

## **CATEGORIA 1**

# **BENEFÍCIOS DE UMA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL PARA O SISTEMA METROFERROVIÁRIO**

## **INTRODUÇÃO**

Este artigo tem por objetivo apresentar os benefícios de uma simulação computacional para o sistema metroferroviário, por meio do emprego de ferramentas e softwares de modelagem e simulação do comportamento dos passageiros (entidades) dentro e fora das estações e trens, auxiliando na resolução de problemas relacionados à ciência de mobilidade e permitindo um melhor planejamento de todo o cenário operacional.

Todos os dias, milhões de passageiros deslocam-se pela malha metroferroviária, realizando interligações entre as linhas de metrô, trem e ônibus. Todos com o mesmo objetivo: ir de um ponto da cidade para outro de forma eficiente, segura e confortável.

O sistema de transporte público é o mais procurado entre as pessoas na cidade de São Paulo, bem como em outras cidades do mundo, a exemplo de Vancouver, Nova York,

## 26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Tóquio, entre outros. Isso ocorre porque este é um meio de locomoção rápido, econômico e, dado o crescimento populacional das grandes cidades, torna-se também um meio sustentável.

Todos os anos, a demanda de passageiros que utilizam o transporte público tem um aumento expressivo e para atender a essa necessidade é preciso aumentar a capacidade de absorção dessa demanda. No sistema metroferroviário, essa absorção é tratada por meio de redução no intervalo entre trens e aumento da vazão nas linhas de bloqueio e escadas. Porém, em dado momento, essas manobras por si só não resolvem o problema, ou seja, são necessárias intervenções maiores, como alteração na estrutura civil de uma estação, redução do intervalo, necessidade de ajustes no sistema de sinalização de via e, até mesmo, aquisição de novas composições.

No passado, os estudos que evidenciavam tais necessidades eram realizados de forma manual por intermédio de uma média histórica de evolução da demanda, versus a capacidade de oferta de uma determinada linha ou estação. Com base nos resultados obtidos e o nível de serviço eram definidas as estratégias que seriam adotadas.

Nos dias atuais, com o avanço da tecnologia, ainda é utilizada essa mesma forma de estudo, porém, com o auxílio das ferramentas de simulação computacional, é possível incluir os dados coletados e modelar todo o projeto, de forma que se obtenha um resultado concreto, dando ao operador a visualização antecipada do cenário.

O principal objetivo desse trabalho é apresentar como a simulação computacional pode agregar aos estudos de fluxo de passageiros nas estações e trens do sistema

## 26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



metroferroviário. Dessa forma, é possível obter resultados precisos, assegurando uma visão ampliada do processo de trânsito dos passageiros ao longo de todo o modal, promovendo uma tomada de decisão mais segura.

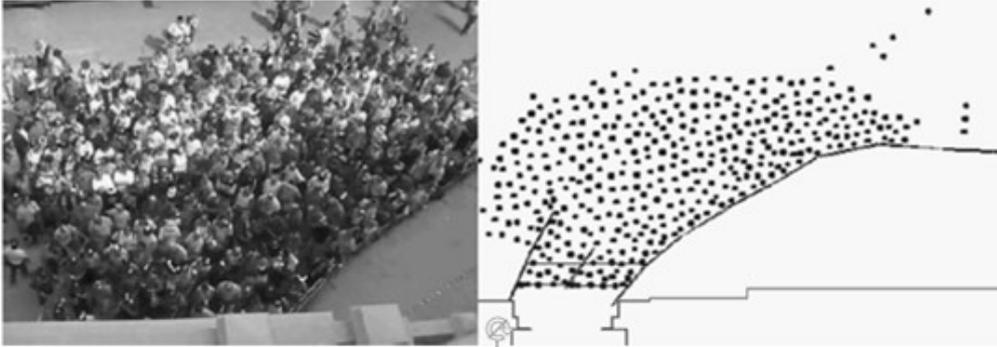
### DIAGNÓSTICO

O sistema metroferroviário de São Paulo chegou a transportar, em média, no segundo semestre de 2019, 8,3 milhões de passageiros/dia útil (CPTM, Metrô, ViaMobilidade e ViaQuatro). Esse número representa pouco mais de 73% da população da capital do estado que, no último Censo, atingiu pouco mais de 11,2 milhões de habitantes (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/panorama>).

Atualmente, todo o modal conta com aproximadamente 183 estações e 372 quilômetros de extensão (CPTM, Metrô, ViaMobilidade e ViaQuatro). O sistema ainda conta com interligações com outras modalidades de transporte (ônibus, trólebus, entre outros), além de permitir a transferência entre as linhas da própria malha.

Com um sistema desse porte, um erro de projeto, seja em uma estação já existente ou em um projeto futuro, pode impactar diretamente na rotina de milhares de passageiros. Por esse motivo, a tomada de decisão é crucial.

A simulação computacional permite a antecipação dos resultados, uma vez que o simulador prevê o comportamento atual e futuro dos passageiros dentro do modal.



**Figura 1 – Exemplo representativo de uma simulação computacional**

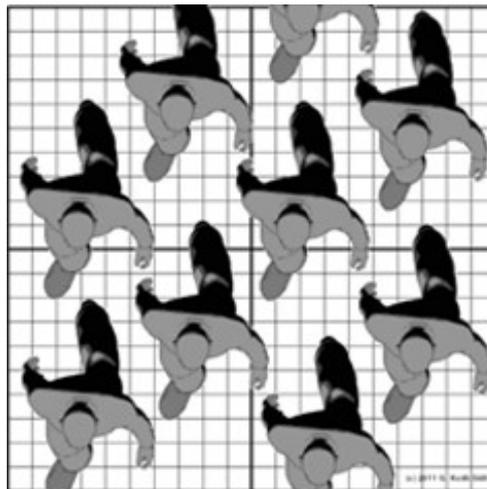
À esquerda da figura 1 está representado um fluxo real de passageiros e à direita a simulação computacional que foi modelada para reproduzir o mesmo comportamento.

Para que a modelagem apresente um resultado análogo ao cenário real, é necessário programar as entidades no simulador, fazendo com que elas reproduzam o mesmo comportamento dos passageiros nas situações reais de tráfego durante o seu percurso. Essa programação é realizada com base nos dados técnicos e científicos do local a ser estudado, ou seja, por meio das informações de origem e destino das pessoas, da relação de oferta e demanda, dos intervalos entre os trens, além das informações do espaço físico, que são: a capacidade dos corredores, acessos e escadas, os obstáculos durante o percurso, o tempo do trajeto, os pontos de aglomeração, entre outros.

Após adição e modelagem das informações no software, o simulador faz todo o trabalho de reprodução do comportamento dos passageiros. Isso ocorre porque a ferramenta utiliza o princípio do fenômeno de multidões, que compreende o comportamento das pessoas em locais com um número expressivo de indivíduos trafegando no mesmo sentido ou em sentido oposto.

Por meio do simulador é possível avaliar em tempo real o nível de satisfação das entidades, o nível de conforto e serviço, o tempo de percurso, os intervalos, além de possibilitar a identificação de vícios e corrigi-los.

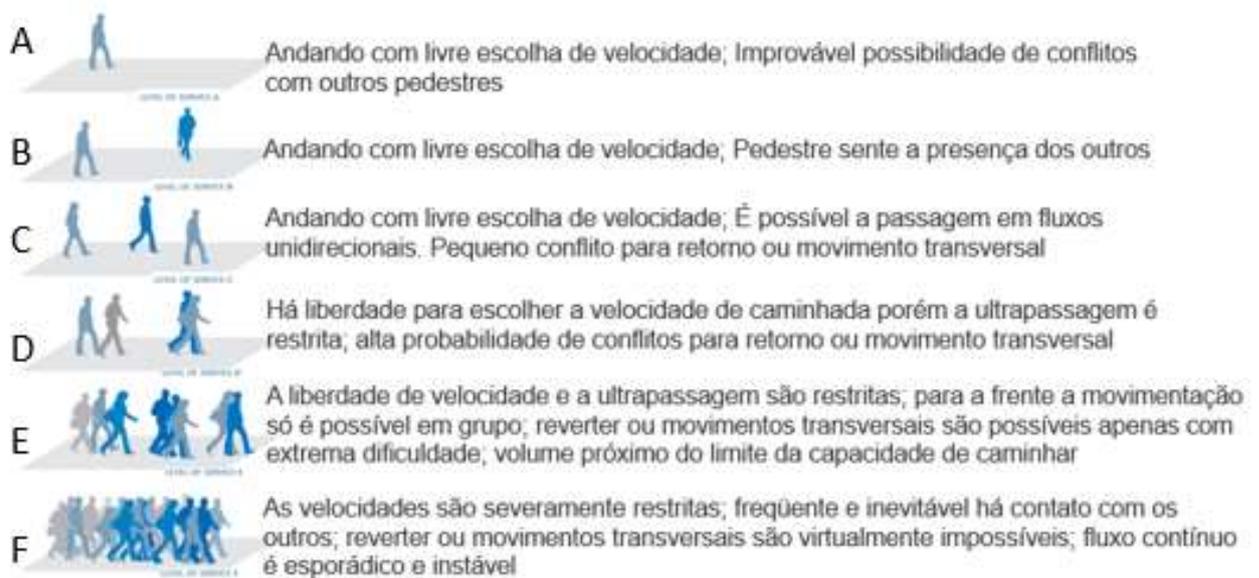
O nível de serviço é o padrão internacional adotado para avaliação da capacidade e densidade do tráfego de pedestres nas estações e trens. O modelo mais aceito é o desenvolvido pelo engenheiro americano John Fruin, autor do livro (Pedestrian: Planning and Design, 1971).



**Figura 2 – Definição de níveis de serviço por John Fruin**

Fruin definiu o conceito de nível de serviço onde a relação entre a densidade e a velocidade dos pedestres são demonstrados como diretrizes para o conforto e a segurança.

Nas figuras abaixo estão apresentadas as classificações dos níveis de serviço para pessoas paradas (plataformas) e caminhando, também conhecida como escala LOS (Level of Service).

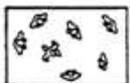


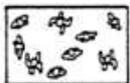
Fonte: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3ª Edição, 2013.

Figura 3 – Níveis de serviço para caminhada

26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA  
7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- 

Ⓐ Permanente e com livre circulação sem perturbar outras pessoas dentro da fila
- 

Ⓑ Permanente e com circulação parcialmente restrita para evitar perturbar outras pessoas dentro do fila
- 

Ⓒ Permanente e com restrita circulação; é possível incomodar os outros; ainda permanece com a densidade dentro da gama de comodidade pessoal
- 

Ⓓ Permanente, com circulação severamente restrita, e é impossível evitar o contato; o movimento para a frente da fila só é possível em grupo; há longo prazo de espera com densidade desconfortável
- 

Ⓔ O contato físico é inevitável; circulação na fila não é possível; filas neste densidade só podem ser sustentadas por um curto período antes de evoluir para um desconforto sério.
- 

Ⓕ Praticamente todas as pessoas na fila estão paradas e em contato físico direto com outros; esta densidade é extremamente desconfortável; nenhum movimento é possível dentro da fila; o potencial para ocorrência de pânico é existente.

Fonte: Transit Capacity and Quality of Service Manual, 3ª Edição, 2013.

Figura 4 – Níveis de serviço para pessoas paradas

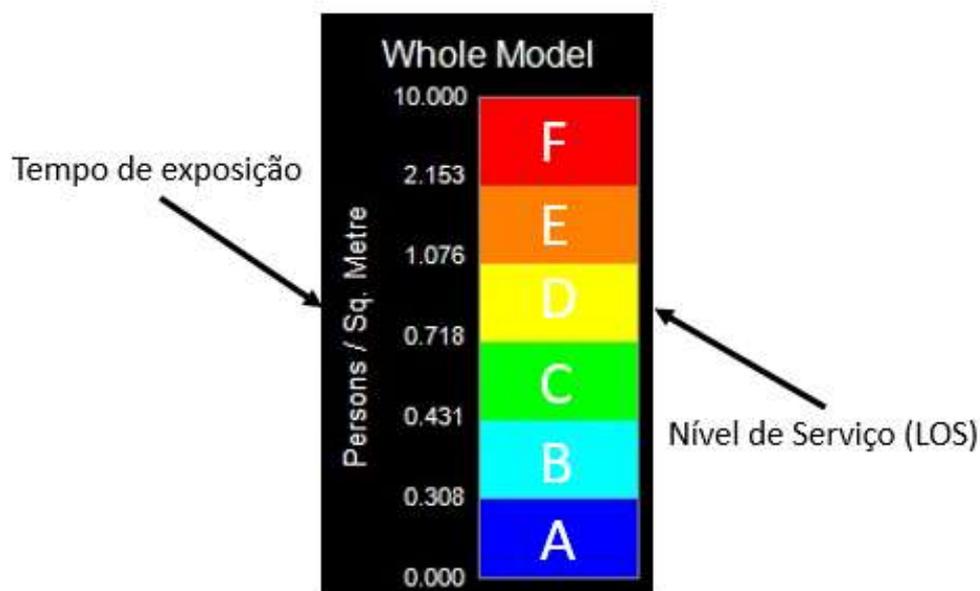


Figura 5 – Escala derivada do padrão "Fruin" (Pedestrian: Planning and design, 1971)

A escala apresentada na figura 5 é o modelo utilizado para medição do nível de serviço nas simulações.

Para melhor demonstrar os benefícios da simulação computacional para o sistema metroferroviário serão apresentados dois estudos de caso envolvendo projetos consagrados que utilizaram a ferramenta durante a sua fase de planejamento.

### **ESTUDO DE CASO – Túnel de interligação Consolação (CNS) – Paulista (PTA)**

Inaugurada em 25 de maio de 2010, a estação Paulista da Linha 4-Amarela viabiliza a transferência de passageiros do seu sistema para a Linha 2-Verde (estação Consolação) e vice-versa. Isso foi possível porque entre as estações foi concebido um túnel de 104 metros de comprimento por 7,7 metros de largura. O projeto original deste túnel contemplava uma demanda de 24.000 passageiros/hora em ambos os sentidos. Inaugurado no dia 21 de junho de 2010, o túnel continha 6 esteiras rolantes para auxiliar no processo de tráfego dos passageiros entre as estações.



Figura 6 – Túnel de interligação CNS-PTA (2018)

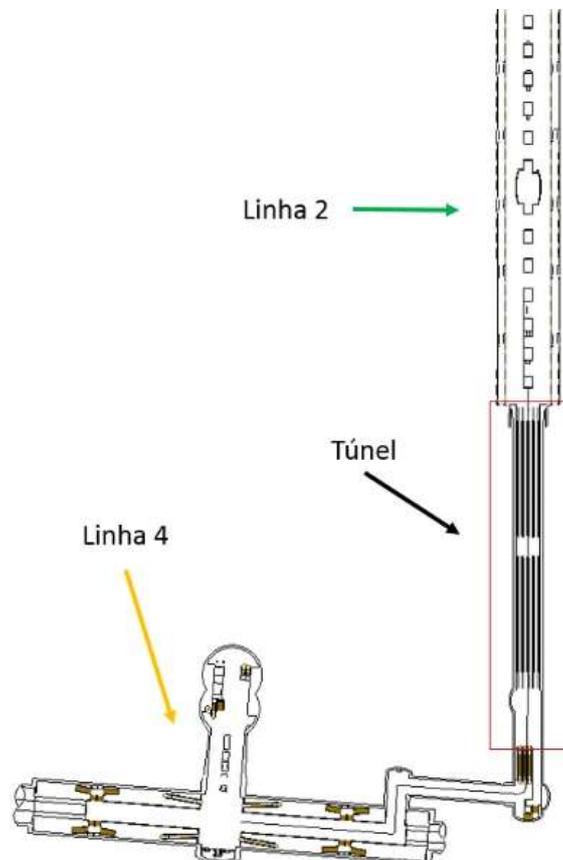


Figura 7 – Planta da transferência

## 26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Em 2017 (data do estudo para remoção das esteiras), a demanda na transferência chegava a aproximadamente 23.595 passageiros no horário de pico, aproximando-se da capacidade projetada para o túnel.

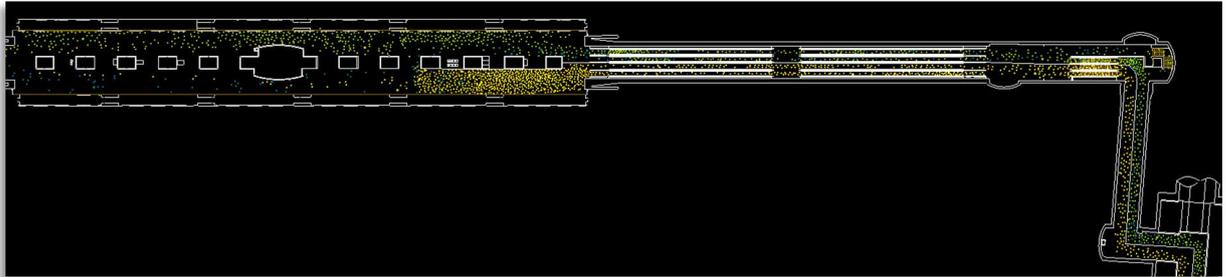
As operadoras que administram as estações dessas transferências estudaram uma forma de aumentar a vazão dos passageiros no túnel de forma que se reduzisse as aglomerações nas plataformas e nos sentidos de ambas as estações. Nesse estudo foi utilizada a simulação computacional para avaliação das possíveis soluções, validando os estudos propostos e dando maior segurança na tomada de decisão para as mudanças recomendadas.

A princípio o cenário modelado foi o real, pois somente a partir de uma simulação fiel ao cenário atual é que se começam as modificações para obtenção de um cenário solução.



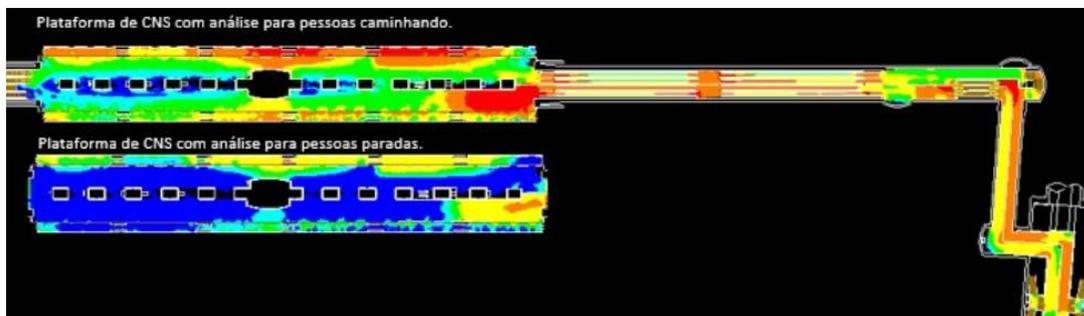
(Fonte: <https://diariodotransporte.com.br/2017/11/08/metro-anuncia-novo-tunel-entre-estacoes-paulista-e-consolacao-ligando-linhas-verde-e-amarela/>. Acesso em: 19 jun. 2020).

**Figura 8 – Transferência CNS – PTA (Pico tarde, 2017)**



**Figura 9 – Simulação da transferência CNS – PTA (Pico Tarde, 2017)**

O nível de serviço no túnel estava entre E e F na escala Fruin, sendo estas as piores classificações para a prestação de serviço neste modal. Para se ter uma ideia, o tempo de percurso no sentido da Estação Paulista era, em média, de 500 segundos (8min e 20seg).



**Figura 10 – Mapa de calor do túnel baseado na escala de Fruin**

Com base nas informações apresentadas acima, foi possível visualizar o cenário real naquele momento facilitando o entendimento do contexto e viabilizando a percepção de um cenário solução.

Dentre as soluções apresentadas para a lotação do túnel a mais conhecida é a remoção dos 2 conjuntos de esteiras, que dada sua eficiência em aumentar a vazão dos

passageiros no túnel, melhorando o nível de serviço, foi a solução adotada e implantada na prática.

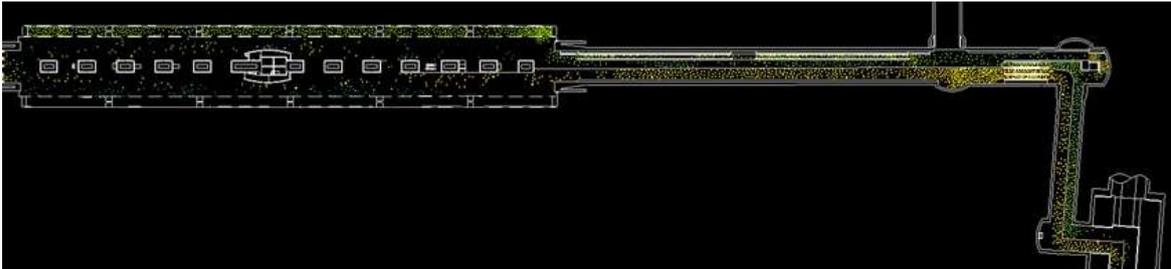


Figura 11 – Simulação da transferência CNS – PTA (cenário solução, sem esteiras)

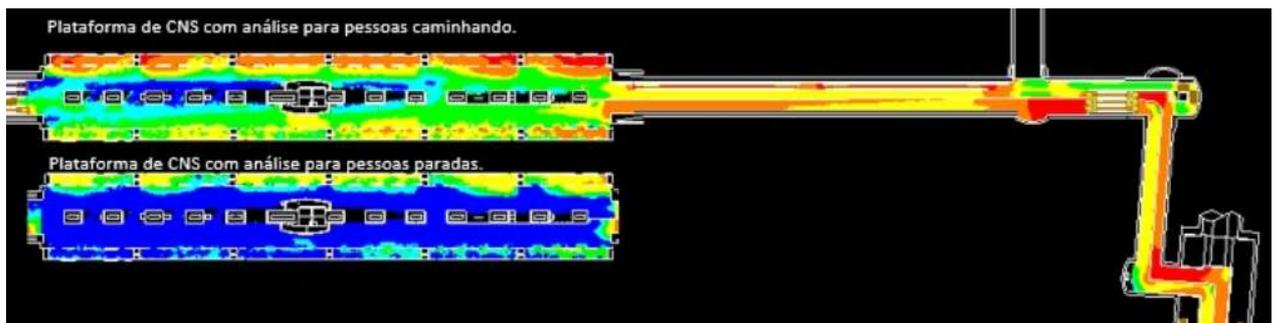


Figura 12 – Mapa de calor do túnel (cenário solução, sem esteiras)

É possível observar que o nível de serviço (LOS) melhorou bastante nas regiões do túnel e das plataformas da Linha 2-Verde, ou seja, é visível como a ferramenta apresentou, de forma clara, como seria o comportamento das entidades com a nova estratégia a ser adotada.

## **ESTUDO DE CASO – Acesso estação Capão Redondo**

Inaugurada em 20 de outubro de 2002, a estação Capão Redondo da Linha 5-Lilás atende a população da zona sul de São Paulo, onde sua demanda diária atualmente representa cerca de 16% do total de entradas dos passageiros da linha.

A estação tem capacidade para atender pouco mais de 26 mil passageiros/ hora pico, já com a nova configuração, e tem integração com um terminal de ônibus que é responsável por desembocar boa parte dos passageiros habituais dessa estação. Com a conclusão do ramal, totalizando as atuais 17 estações, o fluxo diário na estação ultrapassou 100 mil passageiros em dias úteis, chegando a um aumento de cerca de 30% entre os anos de 2018 e 2019.

Nesse contexto, a estação passou a represar seus passageiros, visto que a estrutura física do local não mais suportava a nova capacidade de transporte. Novamente, para auxiliar nesse estudo, foi utilizada a simulação computacional para avaliação das possíveis soluções, validando os estudos propostos e proporcionando mais segurança na tomada de decisão para as mudanças recomendadas.



**Figura 13 – Acesso estação Capão Redondo (2019)**



**Figura 14 – Linha de bloqueio, estação Capão Redondo (2019)**

Para readequar a capacidade de transporte da estação foram levantados dados de operação como: intervalo entre trens, oferta de trens, capacidade da linha de bloqueio, escadas fixas e rolantes, entre outros. Também foram apuradas informações sobre o intervalo dos ônibus para compreender o período de pico dos acessos à estação.

Com todas informações calibradas iniciou-se o processo de modelagem e simulação.



Figura 15 – Simulação Estação Capão Redondo (cenário original)

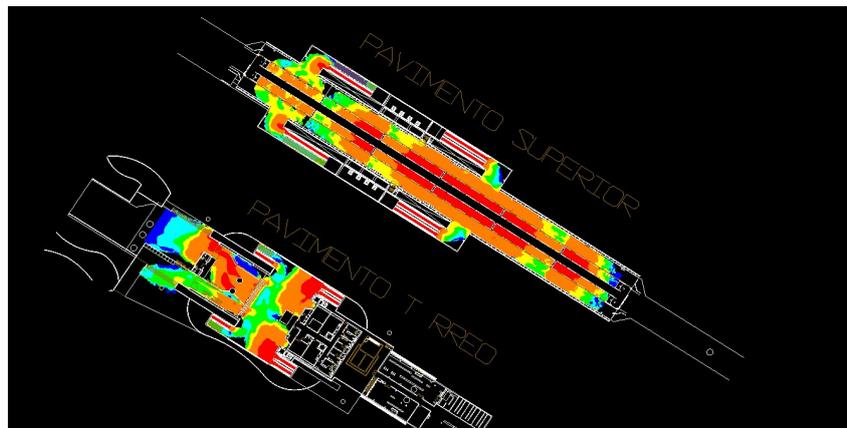


Figura 16 – Mapa de calor Estação Capão Redondo (cenário original)

É possível observar que o nível de serviço (LOS) prestado naquele momento, no acesso e nas plataformas, estava classificado entre E e F na escala Fruin, ou seja, uma condição ruim de operação.

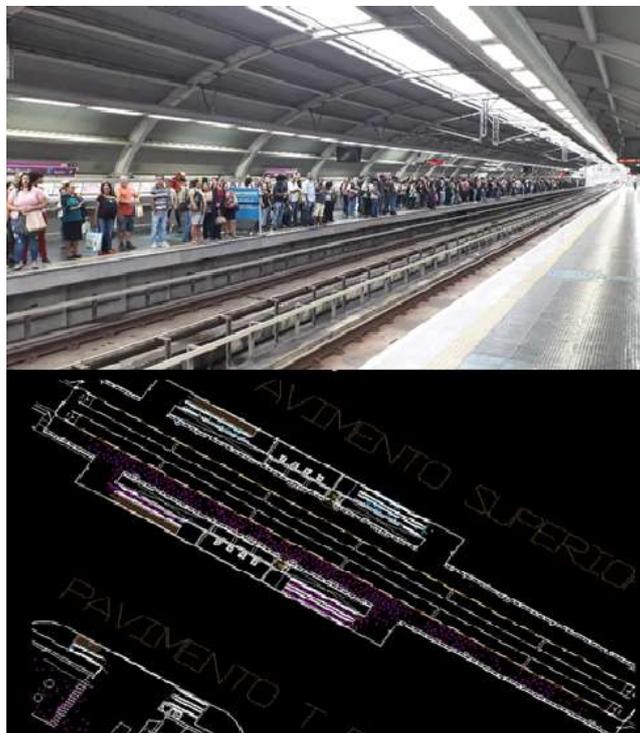
Ao analisar o mapa de calor, foi possível perceber que naquele momento a estação contava com apenas um acesso da rua à área paga e as plataformas estavam carregadas,

## 26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



indicando uma baixa oferta de trens. Outro ponto observado foi a capacidade de absorção das escadas e o espaço físico que estava dividido entre absorver a demanda da rua e do terminal.

Com o cenário base refletindo o comportamento real da estação naquele momento era a hora de modelar os dados para avaliação e validação de um cenário solução.



**Figura 17 – Simulação estação Capão Redondo (cenário solução)**

Para o cenário solução foram adotadas as seguintes ações a nível de plataforma:

- Alteração do nível de desempenho dos trens para aumentar a capacidade de transporte na estação;

**26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**



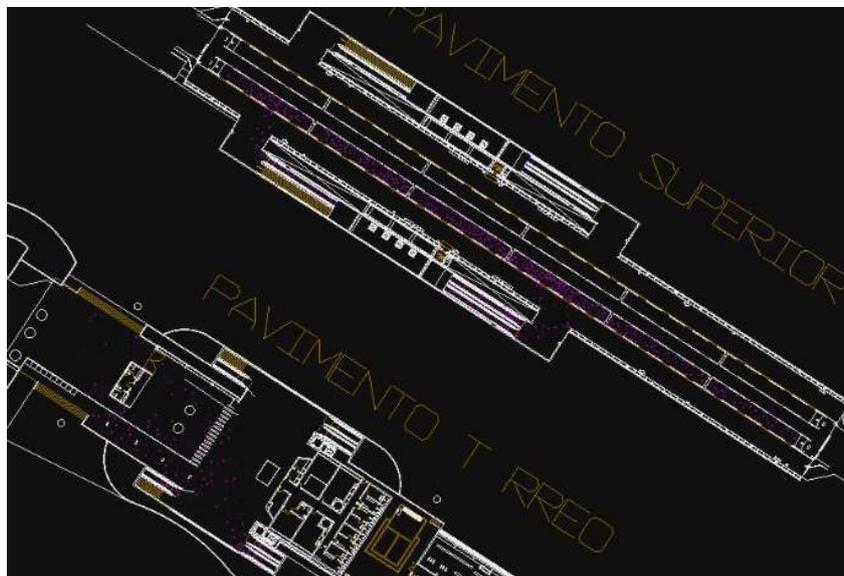
- Ajuste dos tempos de parada na estação, reduzindo ao tempo mínimo, para melhorar a capacidade de transporte na estação;
- Implantação da operação com embarque organizado e de modo consciente na estação terminal da outra ponta do ramal com objetivo de reduzir o intervalo do carrossel e aumentar a capacidade de transporte na estação;
- Adição de mais um trem em circulação para também reduzir o intervalo entre trens.

**Tabela 1 – Otimização do carrossel**

<b>Nova capacidade de transporte na estação</b>	<b>Intervalo entre trens (Cenário Original)</b>	<b>Após ações de otimização (Cenário Solução)</b>
Intervalo (s)	184	165
Capacidade (pass./sentido/hora)	29.386	32.770

Agora serão apresentadas as ações adotadas na região de acesso à estação:

- Expansão do número de bloqueios de acesso à estação;
- Substituição da validação por contadores eletrônicos na área de integração;
- Novo acesso por rampa;
- Novo acesso exclusivo ao terminal na área externa da estação;
- Áreas adicionadas à circulação de passageiros na estação.



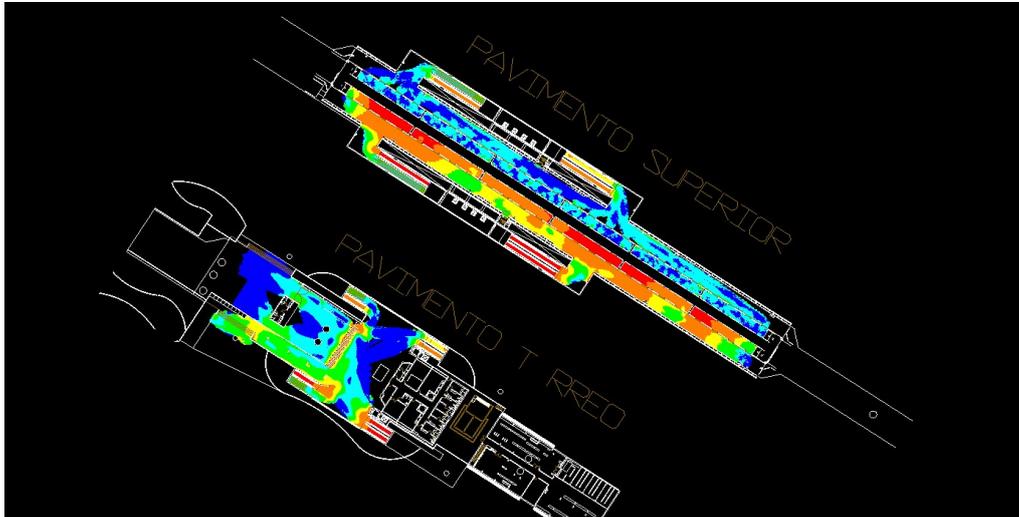
**Figura 18 – Simulação, acesso da estação (cenário solução)**

É possível observar na figura acima que o terminal ganhou um novo acesso com um sistema de contagem por câmera, possibilitando a liberação de 4 bloqueios para validação da passagem dos clientes provindos da rua. Ainda é possível analisar que houve a abertura de um novo acesso por rampa e a ampliação da área de circulação da estação, possibilitando a realocação de alguns equipamentos como “Vending Machine” para uma nova área sem impacto na circulação dos passageiros.

**Tabela 2 – Comparativo de acesso à estação**

	Cenário Base	Cenário Solução
Acesso Terminal	8000 pass/h	12000 pass/h
Acesso da Rua	10560 pass/h	14440 pass/h

Na figura abaixo, é possível notar a mudança no nível de serviço da estação após a adoção deste cenário solução.



**Figura 19 – Mapa de calor (cenário solução)**

Para essa intervenção, todas as etapas do estudo foram simuladas, o que possibilitou a identificação e correção de possíveis vícios ainda na fase de projeto, proporcionando mais segurança na tomada de decisão, visto que uma mudança desse porte poderia impactar diretamente na rotina dos passageiros.

## **ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Com o auxílio da simulação computacional nos estudos aqui apresentados ficaram evidentes os benefícios que essa ferramenta proporciona às temáticas de fluxo e multidões envolvendo o universo metroferroviário, uma vez que o software, além de agregar dados para as tomadas de decisões, também auxilia na visualização de um cenário futuro, até mesmo de uma estação ou linha que ainda será projetada.

Tanto na intervenção do túnel entre as estações Consolação e Paulista quanto na otimização da capacidade de transporte na estação Capão Redondo houve a participação da simulação computacional. Durante toda a fase de estudos, o programa esteve presente para auxiliar as tomadas de decisões e assegurar o melhor caminho a ser trilhado.

Para ambas as análises, os exercícios de levantar dados e fazer pesquisas técnicas e científicas foram mantidos. Essas informações são cruciais para qualquer intervenção ou melhoria, porém, a simulação nos permite a antecipação dos resultados proporcionando uma percepção visual dos elementos calculados nos bastidores.

É possível ainda realizar simulações mais complexas para aperfeiçoar a percepção dos resultados como, por exemplo, a intervenção na estação Capão Redondo, elaborada por meio de uma simulação visual dos resultados na parte civil.



**Figura 20 – Estação Capão Redondo (simulação vs resultado final)**

Ao observar as duas imagens é nítido como o resultado da intervenção é semelhante ao que foi apresentado na simulação.

## **CONCLUSÕES**

Pelo que foi exposto é possível entender que a integração dos estudos técnicos e científicos, tratados para avaliar a capacidade de melhoria em uma determinada estação ou fluxo de passageiros, em conjunto com as ferramentas de simulação computacional, viabilizam a percepção de todo o projeto de forma antecipada, garantindo mais segurança no momento de tomada de decisão, seja ela para incluir uma escada rolante ou remodelar toda uma estação.

Dada a evolução da tecnologia, é possível encontrar no mercado diversas ferramentas de simulação, desde uma simulação local básica em 2D até uma simulação complexa em 3D de toda uma linha de metrô ou trem. O custo para uma simulação varia de acordo com a necessidade. Por esse motivo é importante que o operador levante a necessidade de internalização dessas atividades ou contrate uma empresa terceira.

De qualquer forma, a simulação computacional permite aos seus operadores a oportunidade de testar várias possibilidades de cenário, medida que reduz o tempo do estudo e viabiliza uma análise visual do comportamento das entidades. Assim é possível avaliar prováveis vícios ou falhas de projetos que apareceriam somente com um aumento expressivo na demanda de passageiros no local.

Dito isso é perceptível o benefício do emprego desta tecnologia para o sistema metroferroviário, uma vez que a ferramenta possibilita a percepção de cenários futuros, com grau de confiabilidade maior e resultados palpáveis. Além disso, com o uso da

simulação computacional, há uma melhor integração dos estudos elaborados entre as empresas, a exemplo das simulações do túnel entre Consolação e Paulista, que foi um projeto elaborado em conjunto entre os operadores do Metrô e ViaQuatro. Outros projetos, como a ampliação do corredor de transferência na estação Santo Amaro também foi um estudo elaborado entre os operadores da CPTM e ViaMobilidade.

Por fim, cabe ressaltar que o emprego da simulação computacional para o sistema metroferroviário tem sido algo inovador e agrega, de forma positiva, a obtenção dos resultados, oferecendo mais segurança nas tomadas de decisões, otimizando os recursos da empresa, garantindo resultados satisfatórios e preservando a qualidade dos serviços prestados, que por sua vez, reflete diretamente na satisfação dos passageiros e colaboradores das estações e trens.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

FRUIN, John J. (1970) – “Designing for Pedestrians: A Level of Service Concept” - polytechnic University of Brooklyn.

FRUIN, John J. (1971) – “Pedestrian Planning and Design” – Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners.

FTA (2013) – Federal Transit Administration, “Transit Capacity and Quality of Service Manual”.

**26ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**7º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**



CONCESSIONÁRIA DA LINHA 4 DO METRÔ DE SÃO PAULO S.A – VIAQUATRO. **Subsistema Central de Controle de Arrecadação e Passageiros (SCAP)**. 2020a. Acesso restrito.

CONCESSIONÁRIA DAS LINHAS 5 E 17 DO METRÔ DE SÃO PAULO S.A –VIAMOBILIDADE.

**Subsistema de Programação de Acessos e Serviços (SPAS)**. 2020a. Acesso restrito.

COMPANHIA DO METROPOLITADO DE SÃO PAULO – METRÔ. **Estação Consolação**.

Disponível em: <http://www.metro.sp.gov.br/sua-viagem/linha-2-verde/estacao-consolacao.aspx>. Acesso em: 19 jun. 2020.

COMPANHIA DO METROPOLITADO DE SÃO PAULO – METRÔ. **Dados de Linhas e**

**Estações**. Disponível em: <https://transparencia.metrosp.com.br/dataset/infraestrutura-dados-de-linhas-e-esta%C3%A7%C3%B5es>. Acesso em: 19 jun. 2020.

COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS – CPTM. **Dados gerais**. Disponível

em: <https://www.cptm.sp.gov.br/a-companhia/Pages/a-companhia.aspx>. Acesso em: 19 jun. 2020.