_2$  de ocorrência. Schadschneider et al. (2008) aponta os três fatores que determinam estas probabilidades:

- A direção de movimento desejada;
- Interações com os demais pedestres;
- Interações com a infraestrutura (paredes, portas, etc.).

Existem atualmente várias versões do modelo autômato celular, desenvolvidas nas duas últimas décadas. Entretanto, devido à natureza discreta, esse tipo de modelo não é adequado para representar situações de grande densidade de pedestres, pois gera-se uma propagação de erros notável (Pelechano, 2007). Por este motivo, uma descrição mais detalhada deste modelo foge do escopo do presente trabalho.

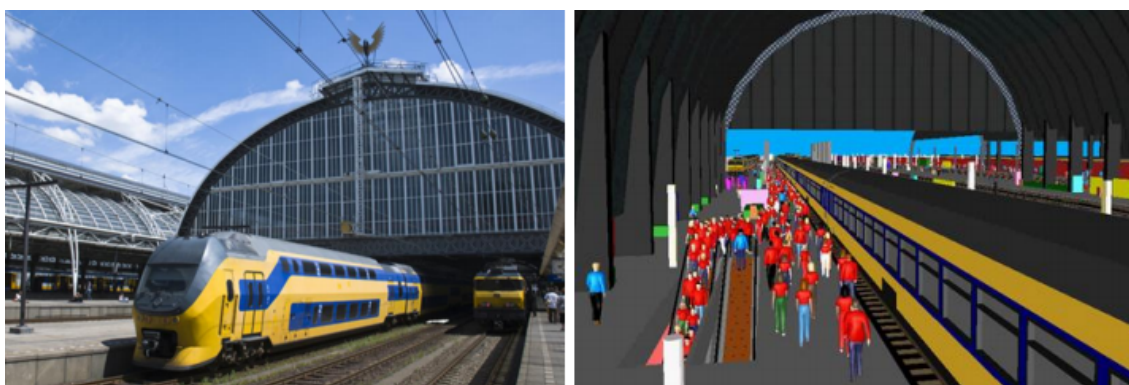
### 6.3 Viswalk

Com o advento de processadores cada vez mais eficazes, a simulação computacional se tornou uma poderosa ferramenta para estudar problemas complexos em diversas áreas da ciência, inclusive no planejamento de transportes. *"A microssimulação de pedestres permite analisar sistemas complexos de tráfego, envolvendo interação entre diferentes agentes e variação ao longo do tempo"* (Xiao et al., 2005).

Um dos principais softwares concebidos para este fim foi o PTV Vissim que, com a extensão para simulação de pedestres, é denominado por seus distribuidores como PTV Viswalk (Rickborn, 2013) e será referido neste trabalho como Viswalk. Este foi desenvolvido em 2008 pela empresa alemã PTV (*Planung Transport Verkehr AG*) com o objetivo de integrar pedestres a diversos modos de transporte em simulações de tráfego. Com isso, o planejamento e a otimização de um sistema onde seja importante o estudo do fluxo de pedestres, suas densidades e sua interação com veículos (carros, ônibus, trens), por meio da microssimulação, tornou-se possível.

Podem-se atribuir várias vantagens a este tipo de metodologia. Uma delas é a possibilidade de simular diversos cenários de demanda de tráfego, o que é primordial para o desenvolvimento deste trabalho. Entre outras vantagens, pode-se citar o fato de que o software permite incluir aleatoriedades, medidas numéricas, e visualizar o estado do sistema ao longo do tempo (Xiao et al., 2005).

O Viswalk foi empregado, por exemplo, na modelagem da Estação Central de Amsterdam (*Amsterdam Centraal*), a principal estação ferroviária dos Países Baixos, em um projeto de expansão de capacidade. O objetivo era avaliar o fluxo de pedestres na estação. A figura a seguir mostra, à esquerda, a estação (real) e, à direita, o modelo criado no software.



**Figura 6-15 - Modelagem da Estação Central de Amsterdam**

Fonte: PTV, 2013

Para a concepção do comportamento de pedestres, o software Viswalk emprega o modelo de forças sociais, apresentado no item 6.2.3. A seguir são apresentadas as formulações adotadas no programa.

### 6.3.1 Força motriz

A força motriz é calculada conforme a formulação original proposta por Helbing, na qual obtemos uma força por unidade de massa:

$$F = \frac{(v_0 - v)}{\tau}$$

Onde:

$v_0$  é a velocidade desejada

$v$  é a velocidade do pedestre

$\tau$  é a relaxação do tempo ou inércia

### 6.3.2 Força de repulsão entre pedestres

A força de repulsão gerada entre pedestres adotada no software, admite como função monotônica decrescente:

$$V_{\alpha\beta}(d) = A \cdot e^{-\frac{d}{B}}$$

Onde:

$d$  é equivalente ao  $b$  de Helbing

$A$  é uma constante associada à magnitude da força de repulsão

$B$  é uma constante associada ao raio de alcance da força de repulsão

Essa força é dividida em duas componentes nos cálculos empregados pelo software, de forma a comportar a diferenciação existente em interações de pedestres que seguem num fluxo convergente e pedestres que seguem fluxos conflitantes.

A primeira componente dessa força de repulsão refere-se ao efeito provocado pela direção do movimento, independentemente do tipo de fluxo entre os pedestres. Uma primeira diferença quanto à formulação original é o tratamento de  $d$ , que passa a ser simplesmente a distância entre os corpos. E uma segunda alteração, a partir da qual torna-se possível mensurar o efeito da direção de movimento do pedestre, é a adição do termo  $w$ , que representa a influência do campo de visão do pedestre sobre as forças por ele percebidas:

$$F = A_{soc\_isotropic} \cdot w \cdot e^{\left(\frac{-d}{B_{soc\_isotropic}}\right)}$$

A segunda componente da força de repulsão é aplicada apenas nos casos de movimentação entre pedestres em fluxos conflitantes. É considerada por Friis e Svensson (2013) como uma parcela de força relacionada à velocidade relativa entre os pedestres. Sua formulação segue a proposta original do modelo de forças sociais sem alterações, porém, caso não seja detectada interação de fluxos conflitantes, é igual a zero:

$$F = \begin{cases} A_{soc\_mean} \cdot e^{\left(\frac{-d}{B_{soc\_mean}}\right)}, & \text{para fluxos conflitantes} \\ 0, & \text{para fluxos convergentes} \end{cases}$$

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{(d_{01} + d_{a,01})^2 - |\vec{v}_{rel,01} \cdot VD|}$$

$$d_{a,01} = |\vec{d}_{01} + \vec{v}_{rel,01} \cdot VD|$$

Onde:

$d_{01}$  é a distância entre os pedestres

$d_{a,01}$  é a distância esperada entre os pedestres num intervalo  $VD$ , mantida a velocidade

$\vec{v}_{rel,01}$  é a velocidade relativa entre os pedestres

$VD$  é o intervalo de tempo referente a uma passada correspondente ao  $\Delta t$  de Helberg

### 6.3.3 Variáveis de calibração

São apresentados abaixo os detalhes e interpretações das variáveis passíveis de alteração dentro do programa, algumas já previamente introduzidas na modelagem matemática dos itens 6.3.1 e 6.3.2:

- **Tau**

Representa a *relaxação do tempo* ou *inércia*, sendo um fator associado ao tempo de reação dos pedestres para que eles saiam de sua velocidade atual e cheguem na velocidade desejada.

$$a = \frac{(v_0 - v)}{Tau}$$

Conforme indicado na equação acima, reduzindo-se  $Tau$ , eleva-se a aceleração no movimento do pedestre, e consequentemente, a força motriz, diretamente proporcional a ela. Nessas situações verifica-se um aumento nas densidades, o que permite uma melhoria nos tempos de percurso em trechos que apresentam estreitamento.

- **Lambda\_mean**

Representa a anisotropia associada à influência do campo de visão do pedestre sobre as forças sociais, podendo atingir valores de 0 a 1. Com base em  $lambda\_mean$  e em  $\varphi$  (ângulo entre a direção atual do pedestre e a fonte da força), é calculado o fator  $w$  de ponderação das forças.

$$w = \frac{1}{2} \cdot (lambda\_mean + (1 - lambda\_mean) \cdot (1 + \cos\varphi))$$

Se  $\varphi = \pi$ ,  $w = lambda\_mean$ , ou seja, quanto maior  $lambda\_mean$ , maior será a influência das forças sociais fora do campo de visão do pedestre.

- **A\_soc\_isotropic e B\_soc\_isotropic**

São as variáveis empregadas para composição das forças sociais dependentes da direção do movimento.

A variável  $A\_soc\_isotropic$  é uma constante que representa a magnitude admissível da força, e a variável  $B\_soc\_isotropic$  é uma constante que

representa o raio de alcance da força, nesse caso, tem uma correspondência com o raio do corpo do pedestre

- **A\_soc\_mean e B\_soc\_mean**

São as variáveis empregadas para composição das forças sociais dependentes da interação entre fluxos de pedestres.

A variável *A\_soc\_mean* é uma constante que representa a magnitude admissível da força, e a variável *B\_soc\_mean* é uma constante que representa o raio de alcance da força.

- **VD**

É o tempo que a pessoa observada leva para dar um passo. Corresponde ao  $\Delta t$  do modelo de forças sociais.

O aumento de *VD* provoca o adiantamento dos desvios entre pedestres em rotas conflitantes durante o percurso, ao provocar um aumento da largura do passo e, conseqüentemente, reduzir a distância prevista entre eles.

- **Noise**

É um fator de ponderação das forças de flutuação.

Empregado em casos de ocorrência de velocidade inferior à desejada por período de tempo estendido. Quanto maior esse fator, maior a força de flutuação, a qual permite eliminar a condição de estagnação da estabilização de fluxo em caso de estreitamento de trechos.

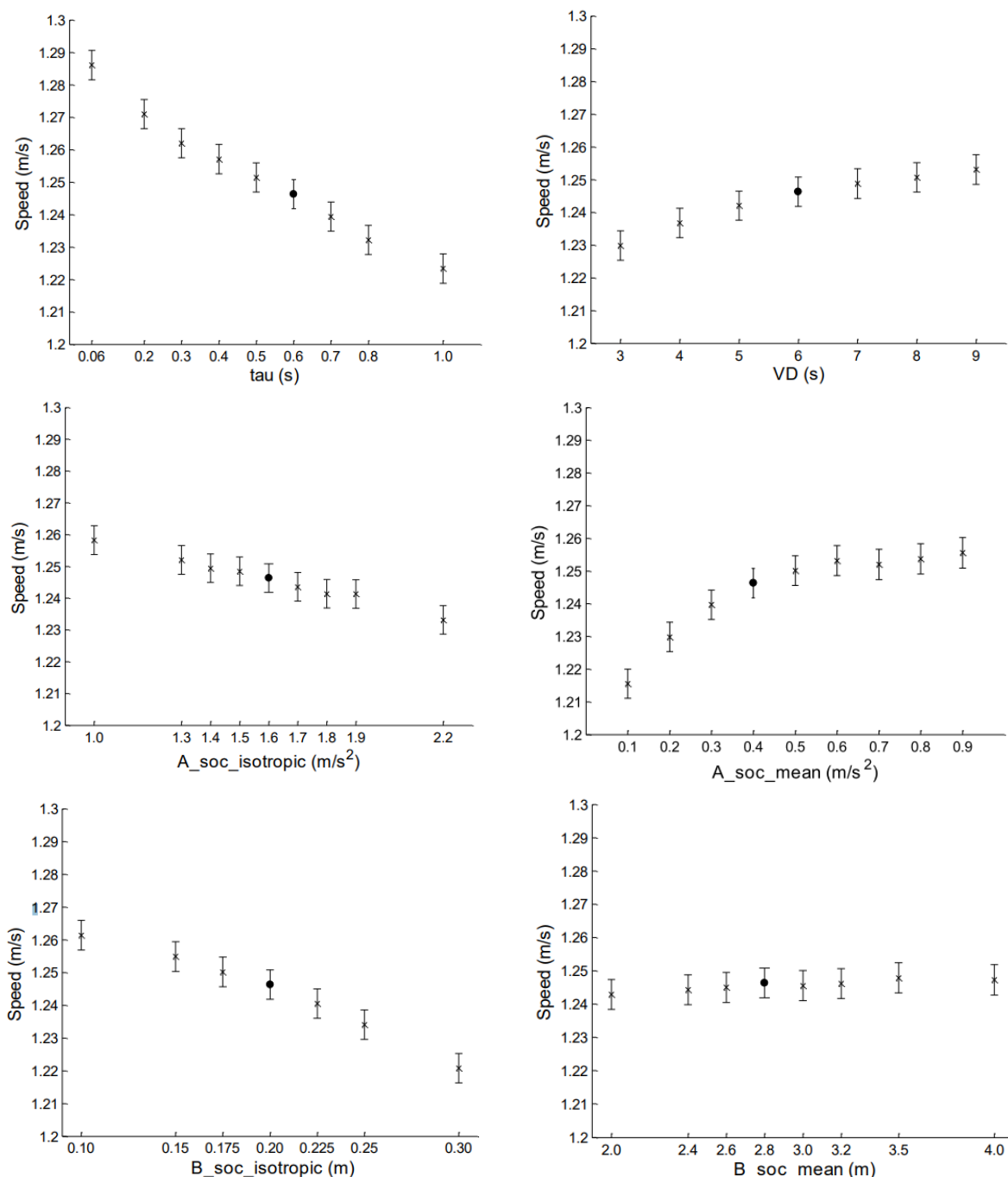
#### 6.3.4 Outras variáveis

- **React\_to\_n**: número de pedestres mais próximos cuja influência será levada em consideração nos cálculos
- **Queue\_order** e **queue\_straightness**: associados ao formato da fila. São aceitos valores entre 0 e 1 e quanto maior o valor, mais organizada é a fila.
- **Side\_preference**: define o lado preferencial tomado pelo pedestre no caso de fluxos em sentidos opostos. O valor 1 refere-se à preferência pelo lado esquerdo, -1 à preferência pelo lado direito, e 0 indica que não há preferência.

#### 6.3.5 Estudos de sensibilidade

Lagervall e Samuelsson (2014), realizaram estudos de sensibilidade de algumas das variáveis apresentadas acima em ambientes de estação. Os resultados por eles obtidos são apresentados nos gráficos abaixo, onde o valor padrão adotado no estudo é indicado pelo círculo:





**Figura 6-16 – Gráficos de sensibilidade da velocidade atingida pelos pedestres em função das variáveis de calibração.**

Fonte: Microscopic Simulation of Pedestrian Traffic in a Station Environment: A Study of Actual and Desired Walking Speeds, Lagervall e Samuelsson, 2014

A análise dos gráficos permite concluir, a respeito do comportamento da velocidade desenvolvida pelos pedestres, considerando-se cada uma dessas variáveis:

**$\tau$ :** apresenta alta sensibilidade tanto para valores acima do padrão adotado, quanto para valores abaixo.

**$VD$ :** apresenta média sensibilidade, menos evidente para valores acima do padrão adotado no estudo.

**A\_soc\_isotropic:** apresenta baixa sensibilidade para todos os valores ensaiados, tornando-se um pouco mais evidente nos valores mais distantes do padrão.

**B\_soc\_isotropic:** alta sensibilidade com relação quase linear para valores próximos ou superiores ao padrão, porém, apresenta uma pequena redução da sensibilidade em valores significativamente inferiores ao padrão

**A\_soc\_mean:** alta sensibilidade para valores inferiores ao padrão, porém baixa sensibilidade para valores acima, tendendo a um comportamento constante

**B\_soc\_mean:** baixa sensibilidade para todos os valores ensaiados

### 6.3.6 Resultados

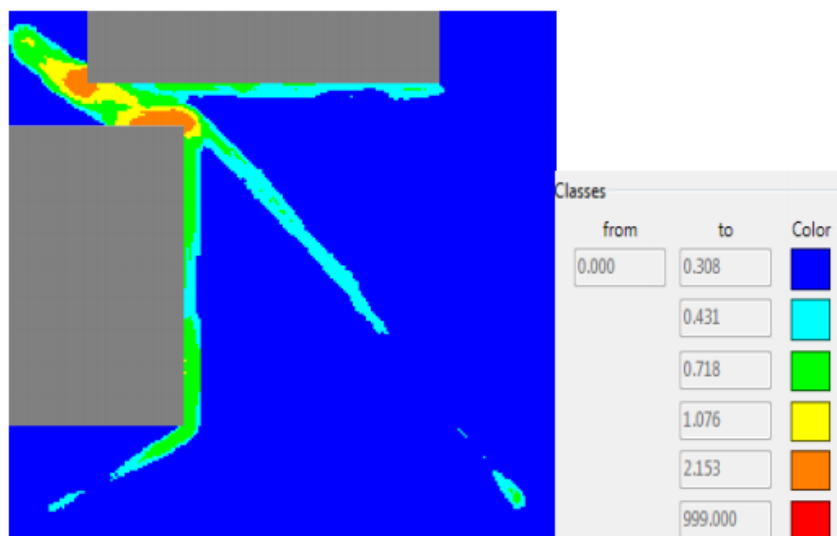
Para que uma análise seja eficaz, uma medida essencial a respeito dos pedestres é o mapa de densidades (Pestell, 2013). Esta medida mostra graficamente a densidade de pedestres em uma região, por exemplo, por escala de cores, que pode estar relacionada a padrões de níveis de serviço, por exemplo o padrão do HCM (*Highway Capacity Manual*). A figura a seguir relaciona todas as possíveis opções de mapas de densidade.

Definition	Measurement	Name
Predefined	Density [ped/m <sup>2</sup> ]	Fruin (walkways, stairways or queuing)
		Weidmann (walkways)
		HBS (walkways or queuing)
		HCM (walkways or queuing)
		Pushkarev-Zupan (walkways)
		Polus (walkways)
		Tanaboriboon-Guyana (walkways)
	Speed [km/h]	Teknomo
User defined	Speed [km/h]	User-defined: Speed
	Density [ped/m <sup>2</sup> ]	User-defined: Density

**Figura 6-17 - Opções de mapas de densidade (Viswalk)**

Fonte: PTV, 2017.

Observa-se que o nível de serviço pode estar atrelado à densidade, velocidade ou ambos.



**Figura 6-18 - Exemplo de mapa de densidades (Viswalk)**

Acima, verificam-se diferentes escalas de cores, onde um nível de serviço A está relacionado à cor azul, enquanto um nível de serviço F está associado à cor vermelha. Os obstáculos estão representados pela cor cinza. No exemplo acima, foi utilizado o padrão desenvolvido por Fruin (1971).

É importante mencionar que diferentes regiões requerem diferentes níveis de serviço, uma vez que os pedestres têm tolerâncias específicas de densidade para cada área (calçadas, escadas, filas, elevadores). Por exemplo, em corredores, espera-se um fluxo livre, portanto um nível F seria inaceitável para esta área e corresponde a uma densidade crítica, com a qual os pedestres necessitam parar frequentemente o seu movimento.

Na visualização 3D, o mapa de densidades também pode ser representado na perspectiva do pedestre, isto é, a partir da vista a partir dos olhos de um pedestre escolhido (PTV, 2017).

Como mencionado, os mapas de densidade são uma medida necessária para a avaliação do fluxo de pedestres. Em conjunto com a visualização 2D (ou 3D) dos pedestres, essas são as duas maneiras mais eficazes de apresentar situações envolvendo pedestres, segundo Pestell (2013).

## 7 ESTUDO DE CASO: MICROSSIMULAÇÃO DE PEDESTRES NA INTEGRAÇÃO ENTRE AS LINHAS 2 – VERDE E 4 – AMARELA NAS ESTAÇÕES CONSOLAÇÃO E PAULISTA DO METRÔ DE SÃO PAULO

Para um melhor entendimento do trabalho, o presente item, referente ao estudo de caso da integração entre as estações Consolação e Paulista, foi dividido em oito tópicos.

O primeiro tópico apresenta um breve histórico das duas estações visando (1) explicar a escolha dessa integração em específico para o estudo de caso desse projeto e (2) entender a formação das estações, os seus pontos positivos e negativos. O segundo tópico foca na coleta de dados realizada pelo grupo e o terceiro, na montagem do cenário atual (2018). O quarto tópico trata da construção da demanda do cenário atual com o novo túnel, o quinto da modelagem dos cenários projetados inicialmente e o sexto dos modelos com demandas futuras de 2019, 2020 e 2025. O sétimo tópico trata das propostas do grupo para a integração. Por fim, o último trata de considerações finais sobre os resultados

### 7.1 Integração entre as estações Paulista e Consolação

As estações Paulista e Consolação localizam-se na Rua Consolação e na Avenida Paulista, respectivamente. O cruzamento desses dois viários é um dos mais antigos e importantes pontos da cidade, concentrando um enorme fluxo de pedestres, carros e ônibus. Esse fluxo deve-se ao histórico da região, que a transformou em uma das mais importantes áreas de São Paulo.



**Figura 7-1: Estação Paulista**

Fonte:

<https://vejasp.abril.com.br/cidades/estacao-linha-amarela-recebe-previa-exposicao-ims/>



**Figura 7-2: Estação Consolação**

Fonte: <http://www.metro.sp.gov.br/sua-viagem/linha-4-amarela/estacao-paulista.aspx>



**Figura 7-3: Integração entre as estações Paulista e Consolação**  
Fonte: Os Autores, 2018

Até o início do século XX, a Avenida Paulista era composta por antigos casarões de cafeicultores. Entretanto, a região passou por uma grande mudança no uso e ocupação do solo a partir da virada do século, quando as antigas casas deram lugar às residências de imigrantes envolvidos na indústria e no comércio; essa mudança estimulou as iniciativas do poder público na região, abrindo as primeiras linhas de bondes, asfaltando seu sistema viário e realizando a reforma do atual Parque Trianon. (GIANOTTO, 2016).

Essas mudanças foram seguidas pelo Plano de Avenidas de Prestes Maia, que em 1930 integrou a Rua da Consolação à Avenida Rebouças, conformando um dos principais eixos de ligação entre o centro da cidade e as marginais. (SOARES, 2015)

Essa integração estimulou ainda mais a região que, entre as décadas de 1950 e 1960, passou pelo processo de verticalização dos edifícios residenciais e pela ampliação do acesso de carros e ônibus com a duplicação da Rua da Consolação, acompanhado de aumento de fluxo de veículos, e pela instalação dos edifícios corporativos no eixo da Avenida Paulista. (TOLEDO, apud SOARES, 2015, p. 66)

Em 1970, a Avenida Paulista já se estabelecia como uma nova centralidade em São Paulo, sendo reconhecida até hoje como um dos mais importantes centros de negócios da cidade juntamente com o Centro Histórico e o Vetor Sudoeste.

Segundo o levantamento de 2012 do Ministério do Trabalho e Emprego (s.d., n.p., apud BESSA, 2014, p. 12), todas as subprefeituras adjacentes à Avenida Paulista (Consolação, Bela Vista e Jardim Paulista), estão entre as 10 subprefeituras com maior participação na geração de empregos formais, somando mais de 380mil empregos, o que corresponde a cerca de 16% do total da cidade de São Paulo.

**Tabela 7-1: Vinte distritos mais bem classificados no ranking do emprego formal em São Paulo**

Ranking	2000	2012
1	Itaim Bibi	Itaim Bibi
2	Jardim Paulista	Vila Mariana
3	Santo Amaro	Santo Amaro
4	Vila Mariana	República
5	Sé	Jardim Paulista
6	Pinheiros	Pinheiros
7	República	Bela Vista
8	Lapa	Lapa
9	Moema	Consolação
10	Bela Vista	Barra Funda
11	Santa Cecília	Sé
12	Consolação	Jabaquara
13	Jabaquara	Moema
14	Barra Funda	Santana
15	Campo Belo	Saúde
16	Ipiranga	Campo Grande
17	Campo Grande	Campo Belo
18	Bom Retiro	Santa Cecília
19	Saúde	Tatuapé
20	Mooca	Bom Retiro

Fonte: Ministério do Trabalho e Emprego, *apud* BESSA, 2014.

**Tabela 7-2: Número de empregos e participação, segundo os dez principais distritos do centro corporativo metropolitano do município de São Paulo**

Ranking	2000			2012		
	Distritos	Empregos	Participação (%)	Distritos	Empregos	Participação (%)
1	Itaim Bibi	139.679	10,5	Itaim Bibi	327.633	13,6
2	Jardim Paulista	108.027	8,1	Vila Mariana	184.277	7,7
3	Vila Mariana	81.897	6,2	República	172.971	7,2
4	Sé	80.250	6,0	Jardim Paulista	153.196	6,4
5	Pinheiros	80.184	6,0	Pinheiros	127.771	5,3
6	República	76.757	5,8	Bela Vista	122.387	5,1
7	Lapa	64.122	4,8	Lapa	117.647	4,9
8	Moema	64.075	4,8	Consolação	105.900	4,4
9	Bela Vista	59.079	4,4	Barra Funda	103.109	4,3
10	Santa Cecília	58.888	4,4	Sé	102.695	4,3

Fonte: Ministério do Trabalho e Emprego, *apud* BESSA, 2014.

Uma vez que a região apresenta uma alta oferta de empregos, é natural que se torne um polo gerador de viagens. Viagens por motivo de trabalho, considerando-se somente o setor de serviço, de acordo com os dados levantados na Pesquisa Origem Destino de 2007, são correspondentes a quase 30% dos deslocamentos realizados na região metropolitana São Paulo.

**Tabela 7-3: Viagens produzidas por motivo**

Viagens Produzidas por Motivo									
	Trabalho Indústria	Trabalho Comércio	Trabalho Serviços	Educação	Compras	Saúde	Lazer	Procurar Emprego	Assuntos Pessoais
Total	2.402.672	3.126.519	11.341.689	13.166.374	1.456.308	1.493.672	1.557.633	117.673	3.431.845
Total	38.094.385								

Fonte: Metrô, 2007.

Para atender à demanda de deslocamentos gerada na região, o sistema público de transporte conta atualmente com corredores de ônibus tanto no eixo formado pela Avenida Rebouças com a Rua da Consolação quanto na própria Avenida Paulista, além de faixas de ônibus que cruzam a própria avenida. Além disso, é atendido por duas linhas de metrô: a Linha 2 – Verde e a Linha 4- Amarela. A integração entre

essas linhas, ponto de interesse desse trabalho, é feita entre as estações Paulista, da Linha 4, e Consolação, da Linha 2.

Inaugurada em 1991, a estação Consolação possui 10.270 m<sup>2</sup> de área construída<sup>5</sup> e contabiliza, em média, a entrada de cerca de 145mil passageiros em dias úteis, conforme os dados publicados pelo Metrô para o ano de 2017, levando em consideração tanto as entradas pelas catracas quanto as transferências.

Por sua vez, estação Paulista juntamente com a integração com a Linha 2 – Verde foram abertas ao público em 2010. Atualmente, estima-se que um total de cerca de 155mil passageiros entram na estação em dias úteis.<sup>6</sup>

A partir dos dados fornecidos pela ViaQuatro, estima-se que cerca de 80% dos passageiros contabilizados nessas estações são, na realidade usuários da integração, o que torna evidente a importância dessas estações como pontos intermediários nos deslocamentos existentes entre a região da Paulista, o vetor sudoeste e os demais distritos mais afastados da cidade.

## 7.2 Coleta de dados

### 7.2.1 Dados disponibilizados pela ViaQuatro

Para modelagem do estudo de caso, como citado no item 3.2, foram solicitados dados e também coletados dados em campo. Os dados solicitados à ViaQuatro foram de definição de hora pico, número de pessoas que realizam a integração nos dois sentidos, *headway* dos trens, número de pessoas que desembarcam dos trens, demanda inicialmente projetada, medidas dos túneis, escadas, desníveis, plantas e cortes, estudos de demandas futuras e premissas para sua estimativa, e desenho do túnel projetado.

De todos esses dados solicitados, não foram disponibilizados os de demanda do projeto, número de pessoas que desembarcam dos trens e *headway*. A demanda de projeto pôde ser estimada pelo projeto funcional da linha 4-Amarela. Em relação ao número de pessoas que desembarcam dos trens, a ViaQuatro não possui essa informação, mas é possível estimar esse número a partir do número de passageiros que entram e saem da estação e daqueles que circulam na integração.

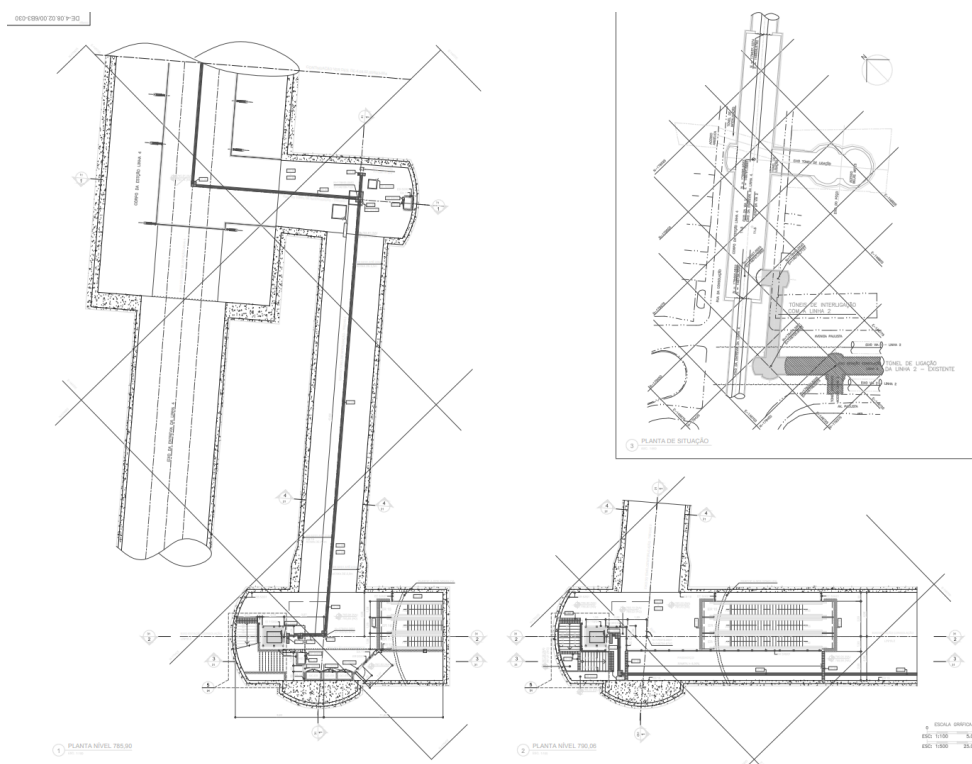
Com relação ao *headway*, esse foi então obtido em campo. Já os desenhos enviados podem ser vistos nas figuras a seguir: plantas dos túneis de integração (Figura 7-4) e das estações Paulista (Figura 7-5), cortes da integração (Figura 7-6) e ainda, o desenho do túnel a ser projetado (Figura 7-7).

---

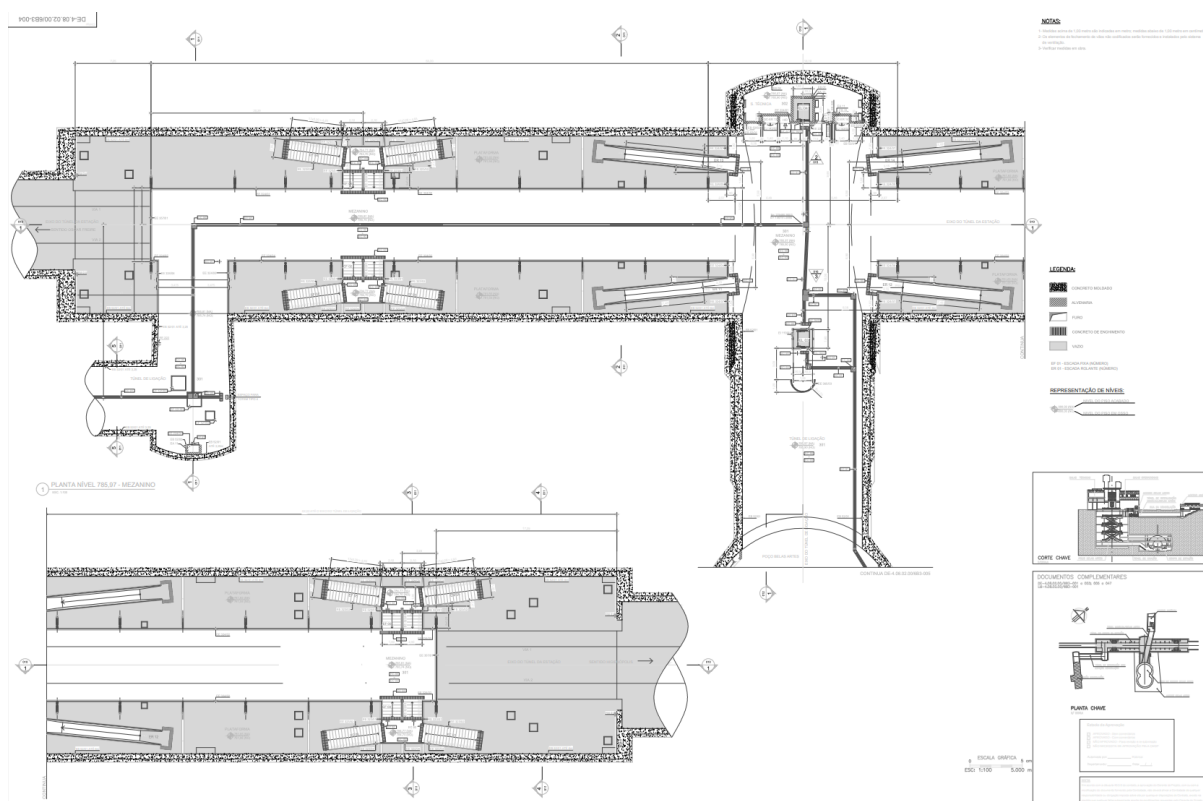
<sup>5</sup> Dados retirados do site oficial do Metrô em 27 de junho de 2018. Disponível em <<http://www.metro.sp.gov.br/>>

<sup>6</sup> Dados fornecidos pela ViaQuatro



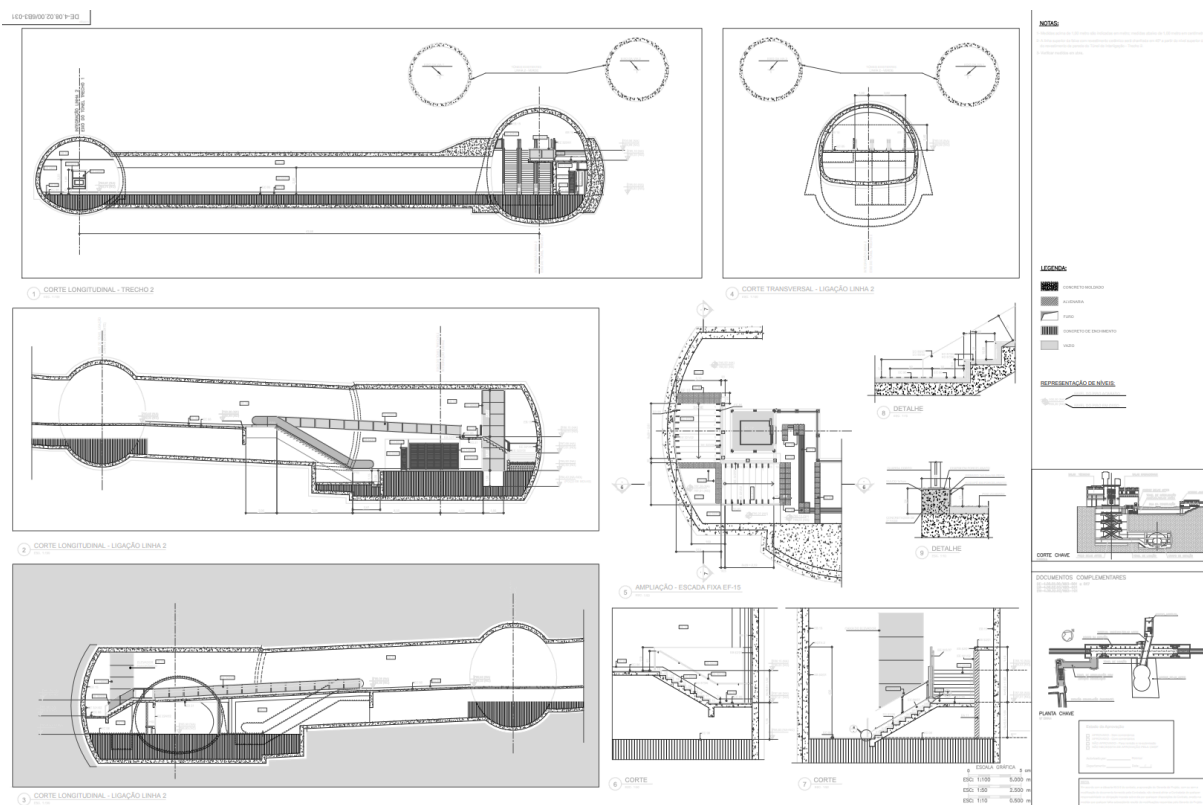


**Figura 7-4: Planta do túnel de integração entre as linhas amarela e verde**

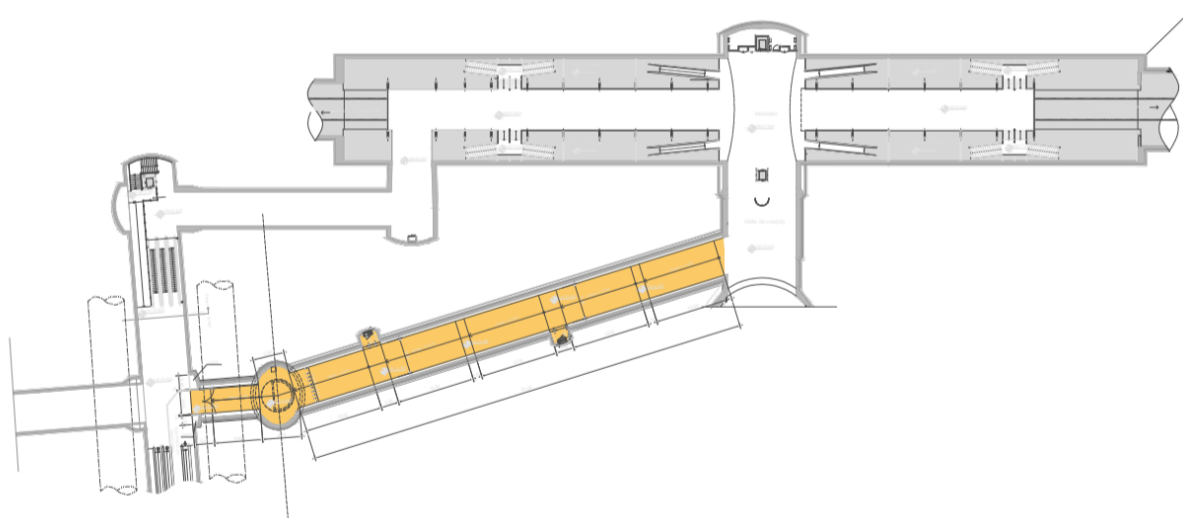


**Figura 7-5: Planta do túnel do corpo da estação Paulista**





**Figura 7-6: Cortes do túnel de integração**



**Figura 7-7: Planta do novo túnel a ser projetado**

Foram fornecidos, ainda, dados de entrada e saída da estação Paulista (Bloqueios) e da integração com a linha verde (Contadores). Estes dados estão presentes na Tabela 8-4 a seguir. Com esses dados, foi possível definir as horas pico manhã, das 8 às 9 horas; e tarde, das 18 às 19 horas. Os volumes horários são, para hora pico manhã, de 9342 passageiros no sentido verde para amarela e 12885 no sentido oposto. Na hora pico tarde, esses valores são de 12632 passageiros no sentido verde para amarela e 10858 no sentido oposto (destacados na Tabela 7-5).

Tabela 7-4: Contadores e bloqueios da estação Paulista

	Estação Paulista			
	Contadores		Bloqueios	
	Entradas	Saídas	Entradas	Saídas
<b>04:40 às 04:59</b>	89	307	73	41
<b>05:00 às 05:59</b>	1.395	3.506	83	769
<b>06:00 às 06:59</b>	4.461	8.533	283	2.051
<b>07:00 às 07:59</b>	9.093	11.910	457	4.727
<b>08:00 às 08:59</b>	9.342	12.885	518	6.858
<b>09:00 às 09:59</b>	6.661	10.087	555	4.209
<b>10:00 às 10:59</b>	4.449	5.758	549	1.879
<b>11:00 às 11:59</b>	4.946	5.182	813	1.283
<b>12:00 às 12:59</b>	5.200	5.719	840	1.254
<b>13:00 às 13:59</b>	5.402	5.696	748	1.380
<b>14:00 às 14:59</b>	5.289	4.503	1.091	1.105
<b>15:00 às 15:59</b>	6.588	4.545	1.614	1.009
<b>16:00 às 16:59</b>	9.795	5.361	2.475	806
<b>17:00 às 17:59</b>	12.431	8.663	4.338	1.016
<b>18:00 às 18:59</b>	12.632	10.858	5.503	2.280
<b>19:00 às 19:59</b>	10.036	8.867	3.172	1.479
<b>20:00 às 20:59</b>	6.401	4.532	1.798	581
<b>21:00 às 21:59</b>	5.048	2.970	1.296	423
<b>22:00 às 22:59</b>	6.458	3.051	1.642	286
<b>23:00 às 23:59</b>	2.458	1.672	539	205

Tabela 7-5: Fluxos das horas pico manhã e tarde da integração

Hora Pico Manhã				Hora Pico Tarde			
Paulista atual Pico Manhã		Destino		Paulista atual Pico Tarde		Destino	
		Linha 4	Linha 2			Linha 4	Linha 2
Origem	Linha 4	-	12.885	Origem	Linha 4	-	10.858
	Linha 2	9.342	-		Linha 2	12.632	-

Por último, a ViaQuatro disponibilizou os dados relativos às demandas projetadas pelo metrô para os anos de 2019, 2020 e 2025, como se pode observar na Tabela 7-6, que mostra uma diminuição considerável nos fluxos. As premissas consideradas para estas estimativas estão presentes na Figura 7-8.

Pode-se observar que em 2019 as demandas diminuem consideravelmente em relação ao volume de passageiros atual. Isto é em razão da previsão da abertura da estação Chácara Klabin da linha lilás, que integra a mesma a linha verde do metrô. Em 2020, espera-se que ocorra a extensão da linha amarela até a estação Vila Sônia, o que gera um aumento de demanda, ainda assim menor que a do cenário atual. Em 2025, espera-se nova diminuição do fluxo de passageiros pois prevê-se a operação da linha laranja, da estação Brasilândia a São Joaquim (integração com a linha azul).

Tabela 7-6: Demandas previstas para a integração em 2019, 2020 e 2025

Hora Pico Manhã				Hora Pico Tarde			
Paulista 2019 Pico Manhã		Destino		Paulista 2019 Pico Tarde		Destino	
		Linha 4	Linha 2			Linha 4	Linha 2
Origem	Linha 4	-	7.086	Origem	Linha 4	-	6.101
	Linha 2	7.284	-		Linha 2	9.957	-

Paulista 2020 Pico Manhã		Destino		Paulista 2020 Pico Tarde		Destino	
		Linha 4	Linha 2			Linha 4	Linha 2
Origem	Linha 4	-	7.253	Origem	Linha 4	-	7.417
	Linha 2	8.885	-		Linha 2	10.247	-

Paulista 2025 Pico Manhã		Destino		Paulista 2025 Pico Tarde		Destino	
		Linha 4	Linha 2			Linha 4	Linha 2
Origem	Linha 4	-	6.599	Origem	Linha 4	-	6.100
	Linha 2	7.221	-		Linha 2	9.413	-

Linha	Trecho	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
L01	(Tucuruvi-Jabaquara)	2,0min, 60.000pax/h																								
L02	(Vila Madalena-Vila Prudente)	2,4min, 51.000pax/h																								
L02	- Extensão Vila Prudente/Penha																									
L02	- Extensão Dutra																									
L03	(Barra Funda-Itaquera)	1,7min, 74.500pax/h																								
L04	(Butantã-Luz)	2,3min, 40.000pax/h																								
L04	- Est. Oscar Freire e Mackenzie																									
L04	- Extensão Morumbi																									
L04	- Extensão Vila Sônia																									
L04	- Extensão Taboão da Serra																									
L05	(Capão Redondo-Adolfo Pinheiros)	3,8min, 29.500pax/h																								
L05	- Extensão Brooklin																									
L05	- Extensão Chac. Kablin																									
L05	- Est. Campo Belo																									
L06	(Brasilândia-São Joaquim)																									
L06	- Extensão Anália Franco																									
L07	(Jundiaí-Luz)	6,0min, 18.500pax/h																								
L08	(Itapevi-Júlio Prestes)	5,0min, 24.000pax/h																								
L08	- Estações Água Branca, Pompéia e Bom Retiro																									
L08b	(Pinheiros - Barueri)																									
L09	(Osasco-Grajaú)	4,0min, 30.000pax/h																								
L09	- Extensão Varginha																									
L09	- Estação João Dias																									
L09	- Estação Pedreira																									
L09b	(Varginha - Água Branca)																									
L10	(Brás-Rio Grande da Serra)	5,0min, 22.500pax/h																								
L11	(Luz-Estudantes)	3,0min, 39.500pax/h																								
L12	(Brás-Calmon Viana)	6,0min, 20.000pax/h																								
L13	(Guarulhos-Eng.º Goulart)																									
L15	(Vila Prudente-Oratório)	6,0min, 10.000pax/h																								
L15	- Extensão São Mateus																									
L17	(Congonhas-Morumbi L9)																									
L18	(Tamanduateí-Djalma Dutra)																									
L19	(Trancredo Neves - Pari)																									

Figura 7-8: Premissas usadas para estimativas de demandas futuras

### 7.2.2 Dados de campo

Inicialmente foram coletados dados nos dias 08/05/2018 (terça-feira), 09/05/2018 (quarta-feira) e 10/05/2018 (quinta-feira). Esses dias foram considerados por serem dias úteis típicos. O horário realizado foi das 17h30 até às 19 horas, intervalo que contém a horário pico estudada.

Nesses dias, com o uso de contadores (Figura 7-9), registrou-se o volume de passageiros que utilizavam a escada rolante e o volume que utilizava a escada normal em contagens de 15 em 15 minutos. A partir do volume crítico somado em 4 intervalos de 15 minutos, que foi nos três dias das 18 até as 19 horas, foi possível obter volumes horários diários para cada tipo de escada. Com os volumes dos três dias faz-se média final. Essa média foi utilizada na microssimulação para alocar porcentagem de rotas mais realistas no software.

Os volumes obtidos para a escada rolante mantiveram-se mais ou menos constantes, pois a velocidade das escadas também é constante. Dessa maneira, a sua operação na hora pico ocorre na maior parte do tempo com os dois lados ocupados e com as pessoas paradas. Esse volume dentro de 15 minutos, manteve-se entre 1665 e 1701 pax. Para a escada, a variação foi um pouco maior, entre 968 e 1068 para 15 minutos. As médias finais estão presentes nas Tabela 7-7 e Tabela 7-8. A porcentagem final alocada no software para escada rolante foi de 62,4% e para escada normal de 37,6%.



Figura 7-9: Contadores utilizados nas medições

Tabela 7-7: Volumes medidos nas escadas

MÉDIA PICO 18 ÀS 19					
	18:00 às 18:15	18:15 às 18:30	18:30 às 18:45	18:45 às 19:00	TOTAL
Escada rolante (pax)	1671	1665	1701	1687	6724
Escada fixa (pax)	968	984	1068	1029	4049
<b>TOTAL</b>	<b>2639</b>	<b>2649</b>	<b>2769</b>	<b>2716</b>	<b>10774</b>

Tabela 7-8: Porcentagens medidas nas escadas

MÉDIA PICO 18 ÀS 19					
	18:00 às 18:15	18:15 às 18:30	18:30 às 18:45	18:45 às 19:00	TOTAL
Escada rolante (%)	63,3%	62,8%	61,4%	62,1%	62,4%
Escada fixa (%)	36,7%	37,2%	38,6%	37,9%	37,6%
<b>TOTAL</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>

Durante os dois dias das contagens (08/05 e 10/05) e em um dia posterior (05/06), o grupo coletou medidas de tempo de viagem, que foram utilizadas para calibração.

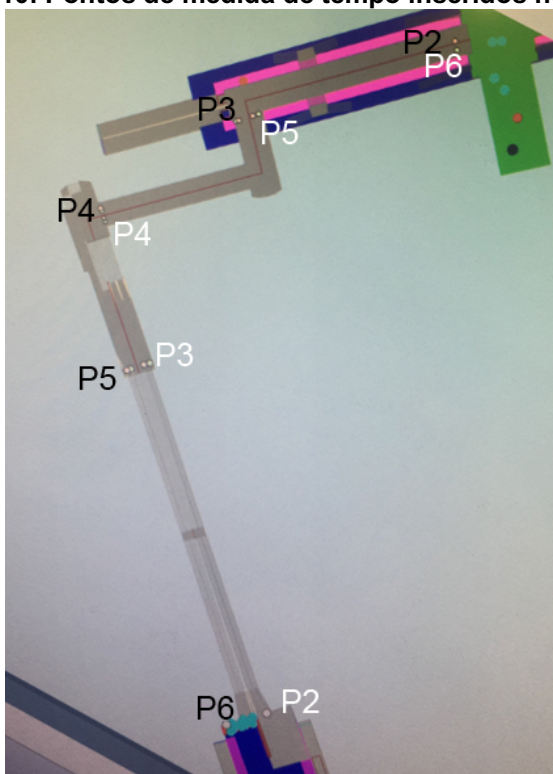
Essas medidas foram coletadas inicialmente no sentido da linha verde para amarela, e a medida inicial foi feita no meio da estação Consolação (P1) e a final no meio da estação Paulista (fim das grades de separação) (P6). As medidas intermediárias foram feitas na entrada do túnel de interligação da linha verde (P2), nas catracas antes do túnel de integração (P3), nas saídas das escadas rolantes (P4) e na saída do tubo de integração para linha amarela (P5).

Depois, foi realizado percurso para o sentido oposto. Sendo a medida inicial no meio da plataforma de embarque da estação Butantã (P1) e a final na saída do túnel de integração da linha verde (P6). As medidas intermediárias foram coletadas no início das grades de separação da estação Paulista (P2), na entrada do túnel de integração (P3), no final da escada rolante (P4) e nas catracas (P5). Na Tabela 7-9 a seguir estão a média dos tempos utilizados dos três dias coletados.

Tabela 7-9: Média dos tempos de viagens medidos no percurso

Linha Verde > Linha Amarela		
Percurso	Tempo de percurso	Tempo (s)
P2-P3	01:36.4	96
P3-P4	00:24.5	25
P4-P5	00:54.5	55
P5-P6	00:52.2	52
Linha Amarela > Linha Verde		
Percurso	Tempo de percurso	Tempo (s)
P2-P3	01:01.7	62
P3-P4	01:05.6	66
P4-P5	00:33.1	33
P5-P6	01:29.5	90

Figura 7-10: Pontos de medida de tempo inseridos no software



Outra medida coletada em campo no dia (05/06) foi do *headway*. Verificou-se que para hora pico tarde, como observado na Figura 7-11, os trens da linha amarela circulam com *headway* aproximado de 1 minuto e 30 segundos. Esse dado foi utilizado para inserção do intervalo entre trens no software.



Figura 7-11: Headway medido

### 7.3 Modelagem do cenário atual

A partir dos dados coletados e medidos, foi possível iniciar o processo de construção da rede no software Vissim. O grupo optou por realizar a simulação somente para o período pico tarde. Foi tomada essa decisão porque, como se pode observar na Tabela 7-5 na soma dos volumes gerais, o pico da tarde é o mais crítico.



São 23490 passageiros somados para os dois sentidos no pico tarde e 22227 no pico manhã. Além disso, tanto no período da tarde como no período da manhã as filas piores se formam no corredor do sentido da linha amarela para verde (as filas da linha verde não se formam dentro da integração, mas na plataforma de embarque). Logo, optou-se por simular somente o período da tarde e, portanto, foram utilizados somente os dados das 18 às 19 horas.

### 7.3.1 Arquitetura da integração

O primeiro passo da modelagem foi a colocação das plantas mostradas anteriormente como fundo no software. Assim, foi possível realizar todo o desenho da modelagem por cima dessas imagens.

Foram modeladas todas as áreas de integração que vão da plataforma da linha amarela até a plataforma da linha verde. As “*Pedestrian Areas*”, áreas que os pedestres podem transitar, foram modeladas respeitando-se o sentido do fluxo da linha verde para amarela e vice-versa. Além disso, os desníveis reais também foram observados.

Todas as escadas do trecho mencionado foram modeladas. Entre elas estão a escada fixa e as três escadas rolantes, sendo duas de sentido de verde para amarela e uma no sentido oposto, que ligam o túnel de integração até o nível da estação da linha verde. As esteiras que dão acesso à linha verde e à amarela também foram modeladas no software. A Figura 7-12 permite visualizar a construção do modelo e em destaque as escadas da plataforma da linha amarela, que também foram modeladas.

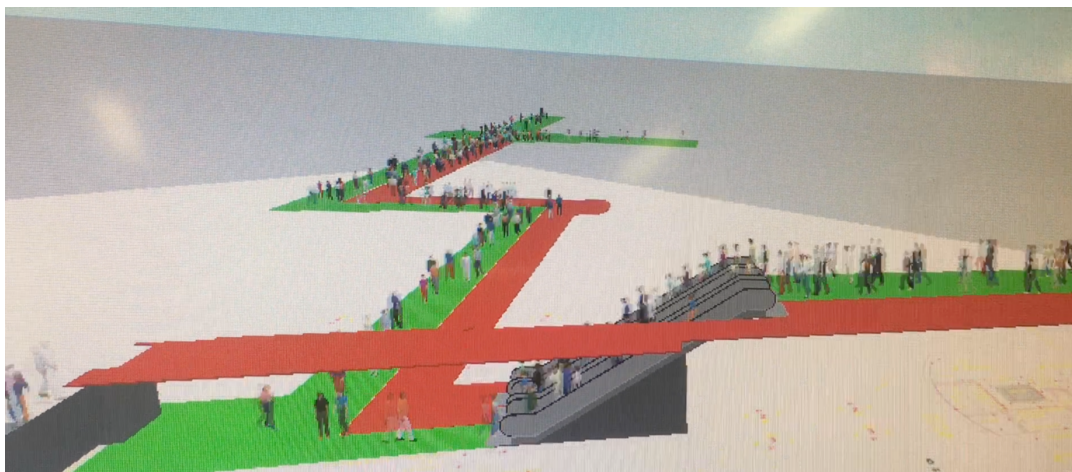


Figura 7-12: Modelagem no Vissim sendo construída

### 7.3.2 Inserção das linhas de metrô

A partir da construção dessa área, também foram inseridas duas vias para circulação dos trens. Um deles de sentido Butantã e o outro de sentido Luz. A inserção dos trens foi feita criando-se nova classe de veículo “Metrô”, pois, o software não possuía essa classe pré-estabelecida.

Essa operação foi realizada criando-se um novo objeto 2D/3D Model chamado de Metrô. Esse objeto possui as características de um trem adaptado de forma a representar o Metrô de São Paulo. Foram adotados seis vagões dispostos como na

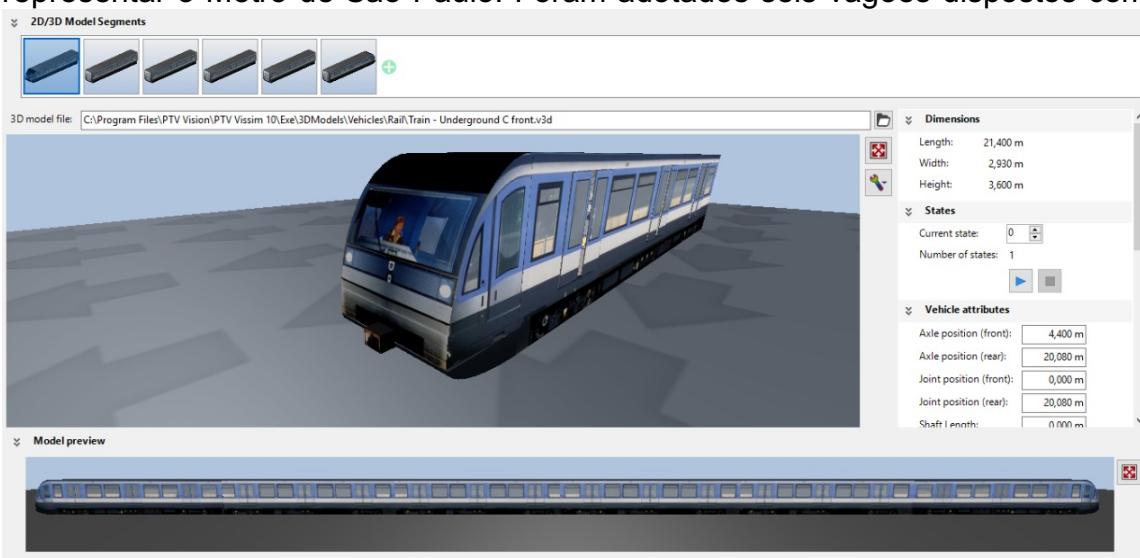


Figura 7-13. Esse objeto foi então transformado como um veículo-tipo na categoria trem e adicionado em uma nova classe de veículos denominada Metrô.

Com essa classe de veículo, foi possível criar uma linha de transporte público do Metrô, adotando uma velocidade de 50km/h e um *headway* de 90 segundos. A partir desse *headway*, definiu-se que o número de veículos passando em uma hora na estação é de 40 trens por sentido.

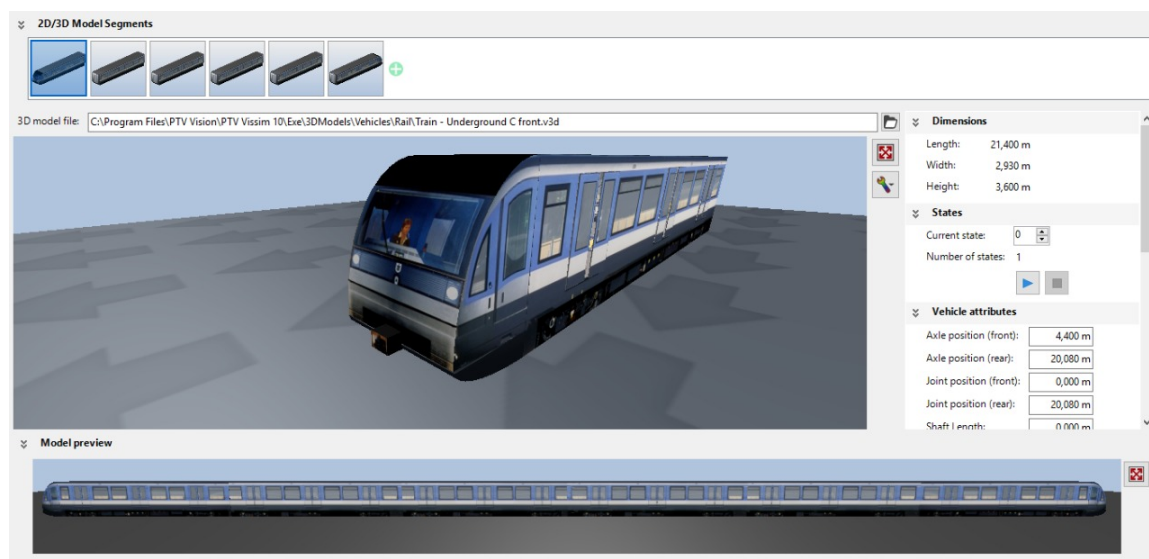


Figura 7-13 Adaptação do objeto 2D/3D model - Metrô



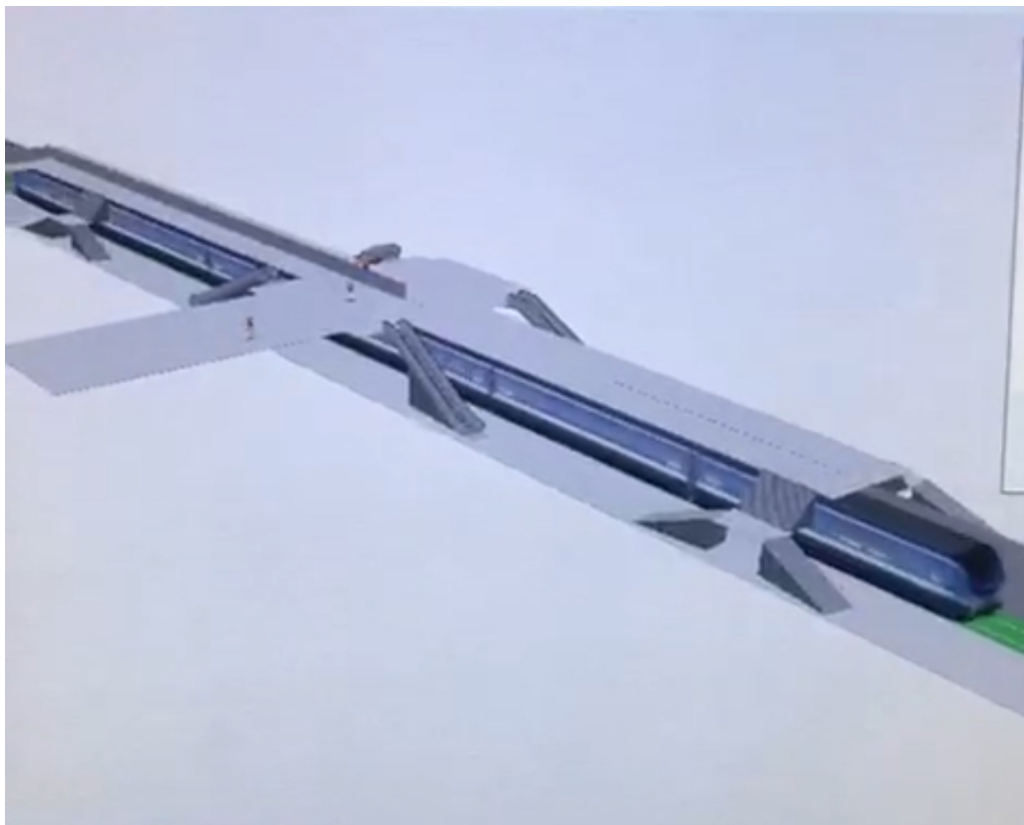


Figura 7-14: Representação da passagem do trem na plataforma da linha amarela

### 7.3.3 Inserção de fluxos e rotas

A inserção do fluxo de passageiros nos trens foi feita com base nos dados coletados e medidos. Primeiramente, utilizou-se o dado total de integração com origem na linha amarela, de 10858 passageiros. Desse fluxo, excluiu-se dos trens 10% do fluxo de entrada na estação. Essa porcentagem foi verificada visualmente durante as visitas de campo.

Assim, foi considerado que 550 passageiros não vieram dos trens da linha amarela e sim, pela entrada na estação Paulista. Portanto, foi considerado um *input* (inserção de fluxo de passageiros) de 550 passageiros da entrada da estação. Os demais, 10308 passageiros, foram considerados oriundos dos trens. Outra consideração realizada pelo grupo foi de que, dentre os passageiros que vem dos trens, 50% vem de sentido Butantã e 50% sentido Luz.

Dado o *headway*, e considerando-se o período de análise de uma hora, obtiveram-se 40 trens por sentido. Dividindo-se o fluxo de 5154 passageiros pelo número de trens, obtivemos aproximadamente 129 passageiros por veículo.

Para a linha verde, como não foram obtidos dados de entrada na estação Consolação na hora pico, apenas a média do dia, assumiu-se que dos 12632 passageiros que realizam a integração, 10% entram pela estação, sendo o restante vindo dos trens. Portanto, 1263 passageiros foram considerados como o *input* de entrada na estação Consolação. Os demais 11369 passageiros (90%), foram considerados saindo dos trens. Novamente, foi considerado um *headway* de 90 segundos, com 50% dos

usuários vindo do sentido Vila Madalena e 50% do sentido Vila Prudente. Logo, pelo mesmo raciocínio efetuado para linha amarela, foram considerados aproximadamente 5684 passageiros por sentido, com 142 por veículo.

**Tabela 7-10: Inputs – Cenário Atual**

Input - Cenário atual		
Amarela → Verde	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	129
	Pax/plataforma	550
	Verde → Amarela	
	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	142
	Pax/plataforma	1263

Com a inserção correta de fluxo de trens e passageiros, definiram-se então as rotas dos usuários. Para isso, foi obedecido o critério das medições realizadas na integração, com 62% do fluxo de passageiros passando pelas escadas rolantes, e os demais 38% pela escada fixa. Considerando que também há escadas fixas e rolantes na plataforma da linha amarela, o mesmo critério foi atendido. Ou seja, 38% utilizam as duas escadas fixas da plataforma e 62% utilizam a escada rolante. Além disso, foi considerado que o fluxo nas esteiras era semelhante, podendo ser dividido em 50% para cada esteira. Realizando a composição de rotas, elas resultam na Tabela 7-11: Rotas inseridas no software para o cenário atual Tabela 7-11 a seguir. Na imagem a seguir é possível identificar os elementos que compõem as rotas.

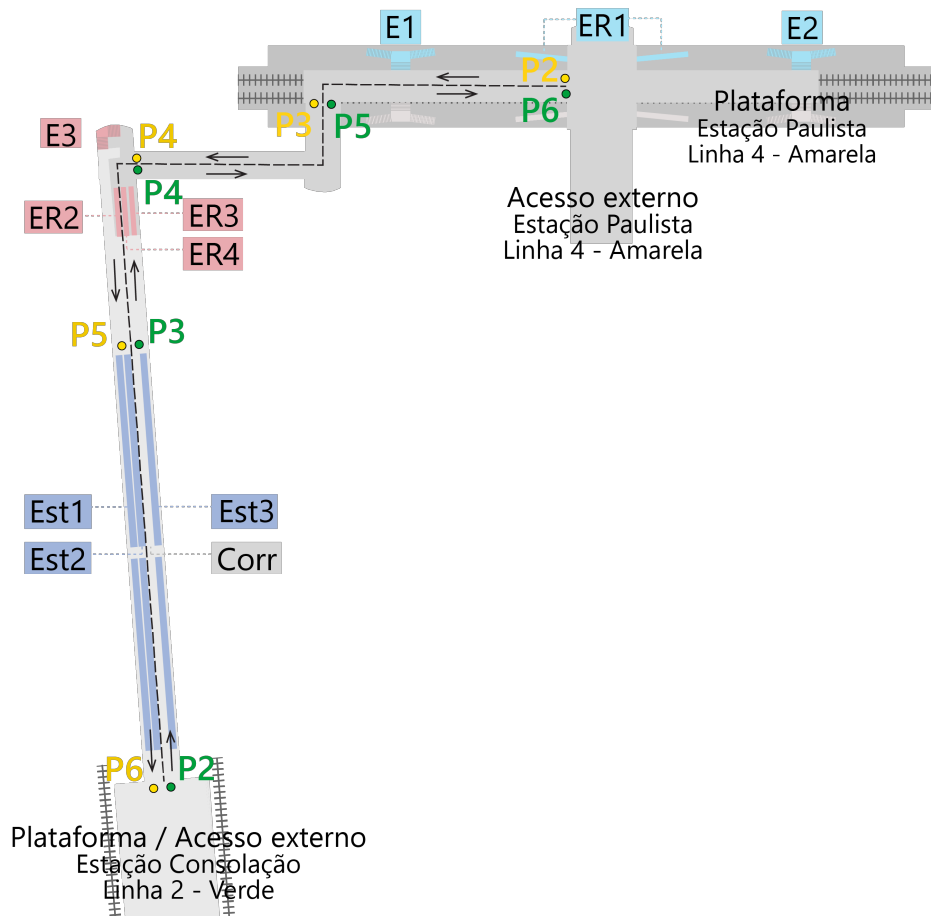


Figura 7-15: Localização de elementos da integração e pontos de leitura de tempo de percurso

Tabela 7-11: Rotas inseridas no software para o cenário atual

Rotas			
Amarela → Verde			
Pedestres vindos da plataforma			
● E1 →	● E3 →	● Est1	3,5%
		● Est2	
	● ER2 →	● Est1	6,0%
		● Est2	
● ER1 →	● E3 →	● Est1	12,0%
		● Est2	
	● ER2 →	● Est1	19,0%
		● Est2	
● E2 →	● E3 →	● Est1	3,5%
		● Est2	
	● ER2 →	● Est1	6,0%
		● Est2	
Pedestres vindos do Acesso externo			
-	● E3 →	● Est1	19,0%
		● Est2	
	● ER2 →	● Est1	31,0%
		● Est2	
Verde → Amarela			

Pedestres vindos da plataforma		
● Est3 ➡	● ER3 ➡	25,0%
	● ER4 ➡	
● Corr ➡	● ER3 ➡	25,0%
	● ER4 ➡	
Pedestres vindos do Acesso externo		
● Est3 ➡	● ER3 ➡	25,0%
	● ER4 ➡	
● Corr ➡	● ER3 ➡	25,0%
	● ER4 ➡	

O processo de simulação do fluxo inicial já com as rotas feitas pode ser verificado na Figura 8-10 a seguir. A representação dos pedestres é em formato de círculos coloridos.

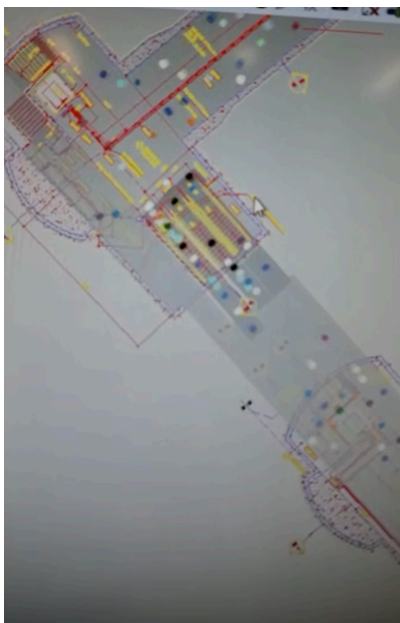


Figura 7-16: Fluxo de pedestres no Vissim em planta

#### 7.3.4 Calibração do modelo

A etapa de calibração consiste no refinamento de determinados atributos de forma a se garantir uma correspondência aceitável entre a situação observada em campo e o que é reproduzido na simulação.

Logo após a construção do modelo 3D da interligação entre as estações Consolação e Paulista, surgiram dois problemas com o fluxo de pedestres, que exigiram, por parte do grupo, um primeiro ajuste do modelo. Os problemas encontrados foram o acúmulo de pedestres nas curvas e nas entradas das esteiras. Esse problema fez com que a simulação fosse prejudicada, pois também gerou gargalos inexistentes que não permitiam o fluxo normal da integração.

O Vissim trabalha com a tendência de o pedestre andar sempre pelo caminho mais curto. Dessa maneira, dada a construção de uma *Pedestrian Area* e da inserção de uma rota, os fluxos de pedestres sempre irão ocorrer pelo caminho mais curto, independente das demais condições do sistema. Isto gera áreas de conflito como as citadas.

Entretanto, na situação real, apesar das rotas tenderem a ocorrer pelo caminho mais curto, alguns fatores externos podem alterar essa situação como, por exemplo, a alta densidade de pedestres em determinados trechos da rota.

Para resolver esse problema, o grupo optou por ajustar as rotas através da segmentação das áreas *Pedestrian Areas* tal que o caminho mais curto dependesse do ponto de entrada do pedestre na área.

### Fluxo de pedestres nas curvas

Durante a construção 3D do modelo, foi realizada pelo grupo a construção contínua das áreas de curva, como pode ser visto em (a) da Figura 7-17. Entretanto, dada a tendência de realizar o caminho mais curto, *todos* os pedestres tendiam a realizar a rota mais curta, gerando duas situações que diferem da realidade.

A primeira situação é o acúmulo de pessoas nas áreas de conflito. Dada a diretriz do software de os pedestres sempre andarem pelo caminho mais curto, independentemente da situação, houve um aumento da densidade de pessoas e geração de filas, diminuindo suas velocidades. Em alguns momentos, essa velocidade foi tão baixa que, inclusive, impossibilitou completamente a continuidade do fluxo.

A segunda situação, decorrente da primeira, foi a criação de áreas completamente livres, com fluxo quase nulo de pedestres. Essa situação só ocorre na vida real quando o fluxo de pedestres é baixo, permitindo que todos os passageiros optem pelo caminho mais curto. Quando isso não acontece, parte dos pedestres opta pelo caminho mais longo para (1) evitar os demais pedestres e (2) aumentar a velocidade na curva.

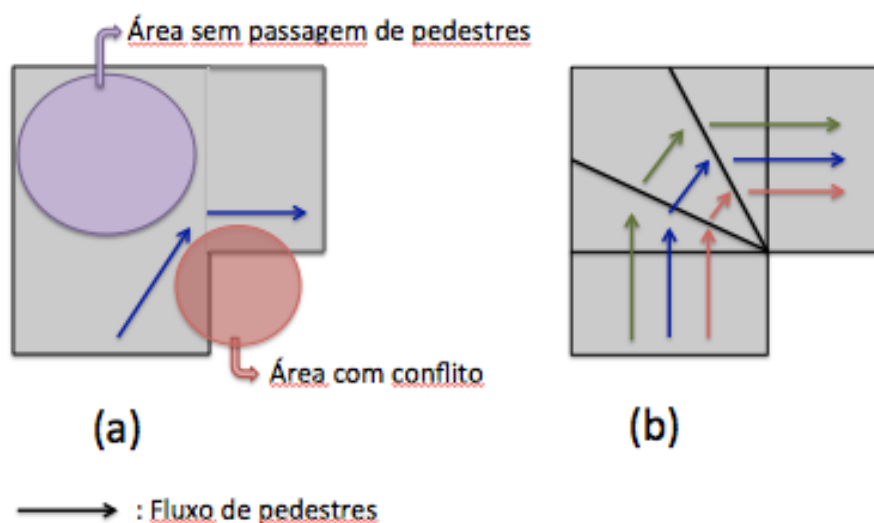
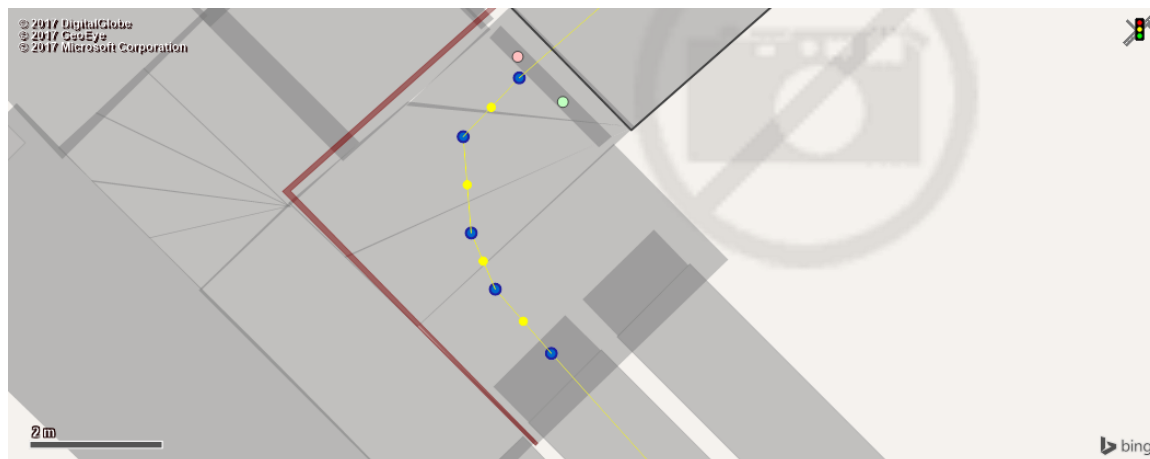


Figura 7-17: Fluxo de Pedestre nas Curvas

Para resolver essa situação, o grupo segmentou a curva em áreas “triangulares” tal que o caminho mais curto dependa do ponto de entrada do passageiro na área. Essa situação está exemplificada em (b) da Figura 7-17.

Em cada uma dessas áreas segmentadas, colocou-se um ponto de obrigatoriedade de passagem por parte do passageiro. A segmentação por si só, sem rotas que obrigam o pedestre a passar pelas áreas, não causa nenhum efeito no modelo.



**Figura 7-18: Exemplo de segmentação das áreas em curva com obrigatoriedade de passagem por parte do passageiro**

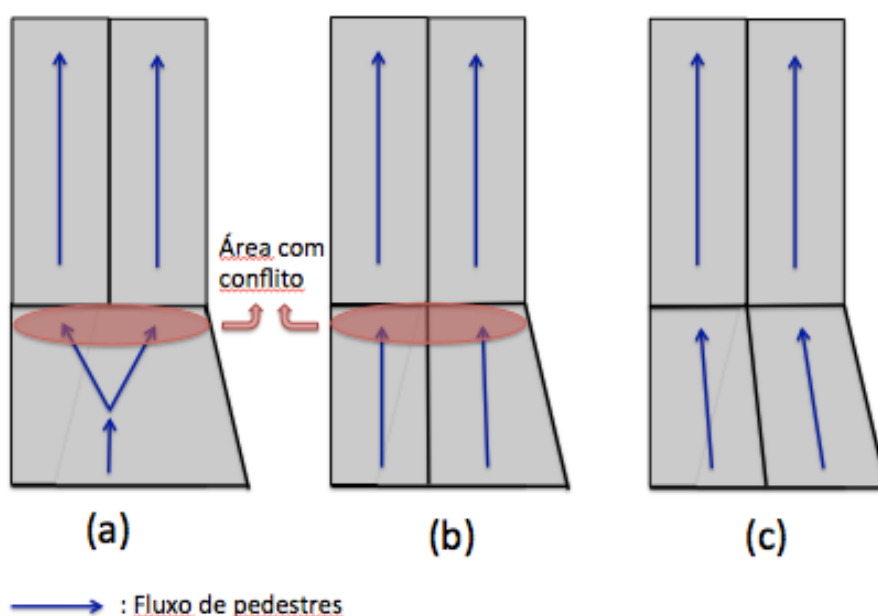
Esse tipo de solução permitiu que ainda haja uma tendência de andar pelo caminho mais curto, uma vez que o pedestre tende a entrar na área triangular pelo caminho interno e não externo da curva, ao mesmo tempo que corrige o problema de circulação de pedestres já que, ao entrar na área, o caminho mais curto se altera, tornando o fluxo mais parecido com o real.

### **Fluxo de pedestres na entrada das esteiras**

Outro problema encontrado pelo grupo foram os fluxos de entrada das esteiras. Nesse caso, o conflito gerado deveu-se ao conflito de escolha de qual esteira utilizar, tal que o caminho do pedestre fosse o mais curto na saída.

De forma semelhante, o grupo optou pela segmentação das áreas de entrada, com obrigatoriedade de passagem pela área, como pode ser visto na Figura 7-19.

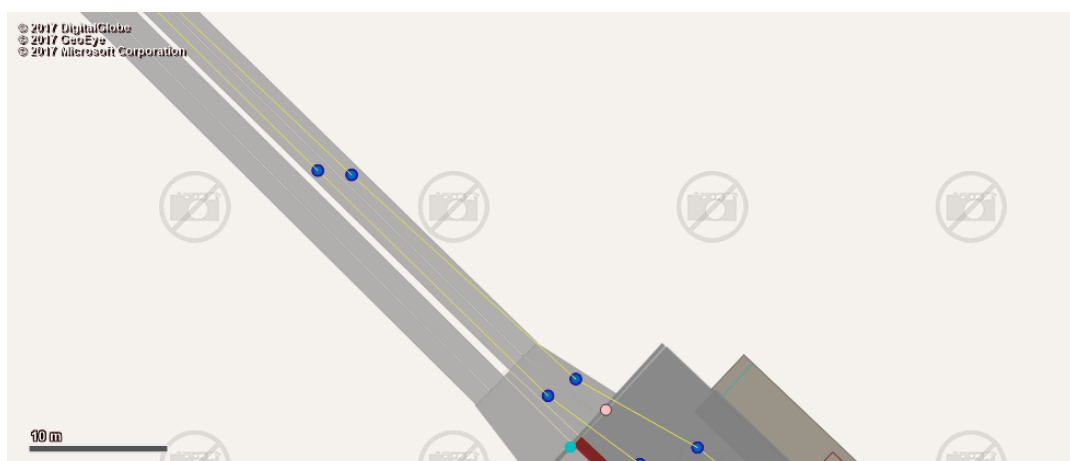
A situação (a) foi a primeira opção do grupo, onde não havia a segmentação das áreas. Nessa situação havia o conflito entre o caminho mais curto realizado pelo pedestre ao entrar na área e ao sair da esteira, gerando uma área de conflito na esteira. Alguns pedestres que entravam a esquerda, por exemplo, optavam pelo caminho a esquerda até a esteira, mas ao chegar no início das esteiras, optavam pela utilização da esteira da direita. Isso ocorreu porque a área não segmentada não direcionou os fluxos de pedestres para uma determinada esteira. Dado que o fluxo não foi direcionado, um bloqueio se formou na estrada das esteiras por aqueles passageiros que tentavam trocar de esteira, mas, dada a alta densidade de pessoas, não conseguiam.



**Figura 7-19: Fluxo de entrada nas esteiras**

Tentando contornar essa situação, o grupo construiu a situação (b). Entretanto, o resultado foi semelhante ao (a), uma vez que a criação de áreas retas tende a criar fluxos retos não direcionados, em que a opção de escolha da esteira continua semelhante ao das áreas não segmentadas.

A opção (c) foi a opção encontrada pelo grupo para resolver o problema, em que uma leve inclinação nas áreas alterou o caminho mais curto do passageiro. Essa inclinação foi conciliada com a segmentação da rota, com 50% dos passageiros para cada lado. Dessa forma, cada área direcionou fluxo por um caminho diferente, já pré-estabelecido pela escolha da esteira nas rotas.



**Figura 7-20: Exemplo de segmentação das áreas de entrada na esteira, com obrigatoriedade de passagem pelas áreas**

### Ajuste de parâmetros de calibração

Corrigidos os problemas iniciais de fluxo de pedestres, partiu-se para um segundo processo de calibração. Para isto, foram utilizados como parâmetros de avaliação os tempos de percurso e o número de passageiros coletados em campo e apresentados no item 7.2.

Em relação ao tempo de percurso, optou-se por uma tolerância de 15% do erro entre o tempo medido pelo software e o tempo medido em campo. Logo, o modelo foi considerado calibrado após todos os erros estarem menores ou iguais a 15%. Essa tolerância também foi considerada satisfatória por Martin et al. (2017) para calibração da simulação no Terminal Pinheiros.

Inicialmente, como primeira iteração, a simulação foi executada com os dados Default de *Walking Behavior* fornecidos pelo software. Esses dados e os resultados obtidos nessa simulação estão apresentados nas tabelas e figuras a seguir:

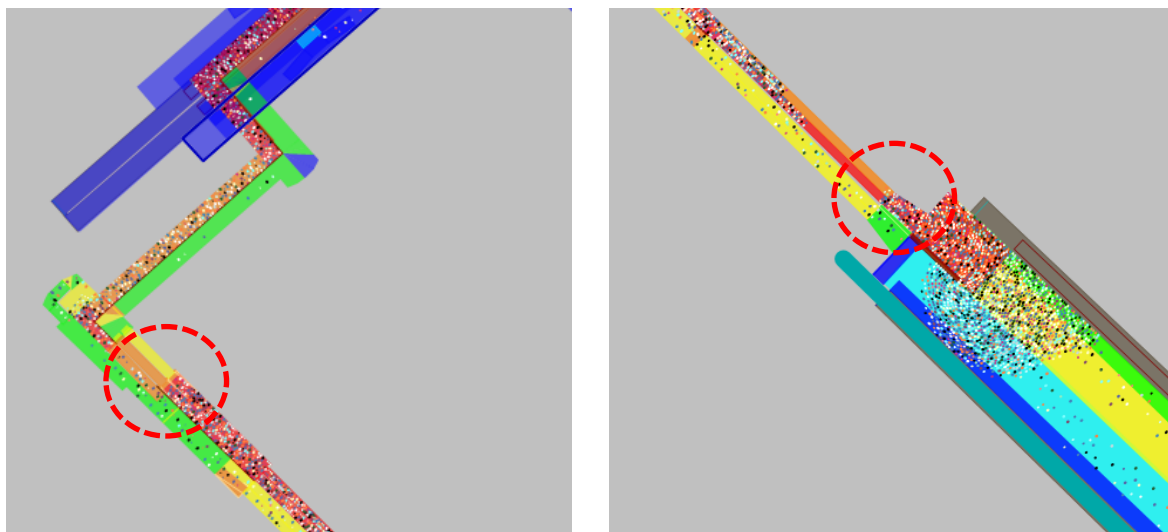
**Tabela 7-12: *Walking Behavior Default***

Tau	ReactToN	ASoclso	BSoclso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	SidePref
0,4	8	2,72	0,2	0,176	0,4	2,8	3	1,2	None

**Tabela 7-13: Tempos de percurso com *walking behavior default***

Tabela P-15: Tempos de percurso com walking behavior default					
Percurso	Tempo de percurso (s)		$\Delta\%$		
	Software	Campo			
Amarela → Verde	P2-P3	150	62	141%	
	P3-P4	95	66	44%	
	P4-P5	53	33	61%	
	P5-P6	90	90	0%	
	Total	388	251	54%	
	Verde → Amarela	P2-P3	249	96	160%
		P3-P4	42	25	70%
P4-P5		61	55	10%	
P5-P6		83	52	59%	
Total		435	228	91%	





**Figura 7-21: Níveis de serviço na integração – Destaque para áreas bloqueadas**

Observa-se nas imagens acima que, mesmo com a utilização dos recursos para direcionamento de pedestres em curvas e entradas de esteiras, o comportamento dos pedestres na simulação não é coerente com a realidade, ocasionando bloqueios nas entradas de esteiras e escadas e, dessa forma, comprometendo os tempos de percurso e níveis de serviço. Isso evidencia a importância da utilização dos dois recursos no processo de calibração do modelo.

Para iniciar o processo de calibração, foram alteradas variáveis mais gerais em virtude da própria experiência em campo, a partir da qual concluiu-se que as decisões para se movimentar no local deveriam incluir maior número de pedestres envolvidos, o que se reflete em maior *ReactToN*. Além disso, dever-se-ia elevar a influência das pessoas que estivessem se movimentando atrás do usuário, a partir de um aumento da variável *Lambda*.

A seguir, a escolha das variáveis a serem refinadas foi pautada no estudo de sensibilidade do comportamento de pedestres em ambiente de estação apresentado por Lagervall e Samuelson (2014), detalhada no tópico 6.3.3, priorizando-se pequenas alterações em parâmetros que mostraram maior impacto sobre as velocidades desenvolvidas pelos pedestres.

Optou-se pela redução de *Tau*, a qual leva a uma aceleração no movimento do pedestre, e consequentemente, a um aumento nas densidades, o que condiz mais com a realidade. Isso foi verificado inclusive visualmente, pois houve uma maior aproximação com o comportamento observado na realidade.

A alteração de valores de outros parâmetros atrelados ao *walking behavior* se mostrou pouco efetiva e, por vezes, levava a comportamentos incompatíveis com a situação real. Dessa forma, foi necessário alterar também parâmetros das escadas rolantes e esteiras.

Nesse aspecto, observou-se uma melhora na calibração com o aumento de velocidade das esteiras e da porcentagem de pessoas que andam nas escadas

rolantes e esteiras. Os valores originais e os valores calibrados estão apresentados abaixo:

**Tabela 7-14: Parâmetros das esteiras**

Esteiras	Default	Calibração
Velocidade	0,50 m/s	<b>0,75 m/s</b>
Pessoas andando	50%	<b>75%</b>

**Tabela 7-15: Parâmetros das escadas rolantes**

Escadas rolantes	Default	Calibração
Velocidade	0,50 m/s	0,50 m/s
Pessoas andando	70%	<b>80%</b>

Foram reavaliadas as variáveis de calibração atreladas ao *walking behavior* de forma a se a garantir erro máximo de 15% ao final da calibração considerando as alterações em esteiras e escadas rolantes anteriormente apresentadas.

Abaixo podem ser verificadas todas as alterações relativas ao *walking behavior* na condição final da calibração. As variáveis que foram modificadas são destacadas em vermelho:

**Tabela 7-16: Comparativo entre parâmetros Default e calibrados**

Variáveis	Conceito associado	Default	Calibração
Tau	Tempo associado à reação dos pedestres	0,4	<b>0,15</b>
ReactToN	Número de pedestres mais próximos cuja influência será levada em consideração nos cálculos	8	<b>10</b>
ASoclso	Magnitude por metro quadrado das forças dependentes da direção do movimento	2,72	<b>3,2</b>
BSoclso	Alcance das forças dependentes da direção do movimento	0,2	0,2
Lambda	Anisotropia associada à influência do campo de visão do pedestre	0,176	<b>0,4</b>
ASocMean	Magnitude por metro quadrado das forças dependentes da velocidade do movimento	0,4	0,4
BSocMean	Alcance das forças dependentes da velocidade do movimento	2,8	2,8
VD	Tempo do pedestre para dar um passo	3	3
Noise	Fator de ponderação das forças de flutuação	1,2	1,2
SidePref	Lado preferencial tomado pelo pedestre no caso de fluxos em sentidos opostos	None	None

Os resultados relativos à simulação calibrada podem ser conferidos nas tabelas abaixo:

As tabelas abaixo resumem os dados de *walking behaviour* e os tempos de percurso nas simulações realizadas com os parâmetros finais da calibração em comparação com os dados de campo:

**Tabela 7-17: *Walking behavior* final calibrado**

Tau	ReactToN	ASocIso	BSocIso	Lambda	ASocMean	BSocMean	VD	Noise	SidePref
0,15	10	3,2	0,2	0,4	0,4	2,8	3	1,2	None

**Tabela 7-18: Tempos de percurso com *walking behavior* final calibrado**

Tabela 7-16: Tempos de percurso com walking behavior final construído				
Percurso	Tempo de percurso (s)		Δ%	
	Software	Campo		
Amarela → Verde	P2-P3	64	62	3%
	P3-P4	56	66	-15%
	P4-P5	37	33	12%
	P5-P6	90	90	0%
	Total	247	251	-2%
	Verde → Amarela	P2-P3	111	96
P3-P4		29	25	14%
P4-P5		63	55	15%
P5-P6		57	52	10%
Total		260	228	14%

Observa-se, a partir dessas tabelas, que a calibração atingiu valores aceitáveis de até 15% nos valores de diferenças absolutas.

### 7.3.5 Resultados

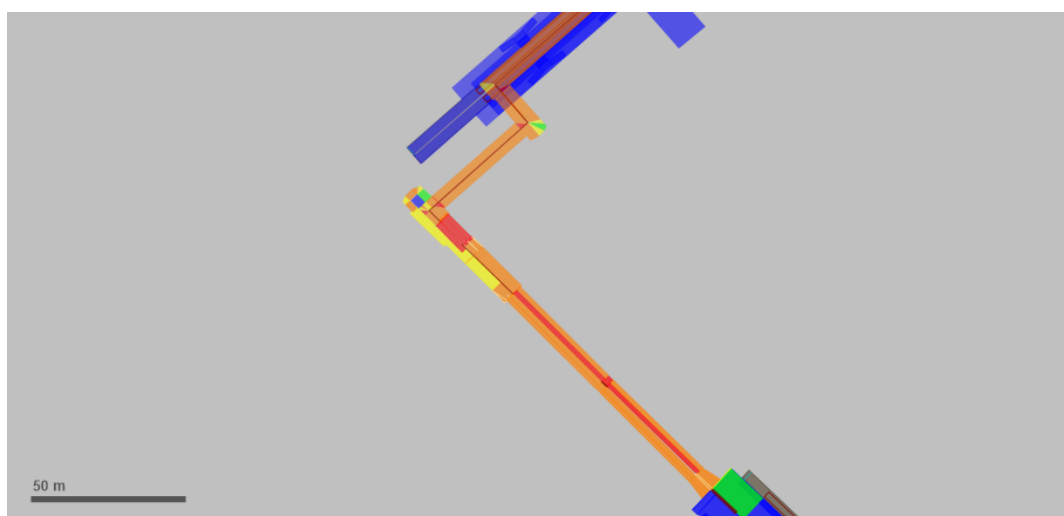
Após o processo de calibração ser concluído, foi possível extrair da rede resultados de nível de serviço. Para isso, foram atribuídas cores às áreas e às escadas e esteiras com base na densidade média de pedestres durante a simulação (ped /m<sup>2</sup>).

Como citado no item 6.3.6, há vários padrões de avaliação do Nível de Serviço: Fruin, Weidmann, HBS, HCM, entre outros. Neste trabalho, optou-se pela utilização do HCM (*walkways*) inclusive para possibilitar a comparação com as Figura 5-6 e Figura 5-7. A legenda para este padrão de avaliação do nível de serviço está representada na figura a seguir. Como se pode observar, são representados os 6 níveis de serviço, sendo azul nível A e vermelho nível F.

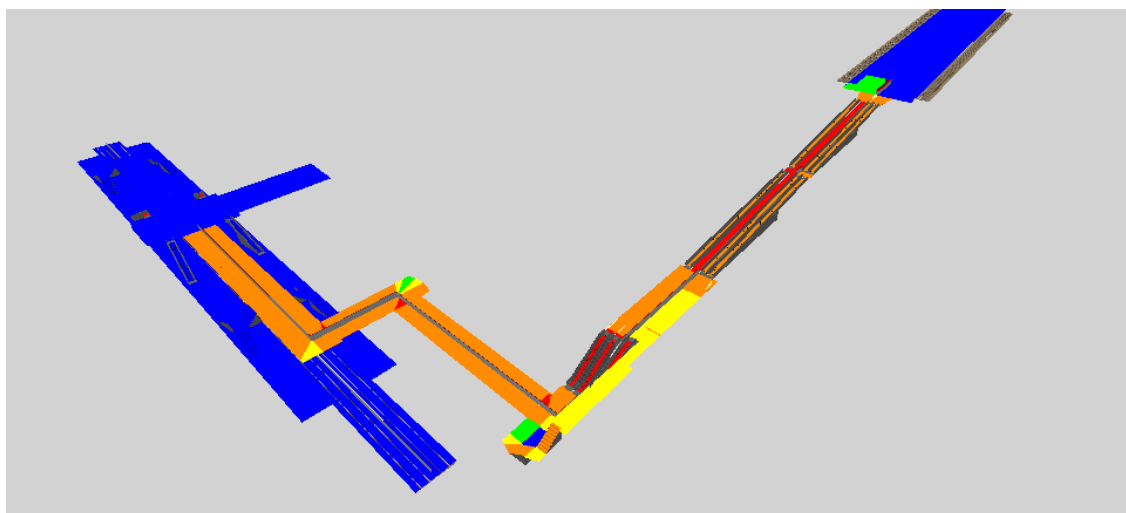
Count: 6	LowerBound	UpperBound	Color
1	MIN	0,179	(255, 0, 0, 255)
2	0,179	0,270	(255, 0, 255, 255)
3	0,270	0,455	(255, 0, 255, 0)
4	0,455	0,714	(255, 255, 255, 0)
5	0,714	1,333	(255, 255, 128, 0)
6	1,333	MAX	(255, 255, 0, 0)

**Figura 7-22: Legenda de atribuição de níveis de serviço para HCM (ped /m<sup>2</sup>)**

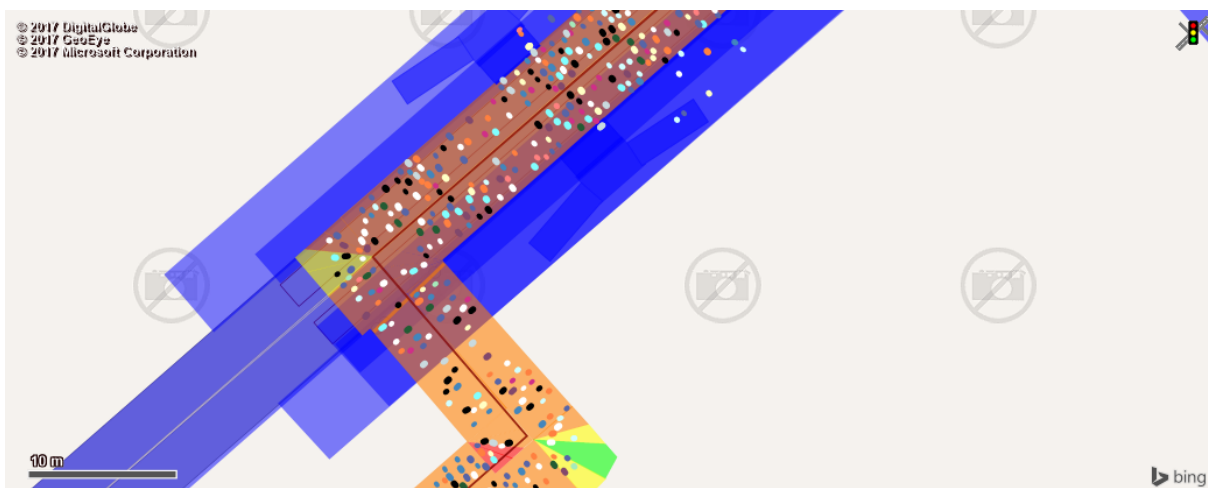
Os resultados obtidos para a rede são apresentados nas figuras a seguir:



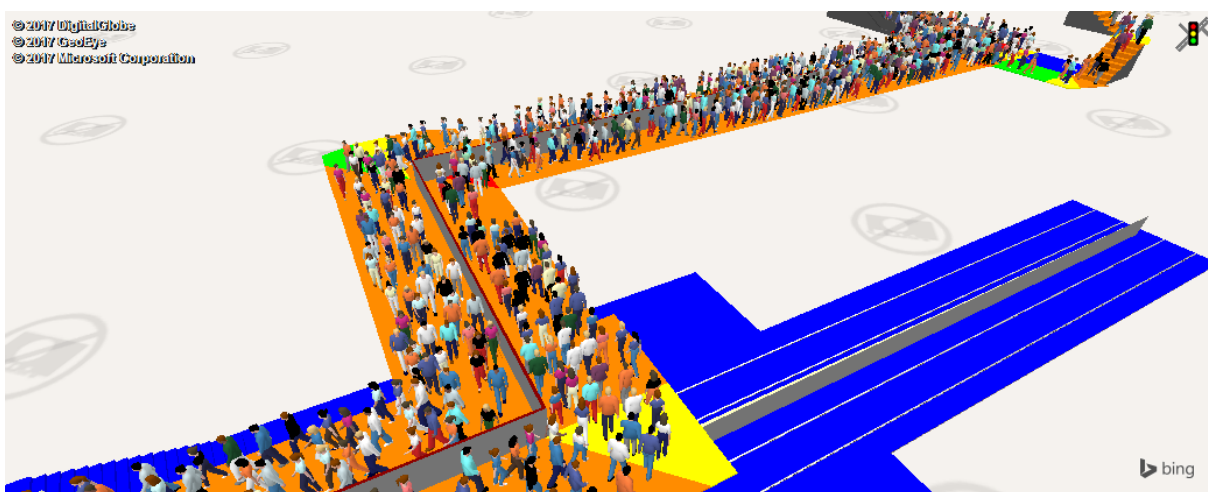
**Figura 7-23: Representação dos níveis de serviço na integração**



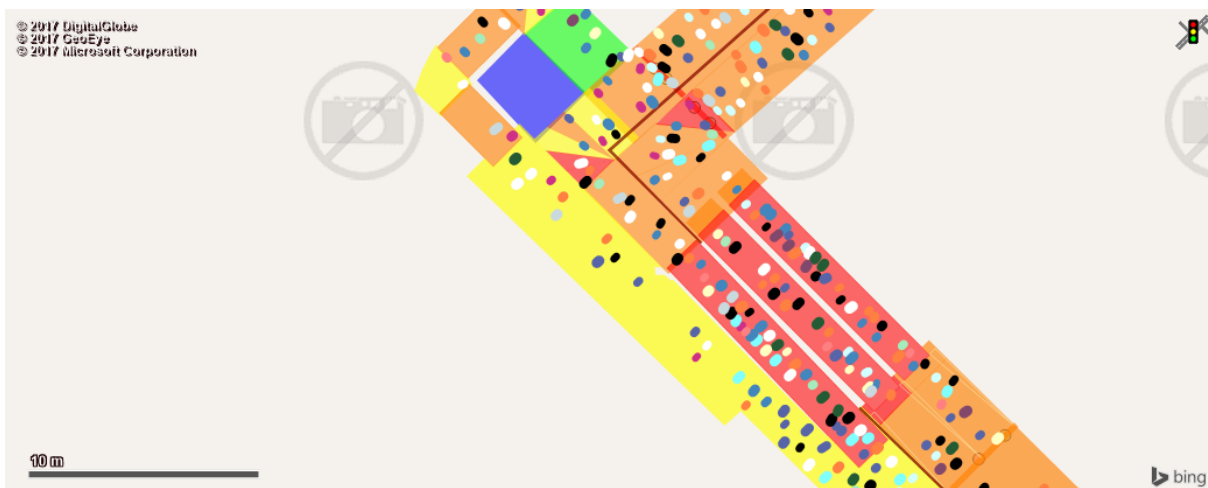
**Figura 7-24: Representação dos níveis de serviço no modelo 3D**



**Figura 7-25: Representação dos níveis de serviço na região da plataforma da linha amarela**



**Figura 7-26: Representação dos níveis de serviço no início do túnel de integração sentido linha amarela para verde**



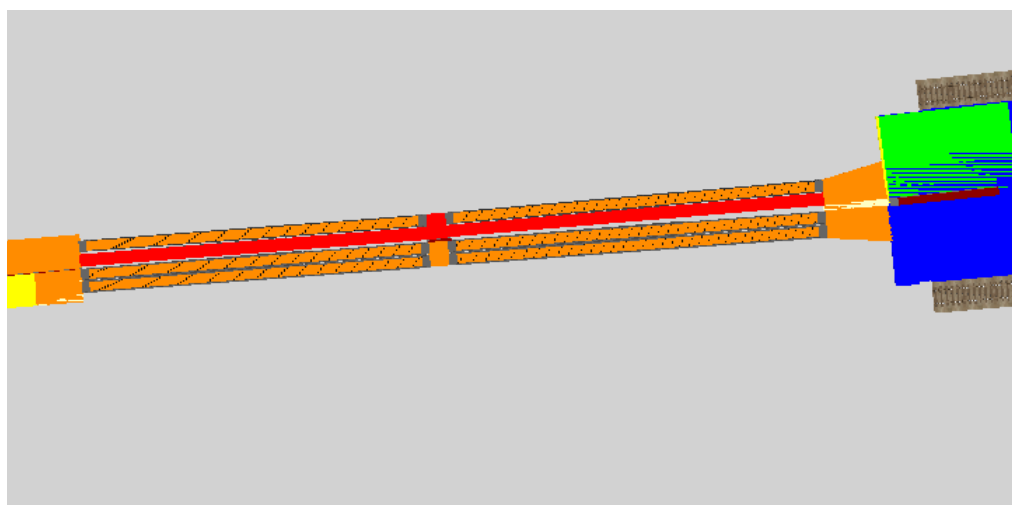
**Figura 7-27: Níveis de serviço das escadas**



**Figura 7-28: Níveis de serviço das escadas no modelo 3D**



**Figura 7-29: Níveis de serviço obtidos nas escadas rolantes**



**Figura 7-30: Níveis de serviço obtidos nas esteiras e plataforma da linha verde**

Como se pode observar nas imagens, foi obtido nível mais crítico (nível F) para a região das escadas rolantes, em alguns cantos do túnel de integração e no corredor

que conecta o sentido Linha Verde – Amarela. Outras regiões críticas (nível E) são as áreas da escada fixa, das esteiras e do corredor de acesso as escadas rolantes, próximo à plataforma amarela. Sendo assim, esses resultados são muito condizentes com a realidade, visto que estas são as regiões de maior dificuldade de deslocamento na hora pico.

## **7.4 Modelagem da demanda atual com o novo túnel de integração**

Após modelagem do cenário atual, foi realizada a modelagem da demanda atual com o novo túnel de integração. O intuito desse cenário foi entender o que aconteceria com a integração caso esse túnel já existisse, ou seja, verificar se sua presença provocaria melhora nos níveis de serviço atuais.

A construção desse novo modelo usou como base a modelagem e a calibração do cenário atual, adaptando o desenho da arquitetura da estação na região do túnel e os sentidos e rotas dos fluxos de pedestres.

### **7.4.1 Arquitetura da integração**

A construção do novo modelo considerou o projeto fornecido pela ViaQuatro.

Esse novo túnel liga a região entre as esteiras e as escadas rolantes à plataforma da linha amarela, como se pode observar na Figura 7-7. Dessa forma, o túnel é “paralelo” a parte do caminho, dividindo o fluxo de pedestres apenas nas regiões entre a plataforma da linha amarela e as escadas rolantes.

A arquitetura do túnel foi realizada seguindo as mesmas considerações do cenário atual, adotando as dimensões de projeto fornecidas.

### **7.4.2 Inserção de fluxos e rotas**

Com a construção do novo túnel de integração, o projeto da ViaQuatro prevê uma alteração nos sentidos dos fluxos de pedestres. Os usuários da Linha Verde que vão para a Linha Amarela fazem a transferência pelas esteiras, realizando o percurso até a plataforma da Linha 4 pelo novo túnel. Já os usuários da Linha Amarela realizarão a transferência pelo caminho atual, com a única diferença que estes usuários poderão utilizar todas as escadas rolantes no sentido Linha Amarela – Linha Verde, ao invés de apenas uma, como ocorre atualmente. Por esse motivo foi necessário adaptar os fluxos e rotas para o novo modelo. Os *inputs* se mantêm os mesmos do cenário atual.

O cenário atual considera nas rotas da Linha Amarela – Linha Verde os dados de campo que indicam uma proporção de 62,4% de passageiros nas escadas rolantes contra 37,8% nas escadas fixas. Com o novo projeto, os usuários que percorrem nesse sentido têm à sua disposição mais duas escadas rolantes – antes usadas pelos passageiros do sentido Linha Verde – Linha Amarela – alterando a proporção de usuários em cada um dos elementos.

Dessa maneira, foi considerado que todas as escadas rolantes apresentam um fluxo de 62,4% e todas as escadas fixas, de 37,8%. Normalizando os dados para obter um fluxo total de 100%, temos que, em cada elemento a porcentagem de passageiros considerada foi de:

Tabela 7-19: Porcentagem de passageiros nos elementos de circulação vertical

Elemento	Porcentagem de passageiros
Escada fixa	16,95%
Escada rolante 1	27,68%
Escada rolante 2	27,68%
Escada rolante 3	27,68%
Total	100,00%

Assim, fazendo as mesmas considerações utilizadas na construção do modelo de cenário atual, foram obtidas as seguintes rotas e suas respectivas porcentagens:

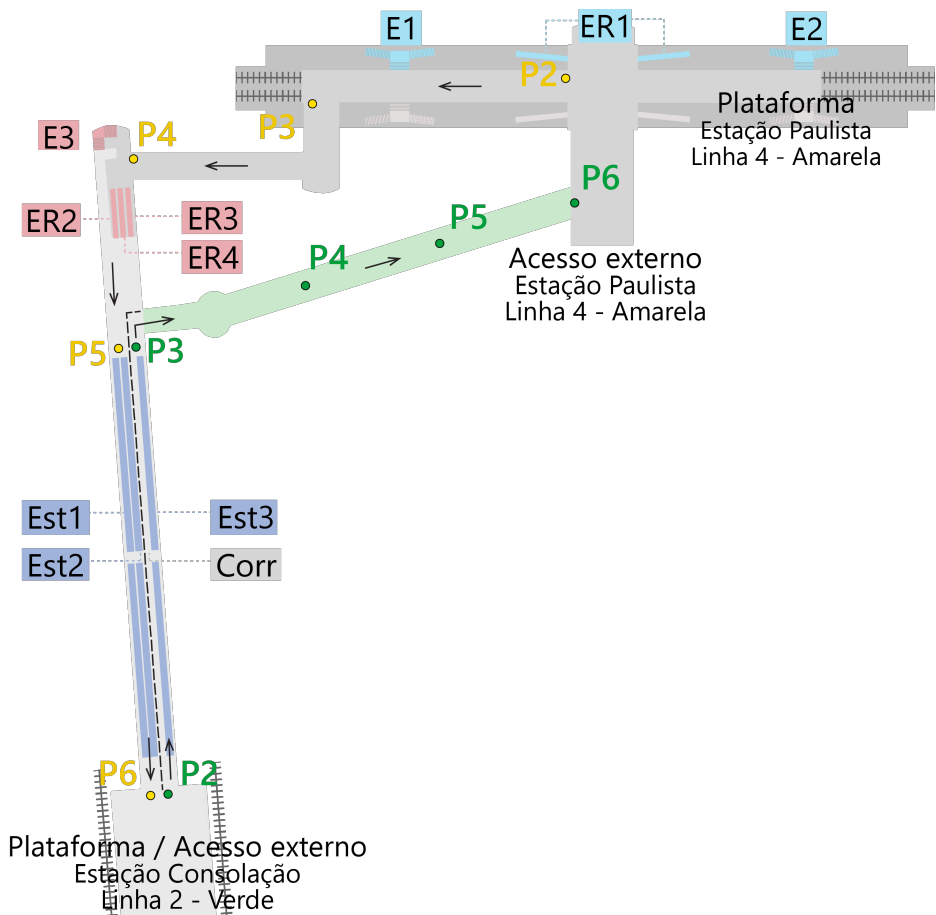


Figura 7-31: Localização de elementos da integração e pontos de leitura de tempo de percurso

Tabela 7-20: Rotas inseridas no software para o cenário atual com o novo túnel

Rotas			
Amarela → Verde			
Pedestres vindos da plataforma			
● E1 →	● E3 →	● Est1	1,6%
		● Est2	
	● ER2 →	● Est1	2,6%
		● Est2	



		ER3 →	Est1	5,2%	
			Est2		
		ER4 →	Est1		
			Est2		
	ER1 →	E3 →	Est1		8,7%
			Est2		
		ER2 →	Est1		
			Est2		
		ER3 →	Est1		
			Est2		
ER4 →		Est1			
		Est2			
E2 →	E3 →	Est1	2,6%		
		Est2			
	ER2 →	Est1			
		Est2			
	ER3 →	Est1			
		Est2			
	ER4 →	Est1			
		Est2			
Pedestres vindos do Acesso externo					
-	E3 →	Est1	13,9%		
		Est2			
	ER2 →	Est1			
		Est2			
	ER3 →	Est1			
		Est2			
	ER4 →	Est1			
		Est2			
Verde → Amarela					
Pedestres vindos da plataforma					
Est3 →	Túnel		50,0%		
Corr →	Túnel		50,0%		
Pedestres vindos do Acesso externo					
Est3 →	Túnel		50,0%		
Corr →	Túnel		50,0%		

### 7.4.3 Resultados

A seguir, são apresentados os resultados de nível de serviço e tempos de percurso comparando-se os cenários de demanda atual, com e sem a presença do novo túnel de integração.

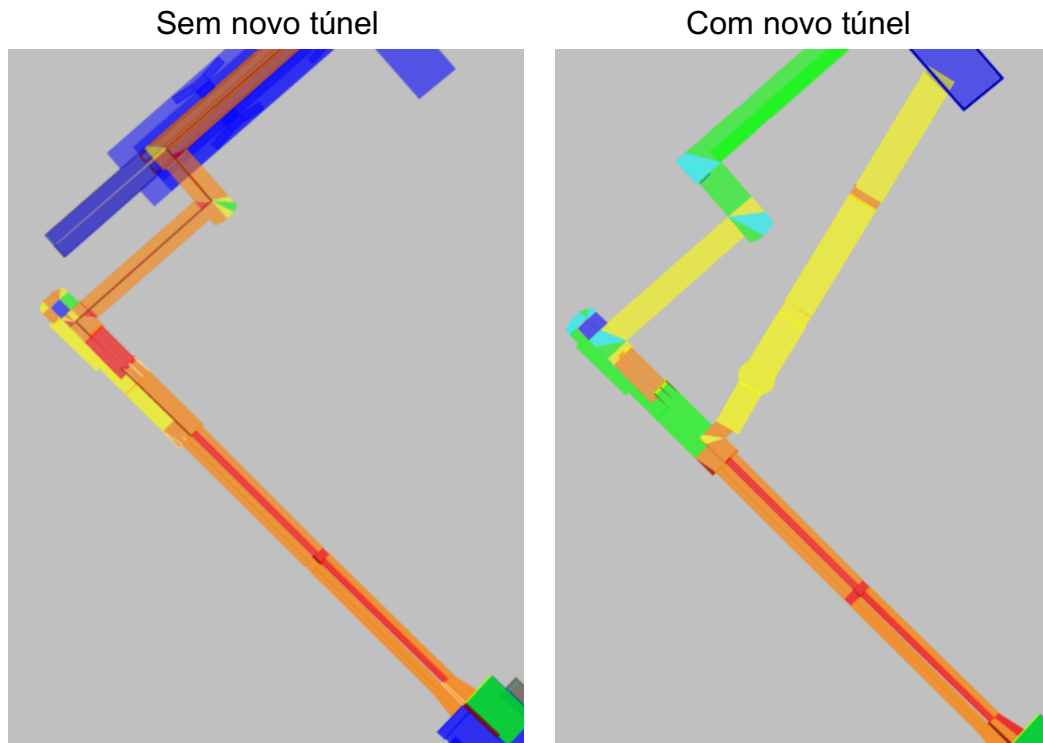
## Níveis de Serviço

Observa-se, pelas imagens a seguir, que com o novo túnel há melhora considerável nos níveis de serviço observados em algumas regiões, ou seja, as densidades observadas no tempo simulado diminuiram nestes locais.

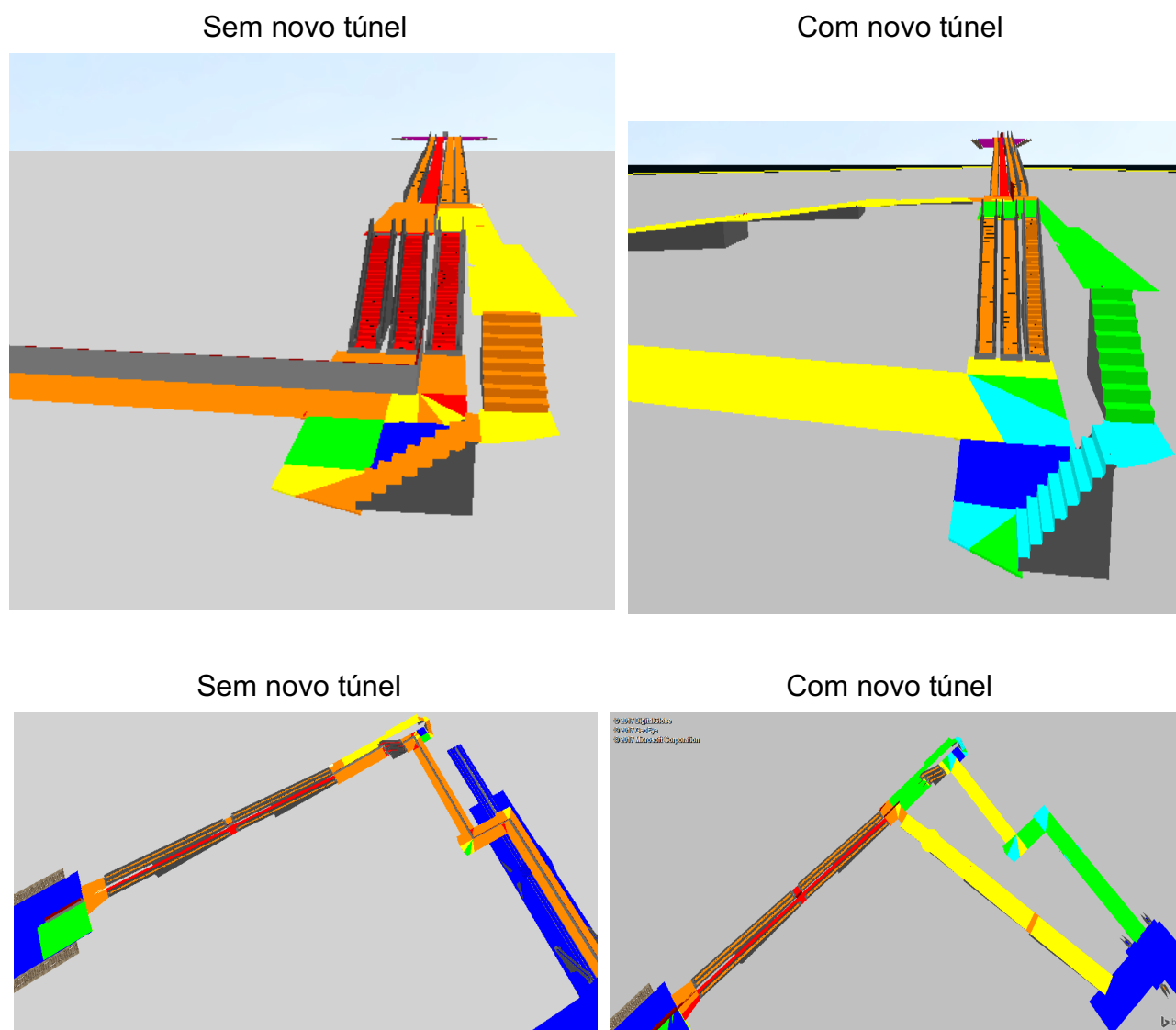
Na região que vai da plataforma da linha amarela até as escadas rolantes, como já citado, o nível de serviço predominante na situação atual é o nível E. Com o novo túnel, os níveis observados nesta região são D e C. Ou seja, há melhora de até 2 níveis.

Nas escadas rolantes, os locais mais críticos do cenário atual, têm seu nível diminuído para nível E no cenário com o novo túnel de integração. A área que circunda estas escadas, também apresenta melhora de níveis E e D para nível C. Esta diminuição de densidades é muito importante, não somente em relação a melhora do conforto dos usuários, mas também porque estas áreas oferecem maiores riscos de acidentes quanto maior o acúmulo de pessoas.

O novo túnel é um local que abrigará todo o fluxo que vai da linha verde para amarela. Considerando a demanda atual, este túnel operaria com nível D. A região das esteiras e do corredor se mantem com nível de serviço igual em relação ao cenário atual (E nas esteiras e F no corredor), demonstrando que este local, mesmo após a construção do novo túnel, continua crítica.



**Figura 7-32: Representação dos níveis de serviço dos cenários de demanda atual sem o novo túnel e com o novo túnel**



**Figura 7-33: Níveis de serviço obtidos nas áreas de integração dos cenários de demanda atual sem o novo túnel e com o novo túnel de integração**

Na Tabela 7-21, há a comparação das porcentagens de ocorrência de níveis de serviço na integração entre os cenários de demanda atual sem o novo túnel e com o novo túnel. Como já pode ser observado visualmente, pode-se notar que atualmente o nível E predomina sem o novo túnel (76%). Isto é amenizado com a implantação do novo túnel, onde o nível E passa a representar 21% da integração, e a predominância é dividida entre os níveis D (36%) e C (34%). Além disso, a ocorrência de nível F cai pela metade.

**Tabela 7-21: Percentual em área por nível de serviço para os cenários de demanda atual sem novo túnel e com o novo túnel**

	Atual sem túnel	Atual com túnel
<b>Nível A</b>	1%	1%
<b>Nível B</b>	-	2%
<b>Nível C</b>	1%	34%
<b>Nível D</b>	9%	36%
<b>Nível E</b>	76%	21%
<b>Nível F</b>	13%	6%

### Tempos de percurso

Os tempos de percurso após a construção do novo túnel também sofrem modificações. Nota-se que, da linha amarela para a linha verde, há uma redução do tempo de percurso em 6%. Isso deve ocorrer principalmente em função da destinação de mais escadas rolantes para este fluxo na integração.

No sentido da linha verde para amarela há também uma diminuição no tempo de percurso, decorrente da utilização do novo túnel por estes usuários. Inclusive, esta redução é ainda mais significativa, já que os usuários realizam um menor percurso, de “atalho” para a plataforma da linha amarela. Este desvio de percurso gera uma diminuição de 25% no tempo.

**Tabela 7-22: Tempos de percurso observados nos cenários de demanda atual sem novo túnel e com o novo túnel**

Percurso	Tempo de percurso (s)	
	Atual sem túnel	Atual com túnel
<b>Amarela → Verde</b>		
P2-P3	64	55
P3-P4	56	51
P4-P5	37	34
P5-P6	90	92
<b>Total</b>	<b>247</b>	<b>231</b>
<b>Verde → Amarela</b>		
P2-P3	111	91
P3-P4	29	43
P4-P5	63	31
P5-P6	57	30
<b>Total</b>	<b>260</b>	<b>195</b>

No total, tem-se uma diminuição no tempo de percurso de 16%, demonstrando que o novo túnel gera não somente uma melhora de nível de serviço e, portanto, do conforto

dos usuários, como também uma redução significativa no tempo de realização da integração.

## 7.5 Modelagem dos cenários de demanda de projeto

A fim de melhor avaliar a integração e seu desempenho em sua concepção, foram consideradas duas situações distintas com base na demanda de projeto. O primeiro cenário visa avaliar a adequação do projeto concebido originalmente frente ao fluxo de usuários estimados na época. O segundo cenário incorpora o novo túnel, com objetivo de verificar as diferenças no desempenho previsto dessa integração caso essa estrutura tivesse sido incorporada no projeto original.

### 7.5.1 Cenários com Demanda de Projeto

A demanda utilizada como dado de entrada foi apresentada, conforme mencionado no item 7.2.1, no Projeto Funcional da Linha-4 do Metrô (1997):

- 30,6 mil passageiros na hora pico

A distribuição dos usuários entre os dois sentidos da integração foi definida a partir da proporção dada pela demanda no pico tarde atual. Ou seja, os usuários que realizam a integração da linha Amarela para Verde representam 46% (10858 passageiros), enquanto da linha Verde para Amarela representam 54% (12632 passageiros).

Sendo assim, tem-se:

**Tabela 7-23: Demanda projetada estimada**

Hora Pico Tarde			
Demanda projetada		Destino	
		Linha 4	Linha 2
Origem	Linha 4	-	14.144
	Linha 2	16.456	-

Para a elaboração do cenário de projeto, foram consideradas as arquiteturas com e sem o novo túnel. As porcentagens de rotas consideradas são as mesmas destes cenários.

### 7.5.2 Resultados

A seguir são apresentados os resultados de nível de serviço e tempos de percurso, tanto para a infraestrutura atual quanto considerando a existência do novo túnel de integração desde o início do funcionamento da integração.

### Níveis de serviço

A Figura 7-35 ilustra os níveis de serviço obtidos nos cenários analisados:

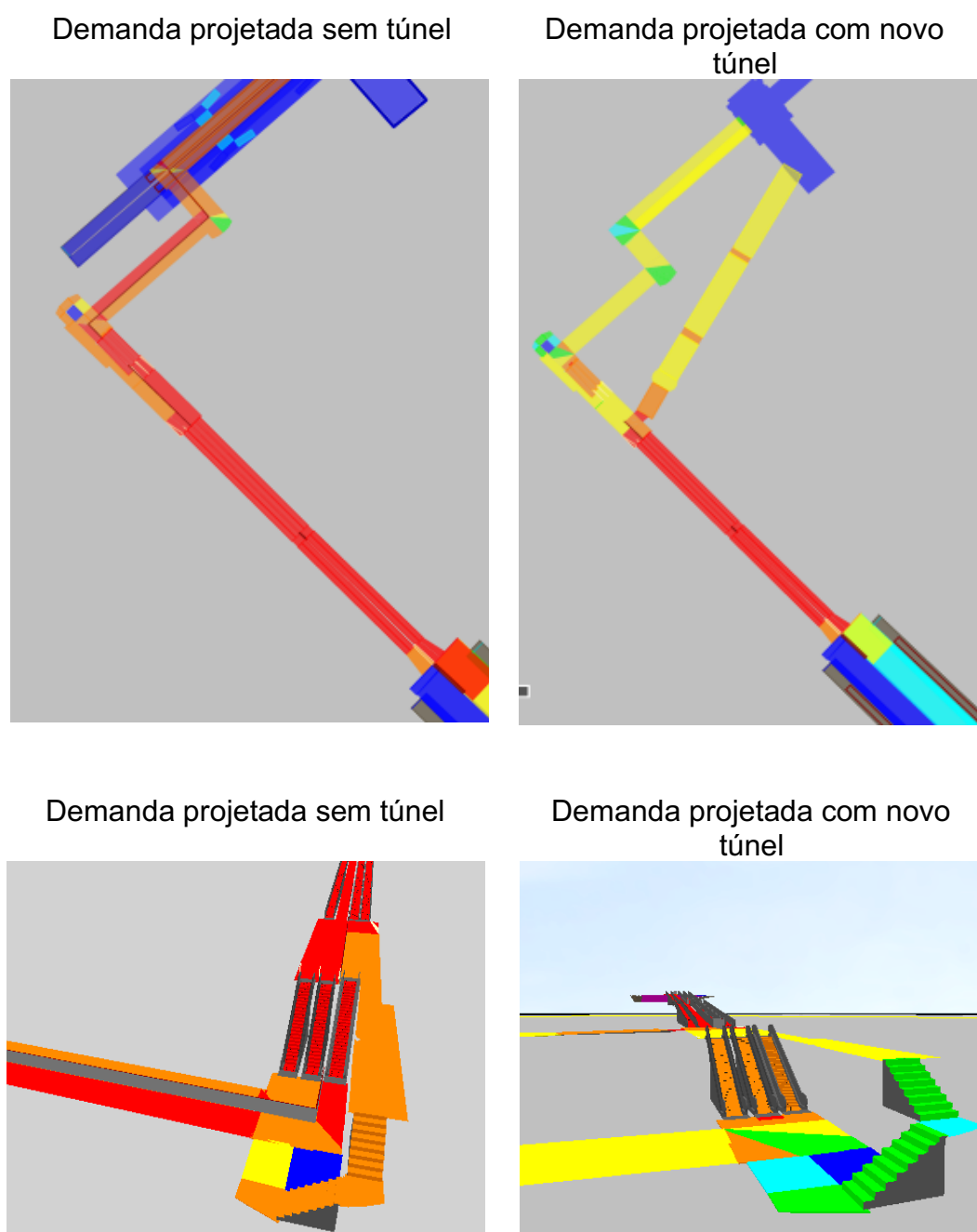
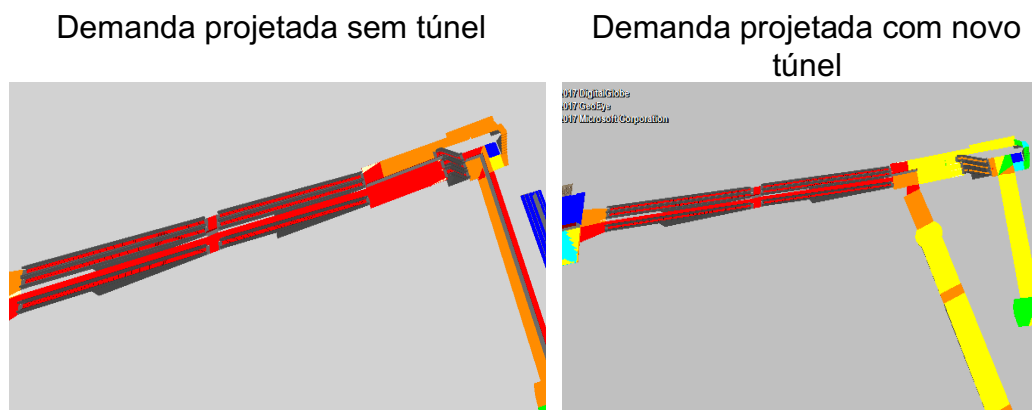


Figura 7-34: Representação dos níveis de serviço dos cenários com demanda projetada



**Figura 7-35: Níveis de serviço observados na integração dos cenários com demanda projetada**

A demanda projetada estimada no projeto funcional é aproximadamente 30% maior que a demanda observada atualmente (2018). Portanto, já era possível antever que os níveis de serviço observados no cenário de projeto (sem túnel) seriam ainda mais críticos que os observados atualmente. Após a modelagem, foi possível verificar o predomínio dos níveis E e F em toda a integração, como pode ser visto pelos percentuais da Tabela 7-24. O NS E representa 64% da integração, enquanto NS F representa 33%. Isso significa que, para a demanda de projeto, há cerca de 2,5 vezes mais áreas com nível de serviço F, ao se comparar com o cenário atual sem o novo túnel de integração.

Assim, é possível concluir que deveria ter sido prevista uma superlotação da integração antes do início do funcionamento da mesma.

Entretanto, caso o novo túnel de integração tivesse sido concluído antes do início de funcionamento da integração, os níveis de serviço não seriam tão críticos. É possível concluir pela modelagem que haveria predomínio de nível D (54%), com apenas 18% de nível E. Ainda assim, o NS F teria parcela significativa de aparição (22%).

**Tabela 7-24: Percentual de áreas por nível de serviço – demandas projetadas**

	<b>Demanda projetada sem túnel</b>	<b>Demanda projetada com túnel</b>
<b>Nível A</b>	1%	0%
<b>Nível B</b>	0%	1%
<b>Nível C</b>	1%	6%
<b>Nível D</b>	1%	54%
<b>Nível E</b>	64%	18%
<b>Nível F</b>	33%	22%

### Tempo de percurso

A Tabela 7-25 resume os tempos de percurso obtidos nas simulações:

**Tabela 7-25: Tempos de percurso observados nos cenários de demanda projetada**

Percurso	Tempo de percurso (s)		
	Demanda projetada sem túnel	Demanda projetada com túnel	
Amarela → Verde	Amarela → Verde		
	P2-P3	68	57
	P3-P4	60	53
	P4-P5	40	35
	P5-P6	94	93
	<b>Total</b>	<b>262</b>	<b>238</b>
Verde → Amarela	Verde → Amarela		
	P2-P3	297	100
	P3-P4	74	45
	P4-P5	56	32
	P5-P6	52	31
	<b>Total</b>	<b>480</b>	<b>207</b>

Destaca-se nesses tempos de percurso médios o elevado tempo de viagem no sentido Linha Verde – Amarela para a demanda projetada sem túnel, com um tempo de integração de 480 segundos (8 minutos). Esse tempo é quase o dobro do tempo de percurso atual, em que o usuário gasta 260 segundos (4,3 minutos) para chegar a Linha Amarela.

Nota-se também que a presença do túnel influencia de forma significativa a redução dos tempos de percurso médios. No sentido da linha amarela para verde, há redução de 24 segundos. Essa diferença é ainda mais evidente no sentido da linha verde para amarela, fluxo que utiliza o novo túnel. Neste sentido há redução de mais da metade do tempo (57%).

Observando os tempos de percurso e níveis de serviço, pode-se supor que o novo túnel poderia ter sido previsto já no projeto funcional, antes do início de funcionamento da nova integração. Os tempos observados neste cenário com o túnel, apesar de apresentar demanda superior a atual, são menores que os tempos do cenário de 2018 sem túnel, assim como menor ocorrência de níveis de serviço críticos (D, E e F). Ainda assim, a construção do novo túnel não evitaria os problemas encontrados atualmente na região das esteiras e do corredor. Entretanto, seria possível cogitar soluções prévias para estes locais, que desde o começo do funcionamento da integração se destacariam como os pontos críticos do percurso.



## 7.6 Modelagem dos cenários de demanda futura

Segundo o Governo do Estado de São Paulo, uma das prioridades na área de transporte é a expansão e modernização da rede do Metrô e da CPTM<sup>7</sup>. Essa expansão, prevista até o ano de 2040, irá alterar o número de passageiros em cada estação e, consequentemente, nas integrações.

Por esse motivo, foram simulados os cenários de 2019, 2020 e 2025, com o intuito de analisar a integração das estações Consolação e Paulista. Esses cenários, cujos dados foram fornecidos pela ViaQuatro, foram escolhidos por representarem expansões na rede do Metrô com impactos diretos no número de passageiros realizando a transferência entre as estações.

### 7.6.1 Cenários de 2019, 2020 e 2025

O cenário de 2019 considera a integração da Linha 5 – Lilás com a Linha 2 – Verde. Em outubro de 2018 essa integração se tornou realidade ao permitir que os usuários do Metrô realizassem a transferência entre as linhas na estação Chácara Klabin.

## Após conexões, número de passageiros dobra na linha 5-lilás do metrô em SP

Alta ocorre após primeira semana com horário normal nas interligações

**Figura 7-36: Título de notícia no jornal Folha de São Paulo (26/10/2018)**

Fonte: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2018/10/apos-conexoes-numero-de-passageiros-dobra-na-linha-5-lilas-do-metro-em-sp.shtml>

Essa integração diminui a demanda nas estações Consolação e Paulista por permitir ao usuário do metrô um caminho alternativo entre a Linha Verde e a região sudoeste da cidade de São Paulo. Por exemplo, um usuário na região de Santo Amaro chegaria na região da Av. Paulista utilizando as linhas Esmeralda da CPTM e Amarela do Metrô, realizando duas transferências nas estações Pinheiros e Paulista. Esse mesmo usuário, com a nova conexão, pode chegar ao seu destino transferindo apenas na estação Chácara Klabin.

No ano de 2020, o Metrô prevê um pequeno aumento da demanda na integração entre as Linhas Amarela e Verde devido à inauguração da última estação da Linha Amarela: a estação Vila Sônia. Com essa estação, a Linha Amarela irá operar na sua quilometragem total, com 12,8 km de linha e 11 estações. Além disso, essa estação irá integrar com o Terminal de Ônibus no Pátio Vila Sônia. Por esse motivo haverá um aumento no número de usuários em toda a Linha Amarela e na integração entre as estações Paulista e Consolação.

<sup>7</sup> Informação retirada do site oficial do Governo de São Paulo, <http://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/ultimas-noticias/cptm-e-metro-novas-estacoes-e-transporte-de-78-milhoes-de-pessoas-por-dia/>

Por último, no ano de 2025 o Metrô prevê a inauguração da Linha 6 - Laranja que irá conectar a região da Brasilândia – norte de São Paulo – a estação São Joaquim, na Linha 1 - Azul. Essa nova linha irá cruzar com a Linha Amarela na estação da Higienópolis-Mackenzie e parte do seu percurso será paralelo a Linha Verde. Por esse motivo, a nova configuração da rede de metrô irá diminuir a demanda na integração estudada. Por exemplo, um usuário do metrô que utiliza as linhas Amarela, Verde e Azul para chegar na região sul da cidade de São Paulo poderá fazer o percurso utilizando apenas as linhas Laranja e Azul.

É importante frisar que esses cenários configuram uma previsão de obras a serem realizadas pelo Governo do Estado de São Paulo e pelo Metrô, podendo não ocorrer nos anos previstos. Entretanto, isso não elimina a validade dos dados, pois a construção dos cenários baseia-se na inauguração e modernização da rede metroviária. Por esse motivo, os aqui denominados cenários de 2019, 2020 e 2025 na verdade são reflexos das próximas etapas de expansão prevista da rede metroviária de São Paulo, que podem acontecer em anos diferentes dos previstos.

Os dados de demanda utilizados nas simulações foram fornecidos pela ViaQuatro. Foram modeladas duas situações para cada cenário: com e sem o novo túnel de integração, usando como base as infraestruturas e rotas do cenário atual e o cenário de demanda atual com o novo túnel de integração. As únicas alterações realizadas foram no número de passageiros por sentidos. Essas atualizações seguiram as mesmas regras das modelagens anteriores.

**Tabela 7-26: Inputs do cenário de 2019**

Input - Cenário de 2019		
Amarela → Verde	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	69
	Pax/plataforma	610
	Verde → Amarela	
	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	112
	Pax/plataforma	996

**Tabela 7-27: Inputs do cenário de 2020**

Input - Cenário de 2020		
Amarela → Verde	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	83
	Pax/plataforma	742

	Verde → Amarela	
	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	115
	Pax/plataforma	1025

Tabela 7-28: Inputs do cenário de 2025

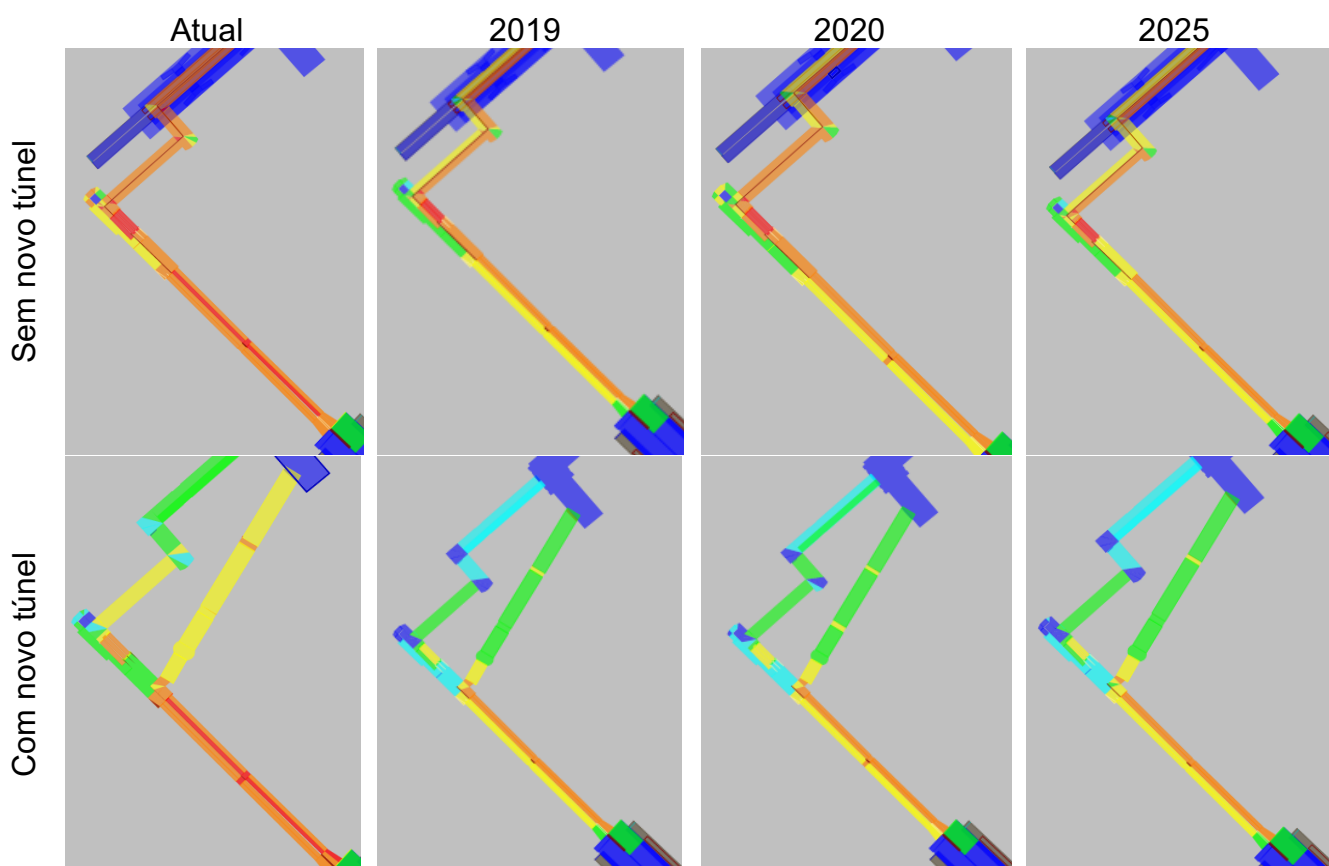
Input - Cenário de 2025		
	Amarela → Verde	
	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	69
	Pax/plataforma	610
	Verde → Amarela	
	Número de trens	2
	Headway (s)	90
	Número de Partidas	40
	Pax/veículo	106
	Pax/plataforma	941

### 7.6.2 Resultados

A seguir são apresentados os resultados de nível de serviço e tempos de percurso comparando os cenários atual e os cenários de 2019, 2020 e 2025 com e sem o novo túnel de integração.

#### Níveis de serviço

A figura apresentada na página a seguir ilustra os níveis de serviço obtidos nos cenários analisados:



**Figura 7-37: Representação dos níveis de serviço dos cenários de demanda futura**

Considerando-se o desenvolvimento das demandas ao longo do tempo, percebe-se, de forma geral uma melhora nos níveis de serviço nas situações com e sem o novo túnel de integração, com a situação mais favorável no cenário de 2025, dada sua menor demanda. Essa melhoria pode ser verificada quantitativamente na tabela abaixo, na qual são apresentados os percentuais por área afetada para cada nível de serviço dentro da integração:

**Tabela 7-29: Percentual de áreas por nível de serviço – Sem novo túnel**

		Atual	2019	2020	2025
<b>Sem túnel</b>	<b>Nível A</b>	1%	1%	1%	1%
	<b>Nível B</b>	-	1%	-	1%
	<b>Nível C</b>	1%	13%	10%	13%
	<b>Nível D</b>	9%	38%	27%	44%
	<b>Nível E</b>	76%	45%	59%	39%
	<b>Nível F</b>	13%	2%	3%	2%

Tabela 7-30: Percentual de áreas por nível de serviço – Com novo túnel

		Atual	2019	2020	2025
Com túnel	Nível A	1%	7%	3%	6%
	Nível B	2%	31%	25%	26%
	Nível C	34%	35%	42%	41%
	Nível D	36%	15%	14%	16%
	Nível E	21%	12%	17%	11%
	Nível F	6%	-	-	-

No entanto, nos cenários onde a implementação do novo túnel de integração não foi considerada, verifica-se, em todas as simulações realizadas, a presença de áreas com níveis de serviço F localizadas nas escadas rolantes, diferentemente das simulações que levaram em consideração a presença dessa estrutura. O gráfico abaixo mostra o percentual de áreas com níveis de serviço considerados críticos (Níveis D, E e F). Nota-se que o túnel provoca impacto significativo na diminuição do percentual dos níveis de serviço críticos. Para os cenários futuros, essa diminuição é maior que 50%.

Outro ponto importante a se destacar é que a implementação do novo túnel diminui dos níveis de serviço nas áreas antes das escadas rolantes e entre as escadas rolantes e as esteiras.

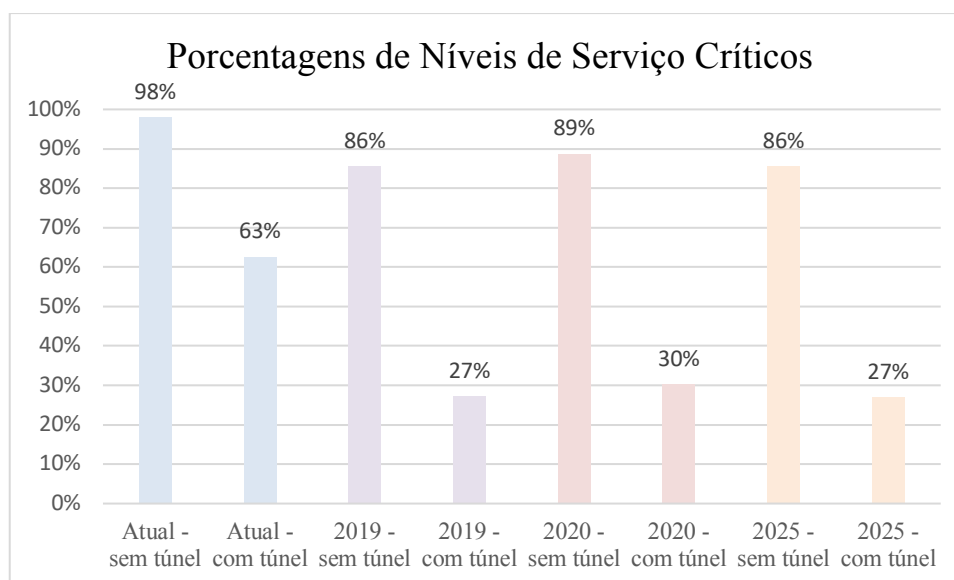


Figura 7-38: Porcentagens de Níveis de Serviço Críticos por cenário

Esses resultados permitem concluir que a ampliação da rede metroviária de São Paulo implicará em uma melhora nos níveis de serviço da integração. Entretanto, essa melhora não é tão significativa, se comparada com o cenário de 2025 com a construção do novo túnel de integração. É possível perceber, por exemplo, que na situação atual, os níveis D, E e F representam 98% das áreas da integração. Esse valor será 13% menor para o cenário de 2025 sem o novo túnel, que terá 85% de suas

áreas nos níveis D, E e F. Já para o cenário de 2025 com o novo túnel, esse valor é de 27%, com destaque para a inexistência de NS F.

Além disso, é possível concluir que, uma vez eliminada a condição crítica da região das escadas rolantes com a presença do novo túnel de integração, a área das esteiras e do corredor, no sentido da Linha Verde para a Linha Amarela, torna-se a região sujeita às piores condições de nível de serviço da integração.

### Tempos de percurso

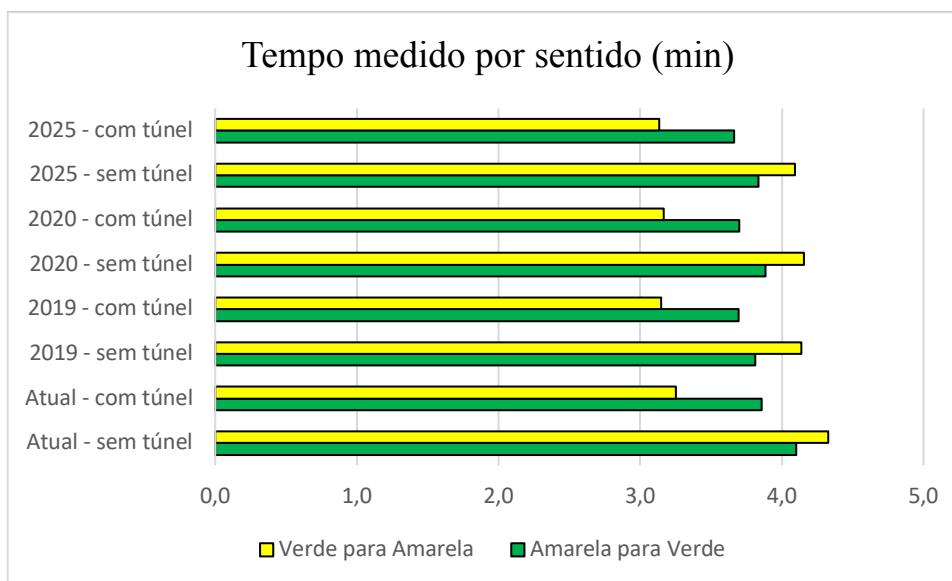
A tabela abaixo resume os tempos de percurso obtidos nas simulações:

**Tabela 7-31: Tempo de percurso – Sem novo túnel**

Percurso	Tempo de percurso (s)			
	Atual	2019	2020	2025
Sem novo túnel	Amarela → Verde			
	P2-P3	64	60	61
	P3-P4	56	51	52
	P4-P5	37	33	34
	P5-P6	90	85	86
	<b>Total</b>	<b>246</b>	<b>229</b>	<b>233</b>
	Verde → Amarela			
	P2-P3	111	107	107
	P3-P4	29	26	26
	P4-P5	63	60	61
	P5-P6	57	55	55
	<b>Total</b>	<b>260</b>	<b>248</b>	<b>249</b>

**Tabela 7-32: Tempo de percurso – Com novo túnel**

Percurso	Tempo de percurso (s)			
	Atual	2019	2020	2025
Com novo túnel	Amarela → Verde			
	P2-P3	55	53	53
	P3-P4	51	50	49
	P4-P5	34	33	34
	P5-P6	92	87	86
	<b>Total</b>	<b>231</b>	<b>222</b>	<b>222</b>
	Verde → Amarela			
	P2-P3	91	87	88
	P3-P4	43	42	42
	P4-P5	31	30	30
	P5-P6	30	29	30
	<b>Total</b>	<b>195</b>	<b>189</b>	<b>188</b>



**Figura 7-39: Tempos medidos por sentido nos cenários, em minutos**

Considerando as tabelas acima e os resultados de nível de serviço, evidencia-se que, assim como foi verificada uma melhoria nas densidades em todos os cenários futuros analisados, houve também uma melhoria geral nos tempos de percurso, com destaque para a situação com o novo túnel de integração.

Nessa situação, considerando-se os deslocamentos da Linha Amarela para a Verde, a presença do túnel, ao remover a área crítica que antecede as escadas rolantes, permitiu o desenvolvimento de maiores velocidades no trecho P2-P3 e P3-P4. Dessa forma, com base no tempo de percurso original de 246 segundos no cenário sem túnel com demanda atual, foram verificadas reduções de aproximadamente 6% do tempo na condição de demanda atual. Com a demanda estimada para 2025, essa redução atingiria mais de 10% do tempo atual.

Com relação aos deslocamentos da Linha Verde para a Amarela na situação com o novo túnel, apesar da alteração de rotas, que influencia o tempo total do percurso por si só, o trecho P2-P3, que permanece inalterado, mostra redução da ordem de 20 segundos com relação à condição sem o túnel em todos os cenários de demanda. No cenário de 2025, a diferença com relação ao tempo de percurso original de 260 segundos chega a mais de 25%.



## 7.7 Propostas

Com base nas simulações de demanda atual e futura (2019, 2020 e 2025), foram apresentadas propostas de melhoria da integração entre as estações Consolação e Paulista, visando amenizar os problemas de nível de serviço e tempo de percurso. Essas propostas têm como intuito melhorar a circulação vertical e horizontal da integração sem alterar a geometria da estação para as condições estudadas com e sem o novo túnel de integração.

Considerando o tópico 5.1.5 sobre circulação vertical, essa ocorre por meio de quatro elementos: escadas, escadas rolantes, rampas e elevadores. Na integração estudada, os elementos críticos verticais são as escadas rolantes da integração. Como esses elementos deixam de ser críticos com a construção do novo túnel, as propostas apresentadas focam em solucionar os problemas na região das esteiras e do corredor de acesso. Esses elementos também são críticos e não melhoram com a construção do novo túnel.

A configuração original é composta por seis esteiras, sendo três fileiras destas (duas em cada fileira para cobrir a extensão da integração). O corredor é utilizado para os usuários que vão da linha verde para a amarela, como se pode observar na figura a seguir.



**Figura 7-40: Configuração original das esteiras e do corredor visto do sentido linha amarela para verde**

Fonte: <https://br.trendli.net/metro-vai-retirar-esteiras-rolantes-das-estacoes-consolacao-e-paulista/dRqmDIbvqhqbXXaMfuZqHqzT8sZK7M/>

Como foi visto anteriormente no tópico 5.1.4, os corredores de acesso e as esteiras são elementos de circulação horizontal, sendo afetados por quatro fatores: característica do pedestre, velocidade de caminhada, densidade e largura efetiva de caminhada.



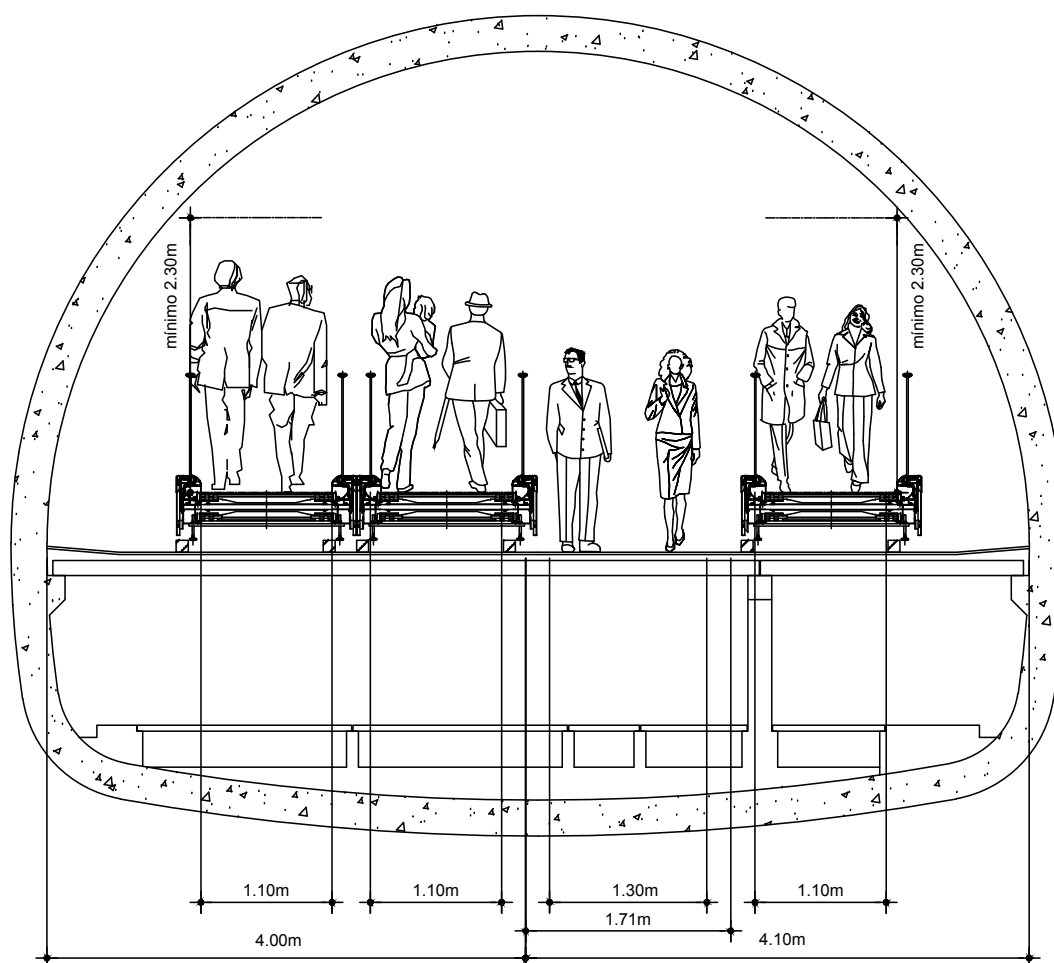
A característica do pedestre é um dado de projeto e, portanto, inalterável. Entretanto, podem-se propor alterações que afetem direta ou indiretamente a velocidade, a densidade e a largura efetiva de caminhada.

### 7.7.1 Retirada de 4 esteiras

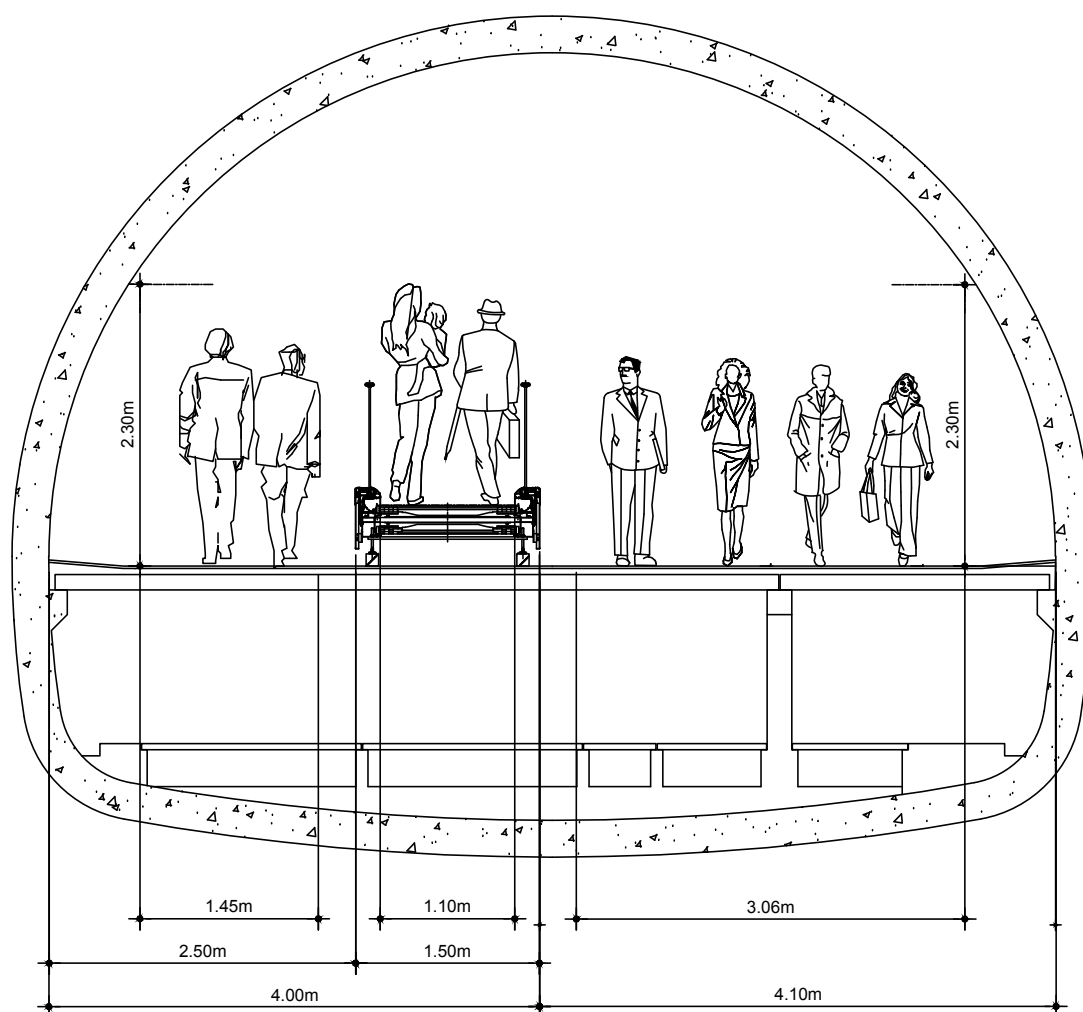
A primeira proposta analisada foi a retirada de quatro esteiras, mantendo-se apenas duas esteiras no sentido Linha Amarela – Linha Verde.

A retirada de esteiras afeta diretamente a largura efetiva de caminhada, aumentando o espaço de caminhada disponível para os usuários. Além disso, essa proposta também pode afetar a densidade e a velocidade dos pedestres, melhorando os níveis de serviço e o tempo de percurso na integração.

Optou-se, primeiramente, por manter as esteiras no sentido Linha Amarela – Linha Verde devido ao desnível. Dessa maneira, garante-se a acessibilidade da população com mobilidade reduzida.



**Figura 7-41: Situação atual - Corte do ponto de acesso da Linha Verde ao túnel de integração, visto do sentido Linha Amarela – Linha Verde;**



**Figura 7-42: Proposta de retirada de quatro esteiras - Corte do ponto de acesso da Linha Verde ao túnel de integração, visto do sentido Linha Amarela – Linha Verde;**

Como pode ser visto na Figura 7-41 e Figura 7-42, as esteiras possuem largura de 1,1m. Com a retirada das esteiras, a largura efetiva de caminhada, respeitando as alturas mínimas definidas pelo Metrô e considerando os parâmetros de circulação horizontal apresentados no tópico 5.1.4, aumenta de 1,1m para 1,45m no sentido da Linha Amarela – Linha Verde (na área da esteira retirada) e de 2,2m para 3,06m no sentido oposto.

Essa proposta foi simulada no cenário de 2019 sem o novo túnel de integração, devido a notícia de que o Metrô pretende realizar essa alteração em um futuro próximo.

## Metrô de SP vai retirar esteiras rolantes entre as estações Consolação e Paulista

Objetivo é reduzir o tempo da travessia de passageiros nos horários de pico entre as linhas 2-Verde e 4-Amarela.

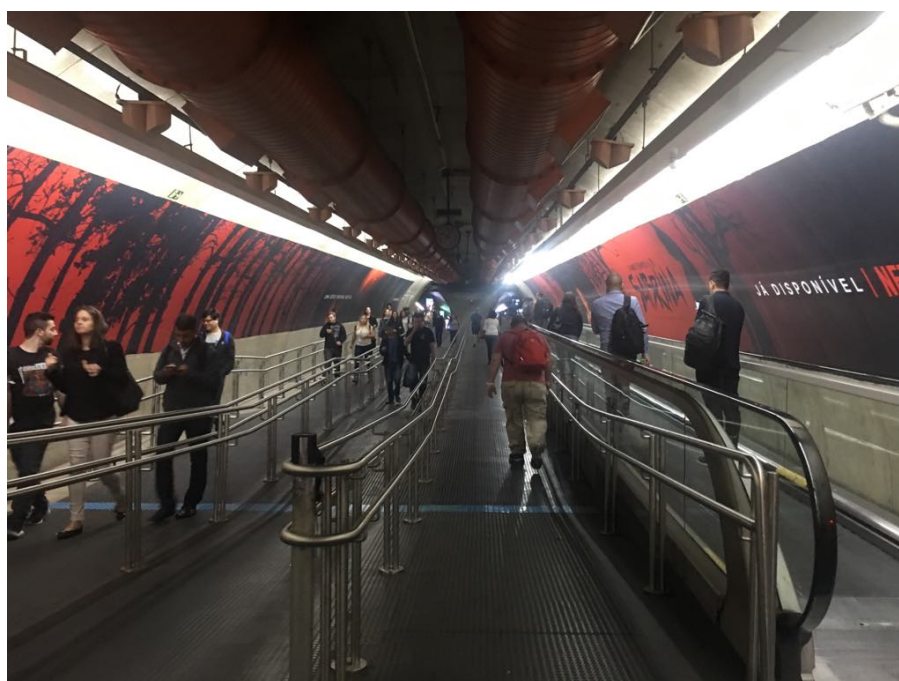
Por Tiago Scheuer, Bom Dia SP — São Paulo  
08/11/2018 08h11 · Atualizado há 3 dias



### Figura 7-43: Título de notícia no portal G1 (08/11/2018)

Fonte: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2018/11/08/metro-de-sp-vai-retirar-esteiras-rolantes-entre-as-estacoes-consolacao-e-paulista.ghtml>

Pretendeu-se, com isso, entender a nova situação da integração a partir da concretização dessa medida, que ocorreu em meados do fim de novembro, como se pode observar na Figura 7-44. Optou-se pelo cenário de 2019 por se considerar que esse cenário representará melhor a realidade dessa situação.



**Figura 7-44: Configuração das esteiras em dezembro de 2018 visto do sentido linha amarela para verde**

Fonte: Os Autores, 2018

Essa proposta também foi simulada no cenário de 2025 com o novo túnel de integração. O intuito dessa simulação foi entender o que irá acontecer na integração caso ambas as medidas anunciadas pelo Metrô se concretizem.

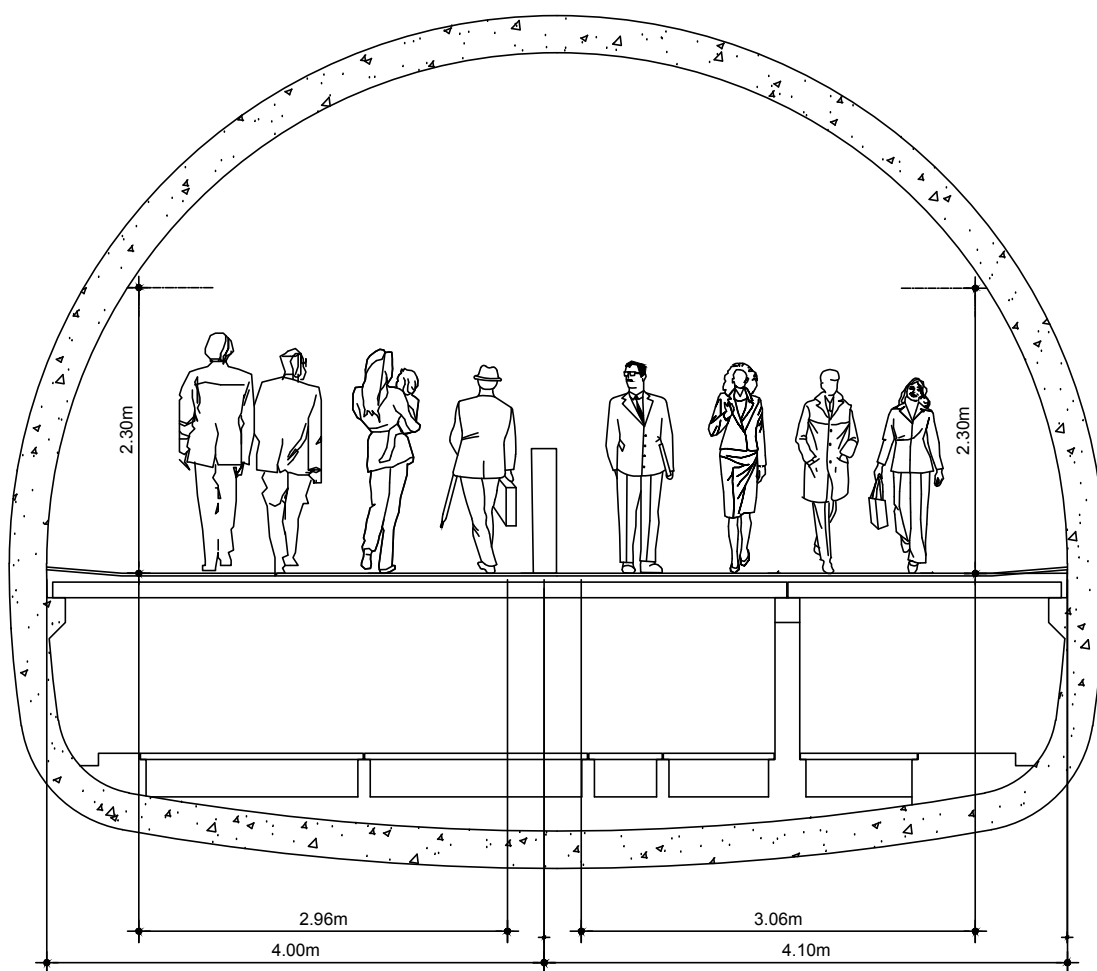
Foi escolhido o cenário de 2025 por acreditar-se que esse é o cenário mais provável para o início da operação do novo túnel de integração.

### 7.7.2 Retirada de todas as esteiras

Também foi simulado o cenário com a retirada de todas as seis esteiras da estação. A vantagem dessa proposta é o aumento da largura efetiva de caminhada no sentido Linha Amarela – Linha Verde de 2,2m para 2,96m.

A desvantagem dessa proposta é a diminuição da acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida. O intuito dessa simulação foi verificar se há uma melhoria nos níveis de serviço e tempo de percurso que justifiquem essa contrapartida.

Esse cenário foi simulado no cenário de 2025 com o novo túnel de integração para verificar a necessidade de, futuramente, retirar-se o restante das esteiras da estação.



**Figura 7-45: Proposta de retirada de todas as esteiras - Corte do ponto de acesso da Linha Verde ao túnel de integração, visto do sentido Linha Amarela – Linha Verde;**

### 7.7.3 Resultados

Os níveis de serviço melhoram conforme as esteiras são removidas, o que mostra melhores condições de conforto, embora os tempos de percurso sejam ligeiramente maiores.

### Níveis de serviço

Os resultados exibidos a seguir mostram o ganho que se tem com a retirada de 4 esteiras em termos de nível de serviço para a demanda de 2019. Observa-se, para essa situação, uma melhora no nível de serviço nessa região, onde o nível predominante era D e passa a ser C, o que se traduz em melhor conforto para os pedestres.

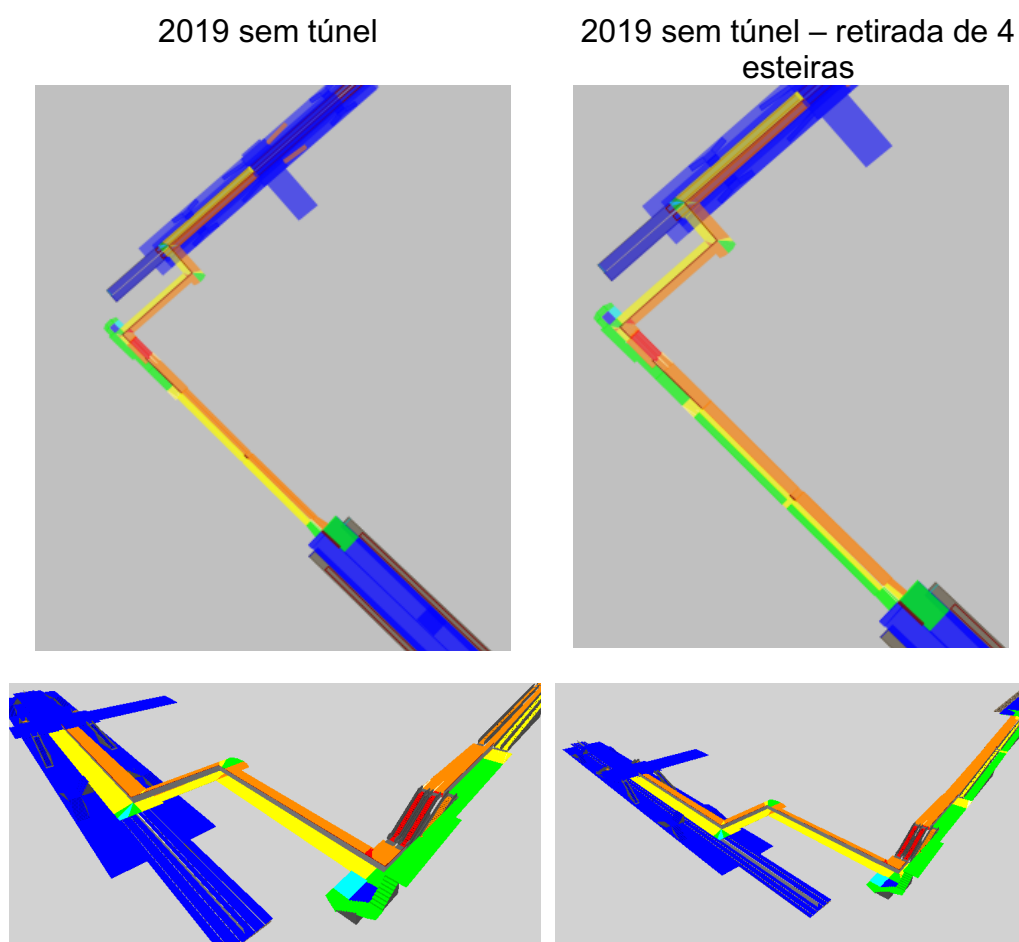


Figura 7-46: Representação dos níveis de serviço – Propostas 2019 sem túnel

Tabela 7-33: Percentual de áreas por nível de serviço – Propostas 2019 sem túnel

	2019 sem túnel	2019 sem túnel – retirada de 4 esteiras
Nível A	1%	1%
Nível B	1%	1%
Nível C	13%	22%
Nível D	38%	29%
Nível E	45%	45%
Nível F	2%	2%

Já para a demanda de 2025, como pode ser observado na figura a seguir, a retirada de 4 esteiras configura uma melhora de nível de serviço E para D no sentido verde-amarela, e de D para C na região sem esteira no sentido amarela-verde. Com a remoção das outras 2 esteiras, houve também uma melhora de nível D para C na região dessas esteiras que foram removidas.

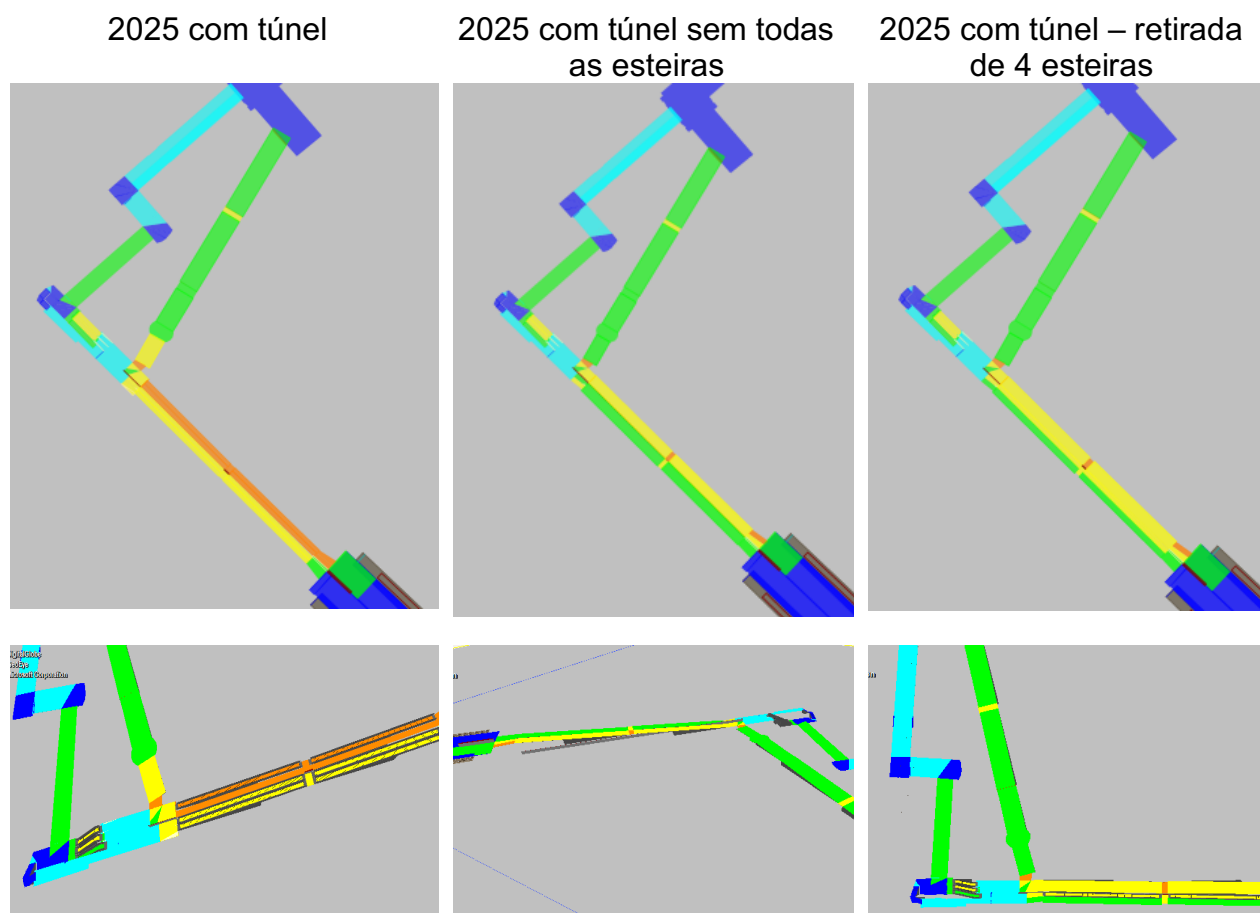


Figura 7-47: Representação dos níveis de serviço dos cenários de proposta - Propostas 2025 com túnel

Tabela 7-34: Percentual de áreas por nível de serviço – Propostas 2025 com túnel

	2025 com túnel	2025 com túnel - sem todas as esteiras	2025 com túnel – retirada de 4 esteiras
<b>Nível A</b>	6%	6%	6%
<b>Nível B</b>	26%	24%	25%
<b>Nível C</b>	41%	50%	47%
<b>Nível D</b>	16%	12%	13%
<b>Nível E</b>	11%	8%	8%
<b>Nível F</b>	-	-	-

### Tempos de percurso

Ao se observar o impacto da intervenção de retirada das 4 esteiras no cenário de 2019 com relação ao tempo de percurso, verifica-se uma leve alteração desse para pior no trajeto da linha verde para a amarela, sendo 10 segundos (4%) maior em comparação à condição com todas as esteiras. As duas tabelas a seguir quantificam esses resultados.

Tabela 7-35: Tempos de percurso – Proposta 2019 sem túnel

Percurso	Tempo de percurso (s)	
	2019 sem túnel	2019 sem túnel – retirada de 4 esteiras
<b>Amarela → Verde</b>		
P2-P3	60	60
P3-P4	51	51
P4-P5	33	33
P5-P6	85	89
<b>Total</b>	<b>229</b>	<b>232</b>
<b>Verde → Amarela</b>		
P2-P3	107	117
P3-P4	26	26
P4-P5	60	60
P5-P6	55	55
<b>Total</b>	<b>248</b>	<b>258</b>

Os tempos de percurso observados no cenário de demanda de 2025 também apresentaram aumentos semelhantes ao anteriormente observado:

- Amarela-verde: 2% maiores com a retirada de 4 esteiras, e 5% maiores com a retirada de todas as esteiras.
- Verde-amarela: 5% maiores para a retirada de 4 esteiras e também para a retirada de todas as esteiras.

Tabela 7-36: Tempos de percurso – Propostas 2025 com túnel

Percurso	Tempo de percurso (s)		
	2025 com túnel	2025 com túnel - sem todas as esteiras	2025 com túnel – retirada de 4 esteiras
Amarela → Verde			
P2-P3	52	52	52
P3-P4	49	49	49
P4-P5	33	33	33
P5-P6	86	98	91
<b>Total</b>	<b>220</b>	<b>232</b>	<b>225</b>
Verde → Amarela			
P2-P3	87	96	96
P3-P4	42	41	42
P4-P5	30	30	30
P5-P6	30	30	30
<b>Total</b>	<b>188</b>	<b>197</b>	<b>198</b>

Com isso, observa-se que o ganho em conforto verificado anteriormente ocorre em detrimento de um ligeiro aumento no tempo de percurso em ambos os cenários de demanda e em ambas as propostas de remoção de esteiras.

## 7.8 Considerações finais sobre os resultados

A partir do software *Vissim* foi possível realizar a análise do cenário atual, de projeto e futuros, para as condições de infraestrutura atual e com o novo túnel de integração. A partir dessas modelagens, foi possível entender os problemas encontrados na integração, permitindo o estudo de propostas de melhoria.

Uma vez validado o modelo referente ao cenário atual, calibrado a partir de dados obtidos em campo, foi possível se confirmar a formação de gargalos na região das escadas e no corredor paralelo às esteiras, com predominância de nível de serviço F nesses elementos e E considerando a extensão da integração.

Ao se realizar a simulação da demanda atual numa situação com o novo túnel de integração, verifica-se que a implantação dessa estrutura, apesar de beneficiar os usuários da integração, melhorando a circulação na região das escadas rolantes, não afeta a área das esteiras, a qual permanece com níveis de serviço E e F, exigindo medidas adicionais para melhora dos mesmos. Apesar de se tratar de um cenário irreal – caso o novo túnel seja construído, a demanda no seu momento de conclusão já não será mais a atual – esse modelo foi importante para (1) auxiliar na construção dos cenários de demandas futuras e (2) servir como base de comparação para outras situações analisadas.

Os estudos dos modelos que adotam as demandas de projeto, por sua vez, evidenciam a gravidade da condição operacional da integração nessa situação, já que no projeto funcional previa-se uma demanda superior à observada atualmente. No



projeto original, sem o novo túnel, quase a totalidade das áreas apresentam níveis de serviço E e F, o que causa impacto especialmente no percurso da Linha Verde para a Amarela, no qual se verifica um aumento de 80% no tempo de deslocamento, se comparado ao cenário atual.

Nas análises dos cenários de demanda futura foi possível perceber que há uma pequena melhora nas condições da integração devido ao menor número de usuários. Entretanto, essas mudanças são pouco significativas quando comparadas com os cenários de demanda futura que levam em consideração a construção do novo túnel.

Nesses cenários, os tempos de percursos, quando comparados à condição atualmente instalada, apresentam reduções de até 10%, no sentido da Linha Amarela para a Verde; e 27%, no sentido da Linha Verde para a Amarela. Sem o túnel, as reduções não ultrapassariam 6% em ambos os sentidos. Verificou-se também uma melhora expressiva no nível de serviço da integração, com predominância de níveis B e C, ante os níveis D e E atualmente existentes, apesar disso a região das esteiras manteve-se como a mais crítica.

Por fim, foram realizadas propostas de remoção parcial ou total das esteiras, objetivando aperfeiçoamento das condições nessa área mais crítica. Pela modelagem, foi observada uma melhora de níveis de serviço, para todos os cenários simulados, reduzindo a porcentagem de áreas níveis D e E em até 9%, apesar de um leve aumento nos tempos de percurso de até 5% se comparados com os cenários de demanda de 2019 e 2025 sem a retirada das esteiras.

O aumento do tempo de percurso foi um pouco maior para a proposta de retirada de todas as esteiras. Por esse motivo, e dada a maior acessibilidade na proposta com retirada das 4 esteiras (mantendo-se duas), ela foi considerada como a proposta mais adequada dentre as analisadas (2019 sem o novo túnel e 2025 com o novo túnel).

Cabe destacar que os resultados acima descritos são reflexo de um principal *input* empregado no programa: o comportamento do pedestre. Enquanto variáveis como demanda, rotas e arquitetura mostram-se razoavelmente simples de serem inseridas no software, caso se verifique alteração do comportamento do pedestre, nova calibração deverá ser realizada para compatibilização entre o modelo e a realidade, para então se prosseguir com novas análises.

## 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A rede metroviária de São Paulo é um elemento chave do transporte público da cidade. Dentro dessa rede, as estações de Metrô e, mais especificamente, as estações com integração entre diferentes linhas, são de suma importância para a cidade por permitem o acesso da população aos serviços prestados.

Dada essa importância, os projetos de estações e integrações de metrô devem sempre considerar o conforto e a segurança dos usuários. Por muitos anos, isso significou a realização de projetos padronizados e definidos por norma que nem sempre são capazes de representar e compreender a complexidade do comportamento dos usuários. Isso gerou projetos que, apesar de seguirem as recomendações de conforto e segurança, são conhecidamente desconfortáveis para os passageiros, recebendo inúmeras críticas desde o início de sua operação, como é o caso da integração entre as estações Consolação – Linha Verde, e Paulista – Linha Amarela.

Dentro desse cenário, as microssimulações de pedestres surgem como uma nova ferramenta para auxiliar o desenvolvimento de projetos que envolvem grandes fluxos de pessoas. Essa ferramenta, quando calibrada – ou seja, quando compatibilizada com a realidade da região estudada – permite desenvolver uma série de análises sobre o comportamento dos usuários e suas interações com os elementos de circulação vertical e horizontal das estações, bem como com o próprio sistema de transporte.

Assim, quando a microssimulação é associada a outras ferramentas como normas e estudos teóricos de fluxo e de conforto dos usuários, é possível a elaboração de projetos que de fato atendam as recomendações de conforto e segurança de pedestres, tornando o transbordo menos crítico e, portanto, estimulando o uso de transporte público na cidade.

Além disso, esse tipo de ferramenta permite o estudo de cenários hipotéticos, não mais se limitando apenas ao que acontece na realidade. Dessa forma, pode-se entender quais serão, por exemplo, as consequências da construção de novas linhas de metrô nos fluxos de uma estação.

Outra vantagem importante do uso de softwares de simulação é a economia de recursos na implementação de medidas ou projetos. Por exemplo, pode-se simular a retirada ou colocação de elementos de circulação, como escadas rolantes, esteiras ou elevadores, sem a necessidade de colocação física desses elementos na estação. Assim, pode-se verificar qual a melhor solução antes da implementação da mesma, implementando-se direto a solução mais adequada e de melhor custo benefício, e evitando transtornos excessivos de paralisação do sistema para reformas ou melhorias da rede.

Todas essas situações foram verificadas nesse trabalho no Estudo de Caso apresentado.

As simulações realizadas com o software *Vissim*, na integração entre as estações Consolação e Paulista permitiu verificar que a integração estudada apresentava falhas de projeto desde o projeto funcional uma vez que poderia ter sido prevista a

superlotação da integração com a infraestrutura atual (sem o novo túnel de integração).

Com o auxílio do software também foi possível notar que a demanda verificada atualmente é menor que a prevista e ainda assim, apresenta problemas nos horários de pico, que geram não somente desconforto e tempos de viagens elevados, como também riscos à segurança dos usuários. Verificou-se que, para a situação atual, as áreas mais problemáticas são as escadas rolantes e o corredor entre as esteiras, indicando que qualquer projeto de intervenção deve considerar a melhoria do conforto e da segurança dos passageiros nesses elementos.

Ao se analisarem os cenários futuros, com demandas menores, e mantendo a infraestrutura, foi possível perceber que há melhoras muito pequenas. Porém, caso seja implantado o novo túnel de integração previsto pelo Metrô, pode-se prever uma significativa redução dos níveis de serviço críticos e dos tempos de viagem, mostrando que o projeto do novo túnel beneficiará os usuários.

Entretanto, mesmo com as melhoras proporcionadas pelo novo túnel, nota-se que o gargalo das esteiras não é resolvido. Ao se levar em consideração uma situação com a retirada dessas, foi possível verificar uma melhora nos níveis de serviço, apesar de um leve aumento dos tempos de viagem.

Assim, pelas análises realizadas ao longo do presente trabalho, mostra-se recomendável a intervenção no atual projeto de circulação de pedestres entre as estações Consolação e Paulista. Dentre as propostas analisadas, a construção do novo túnel de integração associada à retirada de quatro esteiras mostra-se como a opção que melhor atende às condições de nível de serviço e, ainda, garante a acessibilidade, mantendo duas esteiras em funcionamento (melhorando ainda mais o nível de serviço, apesar de leve aumento no tempo de percurso).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APTA Standards Development Program – Recommended Practice, Bus Rapid Transit Stations and Stops (2010)

B.D. Hankin, R.A. Wright. *Passenger flow in subways*. Oper. Res. Quart. 9 81-88 (1958)

BASSANEZI, R. C. *Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática*. São Paulo: Contexto (2002)

BESSA, Vagner. *Emprego e investimento na cidade de São Paulo – o papel do centro corporativo metropolitano*. In: SEADE (São Paulo). Primeira Análise. São Paulo: SEADE, 2014, n. 17.

BRASIL. *Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade e Legislação Correlata*. 2. ed., atual. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2002.

BRASIL. *Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012*. Institui as diretrizes da Política Nacional de Mobilidade Urbana; revoga dispositivos dos Decretos-Leis nos 3.326, de 3 de junho de 1941, e 5.405, de 13 de abril de 1943, da Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1º de maio de 1943, e das Leis nos 5.917, de 10 de setembro de 1973, e 6.261, de 14 de novembro de 1975; e dá outras providências. Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm)> Acesso em 01 de julho de 2018.

BRASIL. *Lei Nº 16.050, de 31 de julho de 2014*. Aprova a Política de Desenvolvimento Urbano e o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo e revoga a Lei nº 13.430/2002. Disponível em <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/2014-07-31\\_-\\_lei\\_16050\\_-\\_plano\\_diretor\\_estrategico\\_1428507821.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/2014-07-31_-_lei_16050_-_plano_diretor_estrategico_1428507821.pdf)> Acesso em 01 de julho de 2018.

COMPANHIA DO METROPOLITANO DE SÃO PAULO. Metrô de São Paulo Linha-4 Amarela – Projeto fundional. São Paulo: Metrô, 1997

D. Helbing, P. Molnar, F. Schweitzer. *Self-Organization of Complex Structures: From Individual to Collective Dynamics*. Gordon and Breach 569-577 (1997)

D. Helbing, M. Isobe, T. Nagatani, K. Takimoto. *Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation dynamics*. Physical Rev. E 67 (2003)

D. Helbing. *A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians Complex system*, 6:391-415 (1992)

D. Helbing, P. Molnar. *Social force model for pedestrian dynamics* (1998)

D. Helbing, P. Molnar. *Self-Organization Phenomena in Pedestrian Crowds* (1998)

Dirk Helbing, Peter Molnar, Illes J Farkas, Kai Bolay. *Self-organizing pedestrian movement*. Environment and Planning B: Planning and Design, volume 28, pages 361-383 (2001)

Dirk Helbing. *Verkehrsdynamik [Traffic Dynamics]*. Springer (1997)

Dirk Helbing. *A mathematical model for the behavior of pedestrians*. Behavioral Sci. 36 298-310 (1991)

Dirk Helbing, Lubos Buzna, Anders Johansson, Torsten Werner. *Self-Organized Pedestrian Crowd Dynamics: Experiments, Simulations, and Design Solutions*. Institute for Operations Research and the Management Sciences (2005)

FTA (Federal Transit Administration). *Transit Capacity and Quality of Service Manual*. 3 ed. Washington: Transportation Research Board, 2003.

FRIIS, Cecilia; SVENSSON, Lina. *Pedestrian Microsimulation. A Comparative Study Between the Software Programs Vissim and Viswalk (Master of Science thesis)*. Department of Civil and Environmental Engineering Chalmers, University of Technology., Göteborg, Sweden58, 2013.

GUALDA, N. D. F. *Terminais de transporte: contribuição ao planejamento e ao dimensionamento operacional*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1995.

GUAZZELLI, C. S. *Contribuição ao dimensionamento operacional e à avaliação de terminais urbanos de passageiros metroviários e ferroviários / C.S. Guazzelli – ed.rev.* – São Paulo, 2011.

GIANNOTTO, Joice Chimati. *Um passeio pelas centralidades de São Paulo*. In: IV Colóquio Brasil-Portugal, 2016, São Paulo. Anais IV Colóquio Brasil-Portugal, 2016. p. 1-15.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Demográfico, 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO DE POLÍTICAS DE TRANSPORTE E DESENVOLVIMENTO. *Guia de Implementação de Políticas e Projetos de DOTS – 2017*. 63 p.

LAGERVALL, Malin; SAMUELSSON, Sandra. *Microscopic Simulation of Pedestrian Traffic in a Station Environment: A Study of Actual and Desired Walking Speeds*. 2014.

L.F. Henderson. *The statistics of crowd fluids Nature*, 229:381-383 (1971)

L.F. Henderson. *On the fluids mechanics of human crowd motion*, Transportation research, 8:509-515 (1974)

MARTIN, B. M; SANTIAGO, J. M; ALLIL, L. V; SOUZA, L. F. *Simulação e análise do fluxo de pedestres em terminais*. 2017. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2017.

PAPADIMITRIOU et al. *A critical assessment of pedestrian behaviour models*, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 12, No. 3, National Technical University of Athens, Department of Transportation Planning and Engineering, pp. 242-255 (2009)

PTV AG. *PTV VISSIM 10 User Manual*. PTV AG, 2017.

RIBOLDI, A. *Pedestrian dynamics: modelling and calibration of a 2-dimensional cellular automata model*. Politecnico di Milano, 110 p. (2003-2004)

SOARES, Isabelle Cristina Maciel de Brito et al. *O movimento de pedestres no entorno de nós de transportes em São Paulo: o espaço público como ambiente de interconexão entre modais nos casos Consolação/Paulista e Lapa*. 2015.

TRB - Transportation Research Board. *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, terceira edição. Estados Unidos da América, Washington, D.C.: 2013.

VASCONCELLOS, Eduardo Alcântara. *Mobilidade urbana: O que você precisa saber*. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.

VILLACA, Flávio. *São Paulo: segregação urbana e desigualdade*. São Paulo, v. 25, n. 71, p. 37-58, Abril. 2011. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142011000100004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142011000100004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 01 de Julho de 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142011000100004>.

WRIGHT, Lloyd. HOOK, Walter. *Manual do BRT. Bus Rapid Transit. Guia de Planejamento*, 2008.

YOSHIKI, Syuji; TATSUMI, Hiroshi; TSUTSUMI, Kayoko; MIYAZAKI, Toru; FUJIKI, Takuya. (2017). *Effects of Smartphone Use on Behavior While Walking*. Urban and Regional Planning Review. 4. P. 138-150.