



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



**32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 3**

**IMPACTOS NO FLUXO DE PASSAGEIROS PARA OBRAS NO TÚNEL DA
TRANSFERÊNCIA ENTRE AS ESTAÇÕES PAULISTA E CONSOLAÇÃO**

INTRODUÇÃO

O complexo de transferência entre as estações Paulista (Linha 4 – Amarela) e Consolação (Linha 2 – Verde) constitui um dos principais pontos de integração da rede metroviária de São Paulo, concentrando elevados volumes de passageiros nos períodos de pico. O crescimento contínuo do volume de usuários ao longo dos últimos anos tem elevado a utilização da infraestrutura existente, aproximando determinados trechos dos seus limites operacionais de capacidade.

Nesse contexto, intervenções de manutenção, adequação ou expansão da infraestrutura exigem avaliação criteriosa de seus impactos sobre a circulação de passageiros, uma vez que reduções temporárias da capacidade dos espaços de transferência podem provocar degradação do nível de serviço, aumento dos tempos de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

percurso, retenção de usuários e riscos à segurança operacional associados à formação de aglomerações.

Em 2025, o Metrô de São Paulo desenvolveu um projeto de correção do greide da rampa existente no túnel de transferência entre as estações Paulista e Consolação, prevendo a execução das atividades em quatro fases ao longo de aproximadamente quatro meses de acordo com a figura 1, a seguir:

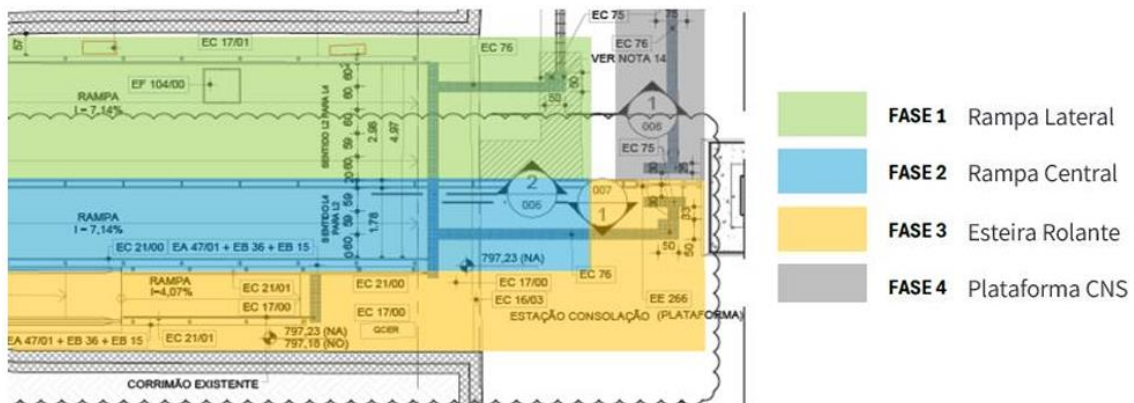


Figura 1: Faseamento da obra disponibilizado pelo MetrôSP

Considerando a relevância operacional desse eixo de integração, tornou-se necessária a avaliação prévia dos impactos decorrentes das interdições previstas em cada etapa da obra.

O presente trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade operacional do faseamento proposto para a execução da obra, por meio da simulação computacional do fluxo de passageiros, um modelo calibrado com dados reais de demanda, características físicas da infraestrutura e parâmetros operacionais das linhas envolvidas.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A partir desse modelo foram avaliados indicadores de desempenho relacionados à capacidade de circulação, níveis de serviço, densidade de ocupação e tempos de permanência dos passageiros, permitindo identificar os impactos potenciais das intervenções propostas sobre a operação do complexo de transferência.

DIAGNÓSTICO

1. Metodologia:

Foi realizada uma simulação computacional no software Legion Bentley de dois cenários operacionais:

- i. Cenário Base: Representando a operação atual para diagnóstico e base comparativa ao cenário proposto;
- ii. Cenário Fase 1 da obra: Modelado a partir da validação do cenário base com as determinações propostas pelo Metrô SP para observação dos possíveis impactos operacionais.

Os cenários foram calibrados com dados reais de demanda, informações de origem e destino dos passageiros, oferta operacional (intervalos, capacidade dos trens) e características físicas da estação (circulações, acessos e escadas). A modelagem permite reproduzir o comportamento dos passageiros no sistema, possibilitando a avaliação de indicadores operacionais como tempo de percurso, tempo de permanência, tempo de



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

evacuação, densidade, conforto e nível de serviço (LOS – Level of Service) conforme a classificação de Fruin.

2. Desenvolvimento:

Todas as simulações são alicerçadas por um cenário base, a fim de representar a operação atual e servir de ponto de partida e comparação para análise de impacto do futuro cenário. Foram utilizados os dados de demanda do dia 12/11/2024, maior demanda observada em dia útil típico (até a realização do estudo), sem ocorrências operacionais que impactaram a oferta de viagens, representando uma condição operacional crítica. Abaixo serão apresentadas as informações técnicas utilizadas:

Tabela 1 – Informações técnicas¹

Dados Técnicos Cenário Simulado							
Oferta		Demanda			Dados Operacionais		
Headway	L4	Plataformas	1 e 2	Fluxo Total	Bloqueios	Quantidade	Pass/min (Und)
	119	Embarque	16.420	26.020		-	12
Nº Trens	30	Desembarque	9.600		Capacidade do Trem	Aprox. 2000 Pass	
Entradas por Acesso da Estação					Escadas Fixas	12	60
Acesso Rua					Escadas Rolantes	14	120
Acesso Transferência Metrô					Período Simulado	17:50 às 18:50	

¹ Os números expressos na tabela 1 foram obtidos dos dados de bloqueios e contadores da estação estudada e os dados da matriz origem destino são da pesquisa PEPI para o segundo semestre de 2024.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

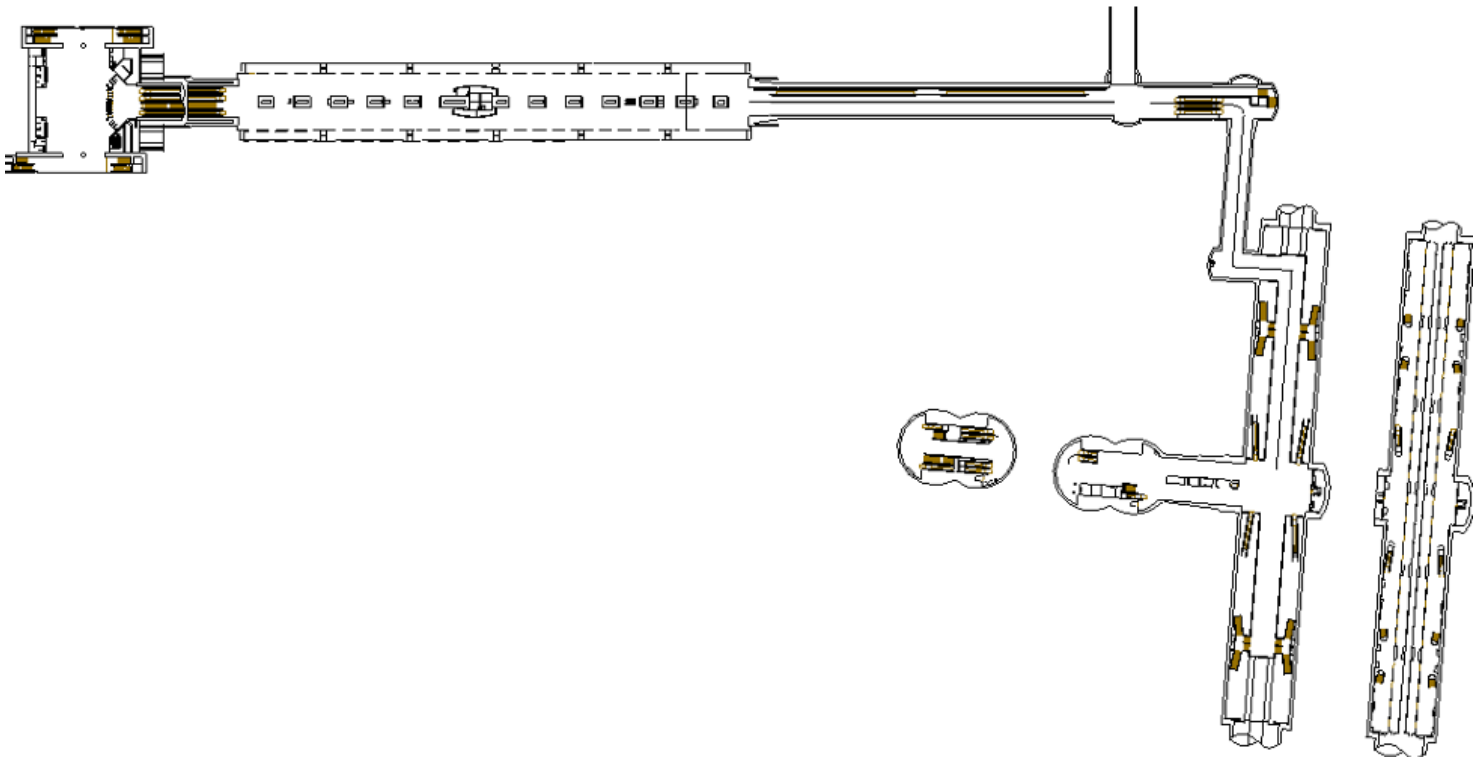


Figura 2: Planta do complexo Paulista-Consolação (Motiva)

Foi realizada a simulação em ambiente computacional e obtidos os principais produtos: O mapa de níveis de serviço que qualifica a operação de acordo com a escala determinada por Jonh Fruin e o mapa de densidades em relação aos tempos de permanência que auxilia na identificação de causa raiz e pontos críticos.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS
TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

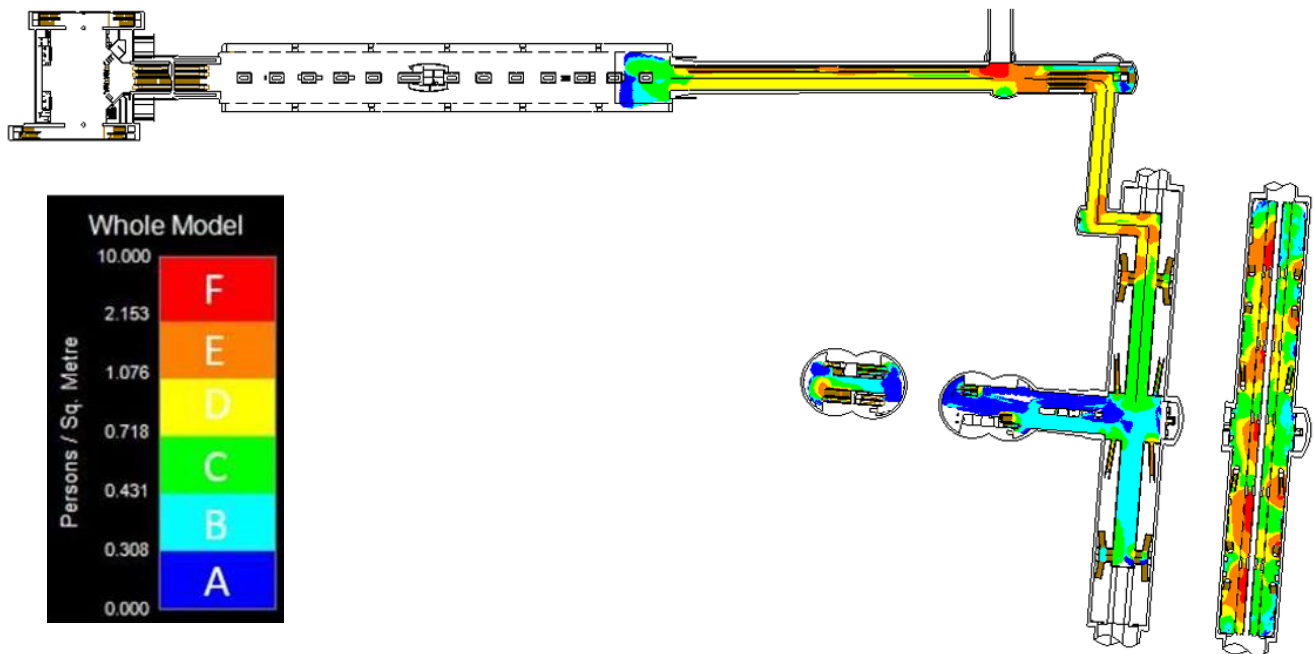


Figura 3: Mapa de Níveis de serviço extraído do Software de simulações (Motiva)

- | | |
|--|---|
| | Ⓐ 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.

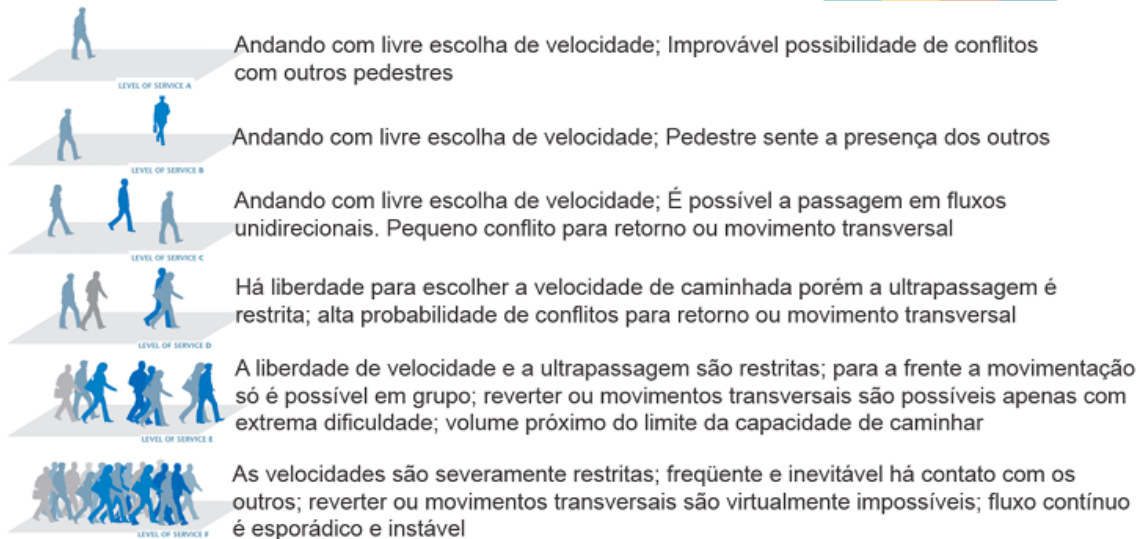
Figura 4: Classificação dos níveis de serviço para pessoas paradas



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



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

Figura 5: Classificação de Níveis de Serviço para pessoas em caminhada

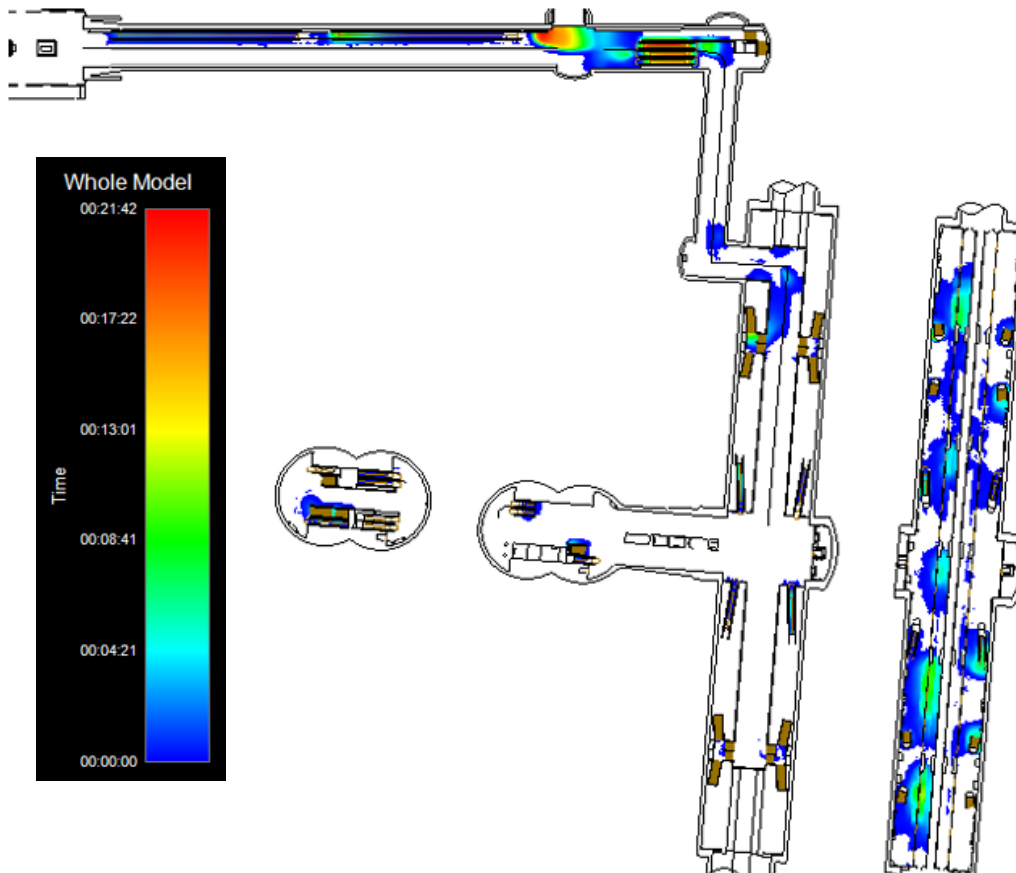


Figura 6: Mapa de Densidade por tempo de permanência (Motiva)



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

3. Considerações Técnicas do Cenário Base

De acordo com os dados apresentados a respeito da operação atual da estação Paulista, é possível observar que o nível de serviço desempenhado na transferência está entre D e E, com alguns pontos críticos de nível de serviço F, caracterizando condições próximas ao limite operacional definido por Fruin.

Em função do greide (inclinação) de 7,14% da rampa no túnel de transferência, a concessionária tem de, por obrigatoriedade, operar equipamentos de transporte (esteiras rolantes) que viabilizem o acesso de passageiros com mobilidade reduzida para a plataforma de CNS (consolação), de acordo com a norma de acessibilidade NBR 9050:2020. Entretanto, intrínseco ao comportamento do usuário normal do sistema, está a tendência de escolha do percurso de menor custo generalizado em relação ao tempo e/ou esforço, portanto, observa-se a formação de uma fila para acessar as esteiras rolantes da transferência, independentemente das restrições de mobilidade dos usuários, impedindo a livre circulação da região de embarque do equipamento de transporte conforme ilustrado na Figura 7.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

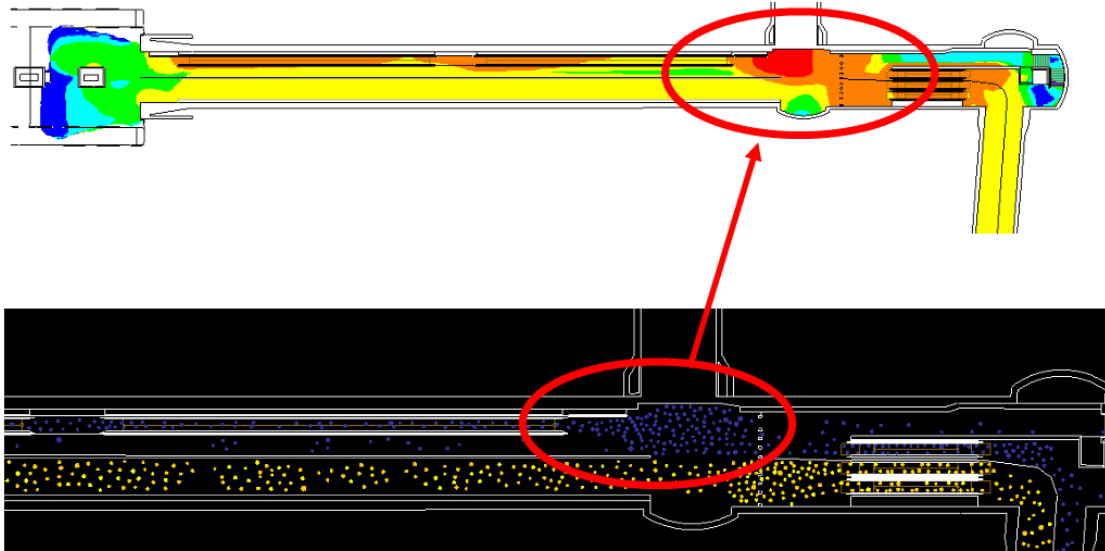


Figura 7: Imagens extraídas do software de simulação (Motiva)

A alta demanda de transferência sentido VQ (ViaQuatro) no Pico tarde, indica a plataforma de PTA (Paulista) com destino a LUZ, com maior volume de passageiros

no intervalo de tempo simulado, tendo 2 das 3 escadas rolantes do túnel, revertidas para esse sentido.

4. Validação do Cenário Base

Após a análise dos resultados do cenário base, a validação do modelo é feita por observações operacionais em campo e o seguinte fluxo de cálculo:

O túnel de transferência apresenta um vão útil de 4,77m mais a esteira rolante, que comportam, ao todo, 9 canais de circulação, com velocidades diferentes desempenhadas pela multidão de acordo com o sentido de circulação, ascendente (0,53m/s) ou descendente (0,6m/s) em relação ao greide da rampa, de acordo com a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

função de Tobler² deduzida da relação de Weidmann³ sobre níveis de serviço, enquanto a esteira rolante tem velocidade operacional típica 0,6m/s.

Com base nesses dados, foi determinada a capacidade de transporte do túnel, em um pico tarde de 180 passageiros por minuto sentido estação PTA, e 210 pass/min sentido a estação CNS, somados a 108 pass/min da esteira rolante, também sentido a CNS, totalizando 29.880 passageiros por hora.

De acordo com os dados de demanda (a cada 5 minutos) extraídos dos contadores de fluxo posicionados em frente as escadas rolantes da VQ, o dia típico estudado relatou um fluxo total de 20366 passageiros no horário de pico tarde, representando 68% da capacidade total do túnel, resultado compatível com os níveis de serviço observados no mapa do software (LOS médio entre D e E).

Dados Técnicos Cenário Simulado								
Oferta		Demanda			Dados Operacionais			
Headway	L4	Hora Pico	8.915	Fluxo Transf	Contadores	Quantidade	Pass/min (Und)	
	119	% das Transferências	43,77			9	60	
Nº Embarques	30	% do Consolidado	7,26		Esteiras Rolantes	2	108	
Oferta		Transferências			Canais de Circulação	9	210/180	
Headway	L2	Hora Pico	11451		20.366	Período Simulado	17:50 às 18:50	
		% das Transferências	56,23					
Nº Embarques		% do Consolidado	9,52					

Tabela 2: Dados de demanda para validação da simulação (Motiva)

² A função de Tobler calcula velocidade livre de percurso de acordo com a inclinação do terreno.

³ Weidmann foi o responsável por aprofundar a pesquisa de Fruin, de criou a curva fundamental de Weidmann que relaciona velocidade de percurso e níveis de serviço.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Verificação	Resultado
Observação de campo	Aderente
Fluxos observados	Aderente
LOS observado	Aderente
Capacidade estimada	Aderente

Tabela 3: Validação em Campo por observação

5. Cenário Fase 1 da Obra

Análogo ao cenário base, após sua validação matemática e de campo, e verificada representatividade na amostra dos dados operacionais utilizados, foi simulado o cenário Fase 1 da Obra planejada pelo Metrô para verificar a viabilidade de execução junto a manutenção da operação em níveis aceitáveis de qualidade e segurança, sendo a área hachurada em verde na Figura1, interditada nesta simulação, seguem os resultados obtidos:

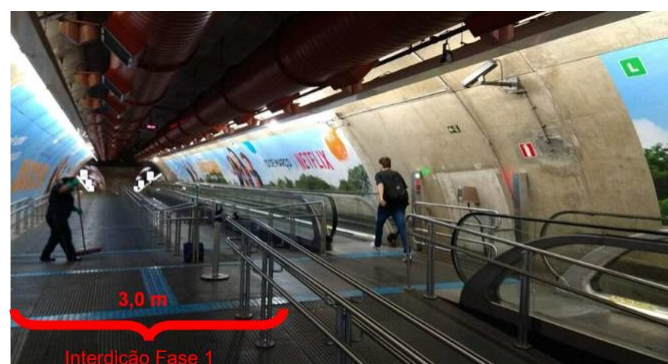


Figura 9: Demonstração da área interditada na Fase 1 da obra



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

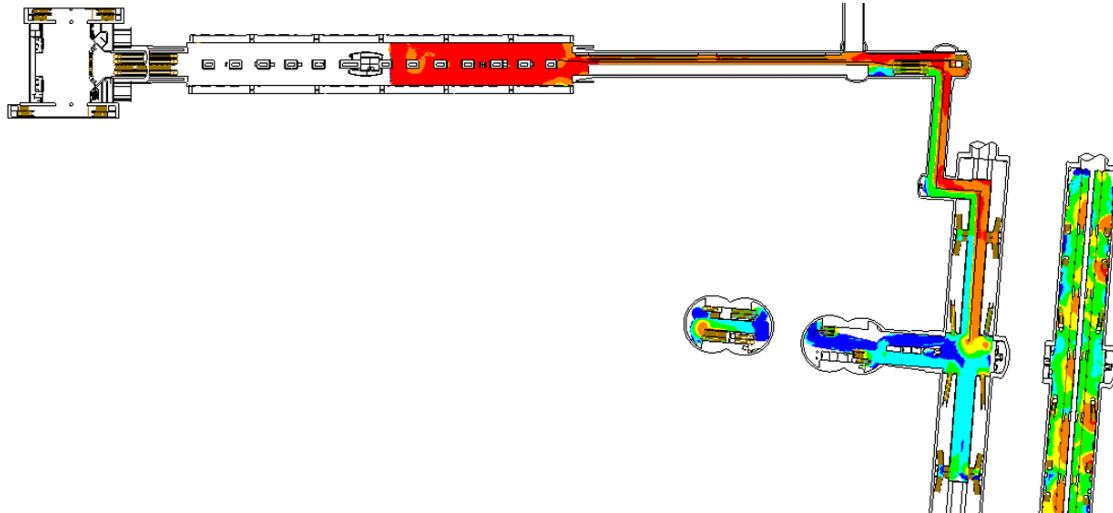


Figura 10: Mapa de Níveis de serviço Cenário Fase1 da obra (10 minutos de operação).

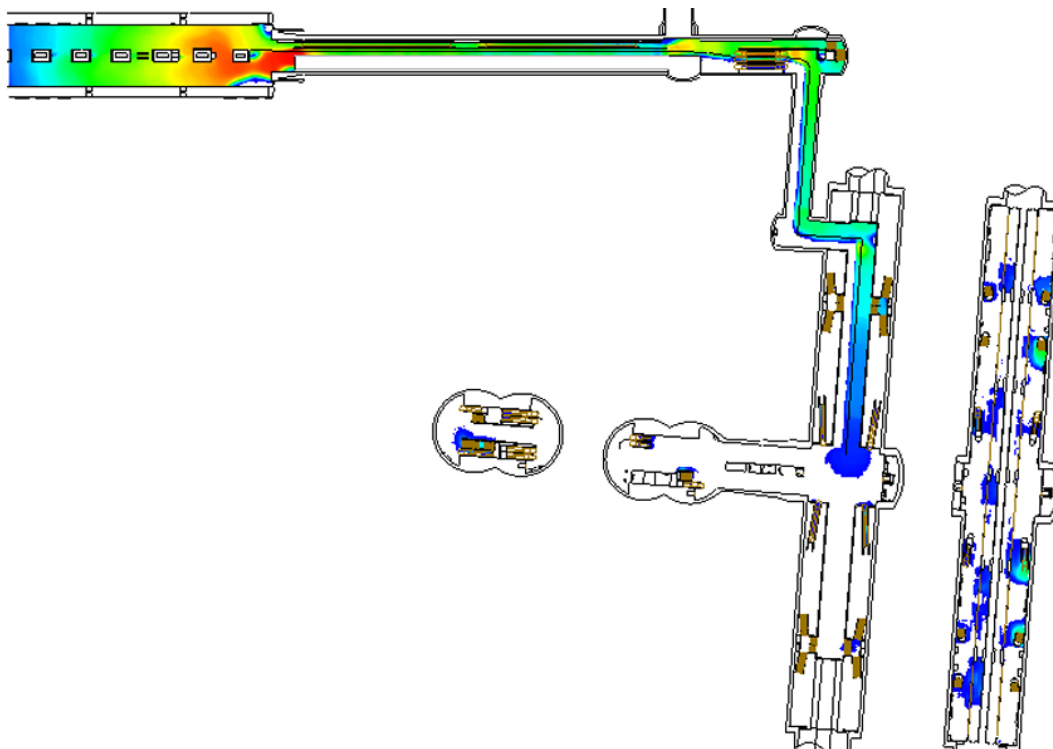


Figura 11: Mapa de tempo de permanência no cenário da Fase 1 da Obra. (Motiva)⁴

⁴ Os mapas de densidade por tempo de permanência indicam o tempo de permanência das entidades em um mesmo local no período de uma hora, porém, nesse cenário, como o software não foi capaz de completar uma hora de simulação, o mapa acima indica o tempo de permanência em apenas 10 minutos de análise, portanto, a escala seria 600% do observado.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A previsão para a qualidade da prestação de serviço nessas condições é de LOS F desde a transferência à plataforma de CNS, comprometendo a operação segura e eficiente do túnel de transferência. A simulação foi interrompida aos 10 minutos devido ao elevado esforço computacional decorrente da saturação operacional observada, não concluindo os 60 minutos de análise para comparação entre cenários, entretanto, foi possível realizar diversas explanações.

Observou-se acúmulo significativo de passageiros na plataforma, ao considerar um headway de 130 segundos na Linha 2, calcula-se o comprometimento do desembarque em 9 chegadas consecutivas apenas durante os 10 minutos simulados.

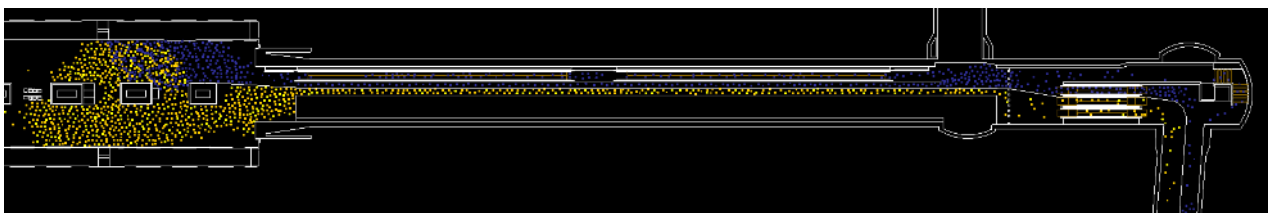


Figura 12: Imagem da simulação em software (Motiva)

A interdição permite a circulação dos dois sentidos de transferência apenas pelos 2 canais da esteira rolante (obrigatoriamente sentido CNS) e 2 canais da rampa fixa (1,78 metros indicados na hachura “fase 2” na Figura 1), sendo obrigatoriamente, um revertido para acesso a CNS e um revertido a PTA, por norma. Nessas condições, a



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

capacidade de transporte do túnel passa a ser de 13680 passageiros, incorrendo numa queda de 62% na secção do túnel e 54,21% na capacidade de transporte total.

Essa diferença entre a perda de secção e de capacidade de transporte ocorre porque diferentes velocidades são desempenhadas em alguns canais de circulação, e a interdição planejada afeta de forma mais grave o do sentido descendente em relação ao greide, mesmo que seja obrigatória, também, a redução dos canais de transporte do outro sentido para redistribuição. O sentido de circulação mais afetado é de destino às plataformas de PTA, onde a multidão fica retida na plataforma de CNS antes do acesso ao túnel devido a redução da secção.

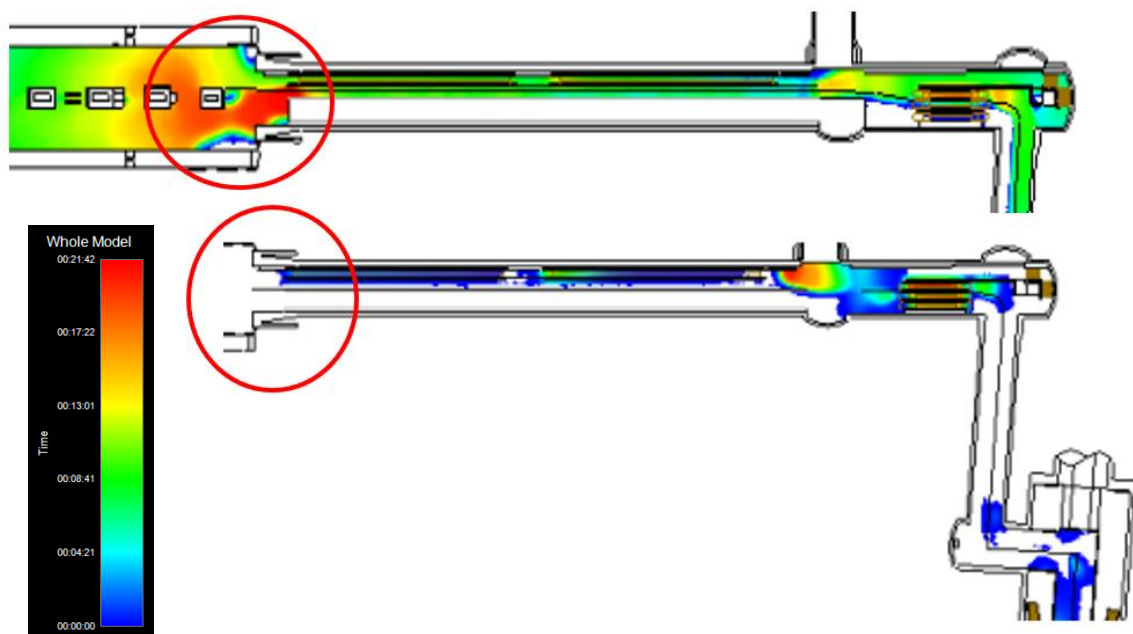


Figura 13: Comparação dos mapas de tempo de permanência para verificação de retenção de clientes na plataforma de CNS (Motiva)



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Além do problema de capacidade de transporte explicitado, o canal de circulação planejado tem 0,89 metros de seção por sentido, sendo proibido por norma. Segundo a supracitada NBR 9050:2020 o canal mínimo de circulação deve ter 1,2 metros de seção, garantindo acessibilidade para usuários de cadeiras de rodas.

CONCLUSÕES

De acordo com a explanação, o cenário atual de operação já não representa condições ideais de qualidade e segurança operacional devido ao crescimento de demanda observado nos últimos 10 anos, fator que corrobora a necessidade das intervenções executadas nesse trecho do complexo Paulista-Consolação com viés de capacidade de transporte, inclusive a atual obra de duplicação do túnel que tem previsão de inauguração para este ano.

Atualmente o túnel opera em cerca de 68% de sua capacidade de transporte nos picos de operação, e a redução de 54% dessa capacidade, mostra-se insuficiente para acomodar a demanda observada em novembro de 2024, que já foi ultrapassada.

O cenário proposto durante o período de obras incorre em:

- Queda abrupta no nível de serviço da transferência;
- Desligamento de escadas rolantes;
- Aumento do risco de acidentes;
- Desligamento das esteiras rolantes;



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- Não cumprimento da NBR de acessibilidade;
- Retenção de clientes na plataforma de Consolação;
- Impacto no desembarque dos carros mais próximos do túnel (na Linha 2 – Verde);
- Impacto no intervalo da Linha 2 – Verde;
- Risco de queda na via em Consolação;
- Queda na lotação da Linha 4 – Amarela (Sentido Luz);
- Tempo de evacuação não compatível com as normas de segurança;

Os resultados obtidos evidenciam a importância da comunicação entre o time de projetos, operação e entre operadoras, elucidando o caráter integrado do sistema metroviário paulista.

A análise apresentada foi instrumento de renegociação do faseamento e data prevista para realização da obra, com o objetivo de mitigar os impactos aos usuários. Atualmente, aguardamos a inauguração segundo do túnel de transferência para retomada da discussão quanto a data e método de realização da obra.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FRUIN, John J. Designing for Pedestrians: A Level-of-Service Concept. Highway Research Record, Washington, n. 355, p. 1-15, 1971. Disponível em: <<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/hrr/1971/355/355-001.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2026.
- [2] WEIDMANN, Ulrich. Transporttechnik der Fussgänger: Transporttechnische Eigenschaften des Fussgängerverkehrs (Literaturauswertung). Zürich: Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau, ETH Zürich, 1993.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.
- [4] TOBLER, Waldo R. Three Presentations on Geographical Analysis and Modeling. Santa Barbara: National Center for Geographic Information and Analysis, 1993.
- [5] XIE, Wei; LEE, Eric Wai Ming; LI, Tao; JIANG, Nan; MA, Yi. Pedestrian dynamics on slopes: Empirical analysis of level, uphill, and downhill walking. Safety Science, v. 172, p. 106429, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2024.106429>.
- [6] NAIDU, Villuri Mahalaxmi; SARADA; SRIKANTH, Seelam; ESWAR, Sala. Pedestrian Walking Speed Variation with Gradient of Road under Mixed Traffic Flow Conditions. Suranaree Journal of Science and Technology, 2020. Disponível em: <<https://ird.sut.ac.th/e-journal/Journal/pdf/200101900.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2026.
- [7] BOSINA, Ernst; WEIDMANN, Ulrich. Creating a Generic Model of the Pedestrian Fundamental Diagram. In: SWISS TRANSPORT RESEARCH CONFERENCE (STRC), 18., 2018, Ascona. Anais [...]. Zürich: ETH Zürich, 2018. Disponível em: <https://strc.ch/2018/Bosina_Weidmann.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2026.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

[8] KRETZ, Tobias. An Overview of Fundamental Diagrams of Pedestrian Dynamics. 2019. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/336286296>>. Acesso em: 11 jul. 2026.

[9] MOURA, Joelson Messias de; COSTA, Wellington Oliveira; SANTOS, Adriana Martins dos. Benefícios de uma simulação computacional para o sistema metroferroviário. 2020. Disponível em: <<https://anptrilhos.org.br/wp-content/uploads/2020/09/cat1-artigo-simulacaosistema.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2026.