



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

### **CATEGORIA 3**

#### **PORTAS DE PLATAFORMA - TECNOLOGIA, PROJETO, INTERFACE OPERACIONAL, DESAFIOS E TÉCNICAS DE IMPLANTAÇÃO**

#### **AUTORES**

#### **INTRODUÇÃO**

A Companhia do Metropolitano de São Paulo – Metrô foi fundada no dia 24 de abril de 1968 e é responsável pela operação das Linhas 1-Azul (Jabaquara – Tucuruvi), 2-Verde (Vila Prudente – Vila Madalena), 3-Vermelha (Corinthians-Itaquera – Palmeiras-Barra Funda) e o Monotrilho da Linha 15-Prata (Vila Prudente – Jardim Colonial), formando 71,5 km de extensão e 63 estações. Diariamente, transitam na malha administrada pelo Metrô até 4 milhões de passageiros<sup>1</sup>.

Durante 40 anos de existência, foram executados diversos projetos de expansão, quase em sua totalidade, do tipo *greenfield*, entretanto, no ano de 2008, por meio da Secretaria de Estado dos Transportes Metropolitanos – STM, foi celebrado um contrato de modernização

---

<sup>1</sup> Metrô – Cia. do Metropolitano de São Paulo. Disponível em:  
<https://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/>. Acesso em: 26/07/2024



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

dos sistemas de sinalização e de telecomunicação das Linhas 1–Azul, 2–Verde e 3–Vermelha, que lançou, definitivamente, o Metrô de São Paulo no universo de projetos de grande porte do tipo *brownfield*, contribuindo para que o seu corpo técnico adquirisse sólida experiência de implantações em linhas operacionais ao longo desses 16 anos.

Dentro deste cenário, o Sistema de Portas de Plataforma (PSD) está sendo implantado e tem sido cada vez mais difundido, tornando-se essencial para a melhoria da segurança operacional, tendo em vista a redução das ocorrências operacionais nas regiões de plataforma das estações, especialmente no que tange as tentativas de suicídio, invasões e quedas de objetos na via, otimizando conseqüentemente, a oferta de trens para os passageiros.

Devido a importância e relevância do projeto, o objetivo do presente artigo é descrever as tecnologias, técnicas e métodos envolvidos na implantação de portas de plataforma em linhas operacionais, assim como, apresentar a complexidade da implantação e da crescente tendência de adoção da PSD nas linhas metroferroviárias, abordando o tipo *greenfield* e *brownfield*, e metodologia modular e não modular.



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

### **DIAGNÓSTICO**

Abordaremos nesse capítulo as principais particularidades, métodos e conceitos relacionados à implantação dos sistemas PSD, bem como, o levantamento das necessidades técnicas.

### **PROJETOS GREENFIELD E BROWNFIELD – CONCEITO**

GREENFIELD – O produto do projeto é realizado a partir do zero, em situações em que não se conta com instalações e facilidades pré-existentes que possam ser incorporadas ao produto do projeto<sup>2</sup>.

BROWNFIELD – O produto do projeto é realizado para se somar a algo já existente, em situações em que já existem instalações e facilidades as quais o produto do projeto será incorporado<sup>3</sup>.

### ***PORTAS DE PLATAFORMA - PLATAFORM SCREEN DOORS – PSD***

#### **- FINALIDADE E FUNCIONAMENTO**

O sistema de portas de plataforma ou PSD (*Platform Screen Doors*), como é comumente conhecido, tem como finalidade aumentar os níveis de segurança dos usuários nas plataformas, restringindo concomitantemente o acesso às regiões de túneis e vias somente

---

<sup>2</sup> Onevair Ferrari. Greenfield, Brownfield ou Greyfield? 30.07.2018  
<https://www.nexor.com.br/artigos/greenfield.html>

<sup>3</sup> Onevair Ferrari. Greenfield, Brownfield ou Greyfield? 30.07.2018  
<https://www.nexor.com.br/artigos/greenfield.html>



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

aos funcionários autorizados pelo Metrô, reduzindo as ocorrências operacionais nessas regiões como, por exemplo, tentativas de suicídio, invasões e quedas de objetos na via, comportamentos de risco, como ultrapassar o limite de segurança da faixa amarela, e outros incidentes notáveis, aumentando desta maneira, a oferta de trens para o passageiros.

Seu funcionamento consiste, basicamente, na abertura e fechamento das portas deslizantes motorizadas em sincronia com as portas dos trens.

#### **- PRINCIPAIS COMPONENTES**

O sistema de PSD pode apresentar variações de especificidade dos componentes de acordo com os requisitos do projeto, no entanto, os principais elementos que compõem uma fachada de PSD estão descritos e ilustrados a seguir:

HB – HEADER BOX – Caixa de alocação de equipamentos e componentes

PDM – Porta Deslizante Móvel

PEE – Porta de Emergência

PFP – Porta de Final de Plataforma

PFX – Painel fixo

MCP – Módulo de Controle de Portas

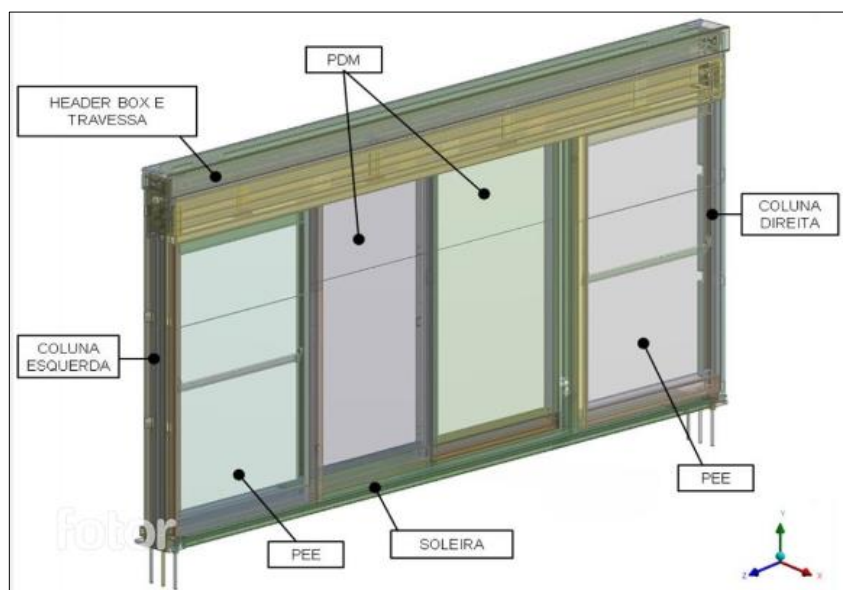
PCM – Painel de Controle Manual

PCC – Painel de Controle Central

**30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**  
**11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

SSE – Sistema de Suprimento de Energia

SIN – Sinaleiro de Via

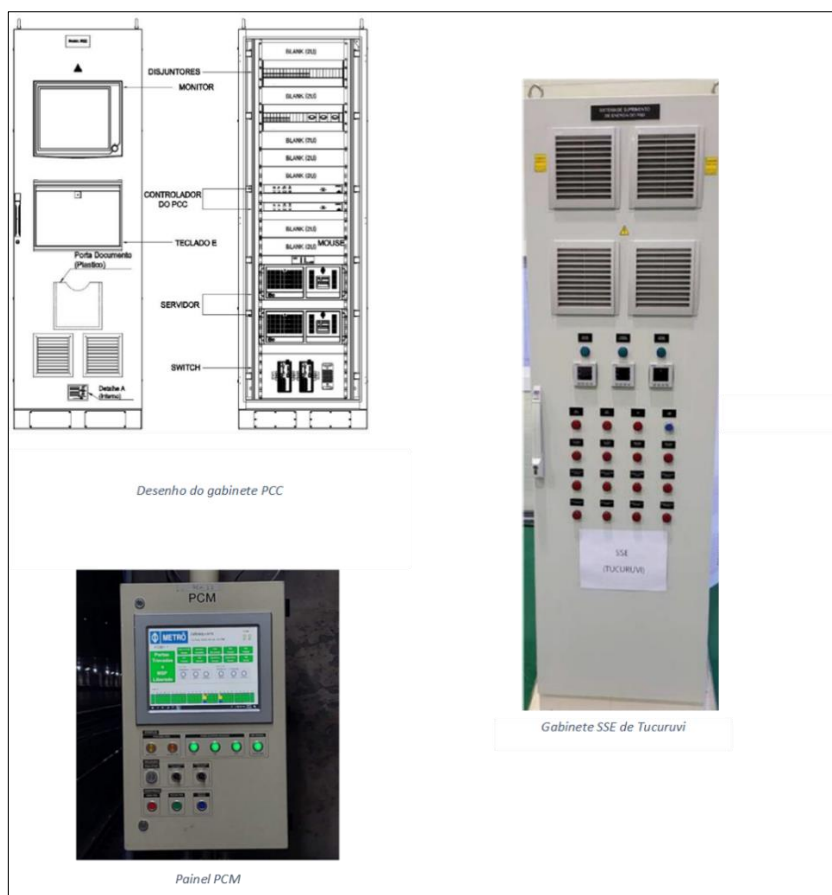


*Figura 1 – Principais componentes que compõem um módulo típico de PSD.*



*Figura 2 – Porta de final de plataforma (PFP) e painel fixo (PFX) em instalação*

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



*Figura 3 – Gabinetes PCC, SSE e painel PCM*

### - MÉTODOS CONSTRUTIVOS

**NÃO MODULAR** – Caracteriza-se pela montagem de cada componente ou subcomponente da fachada de PSD *in loco* nas plataformas. Em regra, não há necessidade de um local complexo para o armazenamento dos materiais a serem utilizados e a logística de transporte é mais simples, podendo ser feita por terra ou pela via através de gôndola. Em contrapartida, o tempo de montagem nas dependências da estação é maior se comparado com o método construtivo modular.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



*Figura 4 – Montagem de PSD não modular*

MODULAR – Caracteriza-se pela divisão da fachada de PSD em módulos, que são montados previamente em fábrica. Um módulo típico é composto, resumidamente, por Colunas laterais, Soleira, PDM, PEE e HEADER BOX. A grande vantagem desse método construtivo é o tempo reduzido de montagem na plataforma em relação ao método não modular, embora exija locais de armazenamento em pontos estratégicos, pois os módulos precisam necessariamente ser transportados pela via, por meio de veículo especial, contendo braços hidráulicos, para o posicionamento e montagem dos módulos típicos.



*Figura 5 – Transporte e montagem de PSD modular na estação Jabaquara*



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Para as implantações mais recentes das PSDs, utilizou-se o método MODULAR considerando o tempo de atuação em plataforma e o impacto operacional da implantação como principais critérios, detalhando as etapas e desafios no decorrer do artigo.

#### **PORTAS DE PLATAFORMA MODULARES**

#### **ESTRUTURA E PROJETO MECÂNICO:**

De maneira geral os princípios, critérios e simulações adotados para a elaboração do projeto estrutural mecânico baseiam-se conforme apresentado a seguir:

##### **- Critério de Tensão de Von Mises:**

O critério de tensão de Von Mises é normalmente utilizado para determinar se um metal isotrópico e dúctil cederá quando submetido a uma condição de carga complexa. Isso é feito calculando a tensão de Von Mises e comparando-a com a limite de escoamento do material.

##### **- Critérios considerados para determinação da vida sob carregamentos cíclicos:**

Para o cálculo de vida, foi utilizado a teoria de Goodman.

##### **- Critérios de Admissão – Ruptura:**

Conforme a norma NBR-8800, os coeficientes de ponderação das resistências no estado limite último (ELU), são aplicáveis para o projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edificações.



## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

### 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Combinações	Aço estrutural <sup>a</sup>		Concreto $\gamma_c$	Aço das armaduras $\gamma_s$
	$\gamma_a$			
	Escoamento, flambagem e instabilidade $\gamma_{a1}$	Ruptura $\gamma_{a2}$		
Normais	1,10	1,35	1,40	1,15
Especiais ou de construção	1,10	1,35	1,20	1,15
Excepcionais	1,00	1,15	1,20	1,00

<sup>a</sup> Inclui o aço de fôrma incorporada, usado nas lajes mistas de aço e concreto, de pinos e parafusos.

■ requerido – combinação normal , ■ adotado - condição crítica

Figura 6 – Valores dos coeficientes de ponderação das resistências  $\gamma_m$

#### - Critérios de Admissão – Fadiga:

Foi adotada o EUROCODE 3 e 9, que definem os limites de cargas permitidos, respectivamente, para componentes de aço e alumínio, conforme tabelas abaixo. Para componentes de aço inoxidável e alumínios fora do padrão, o estresse dinâmico é determinado por meio do software ANSYS - já que não existem dados nos códigos europeus.

Para estruturas em aço - EUROCODE 3 (EN 1993-1-9):

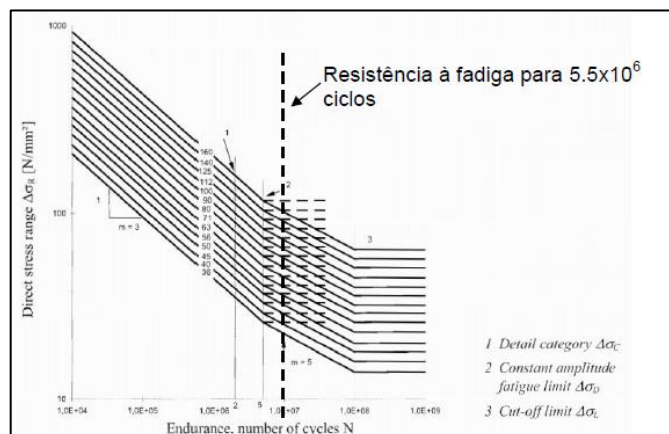


Figura 7 – Cálculo e curvas de tensão de fadiga do aço.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Para estruturas em alumínio - EUROCODE 9(EN 1993-1-3):

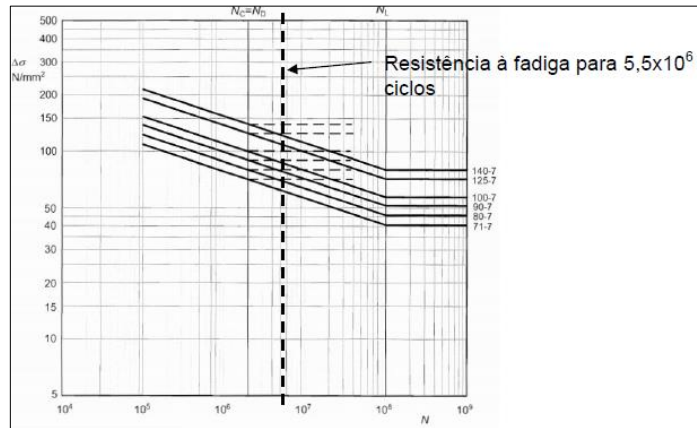


Figura 8 – Cálculo e curvas de resistência à fadiga do alumínio.

- Critérios de Admissão – Soldas:

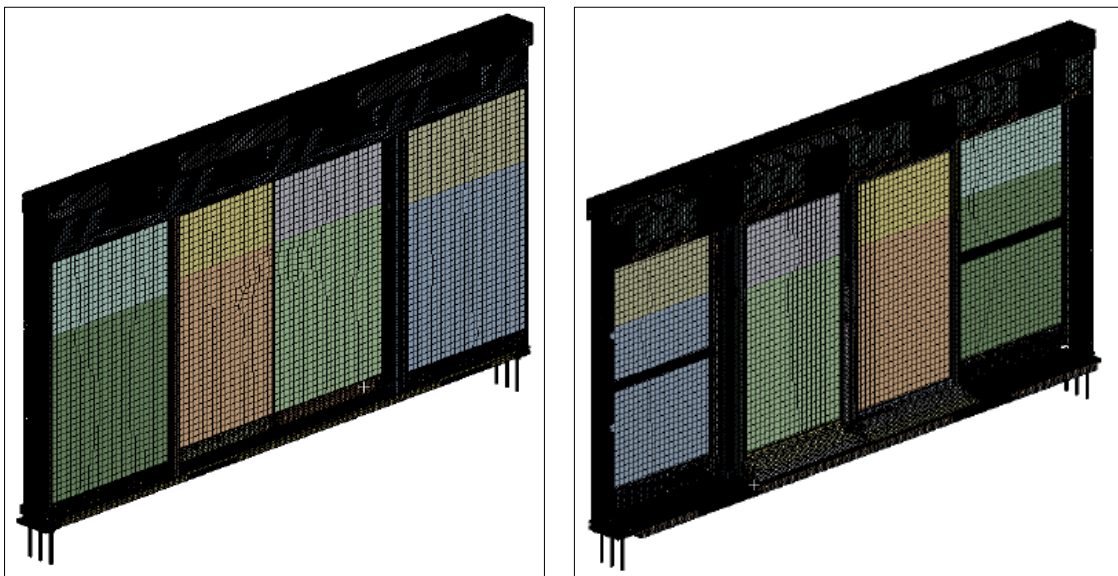
A resistência mecânica de soldagem deve ser verificada nos seguintes aspectos de conexão:

- Soldagem entre a coluna e a placa de base;
- Soldagem entre o suporte do gancho da porta e a placa do suporte;
- Soldagem do conjunto da coluna;
- Soldagem do conjunto de caixa comum.

### ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS ATRAVÉS DA MALHA ANSYS

A malha é baseada no uso de elementos finitos sólidos em 3D e foram simulados conforme cenários abaixo:

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



*Figura 9 - Malha Global à esquerda Vista da Plataforma e à direita Vista da Via*

- CENÁRIO 1 - Cargas incidentes: DS + PT + FP + FI\_DIST. (carga de impacto distribuída);
- CENÁRIO 2: (PRESSÃO DE TREM/EFEITO PISTÃO) (+) 900 N/m<sup>2</sup>);
- CENÁRIO 3 - ANÁLISE DE FADIGA ((+/-)170 N/m<sup>2</sup> DURANTE CICLOS 5,5X106);
- CENÁRIO 4 (4.900 N/m<sup>2</sup> PASSAGEM DE MULTIDÃO) – Soleira;
- CENÁRIO 5 – CARGA PONTUAL DE IMPACTO (DS+FI\_CONC);
- CENÁRIO 6 (DS + PT + FP + FI\_DIST.) – MÓDULO EJ (Módulo sobre a Junta de dilatação);
- CENÁRIO 7 - ANÁLISE DE FADIGA ((+/-)170 N/m<sup>2</sup> DURANTE CICLOS 5,5X106) – MÓDULO EJ.

Por meio das simulações dos cenários, foram obtidos os seguintes resultados:

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

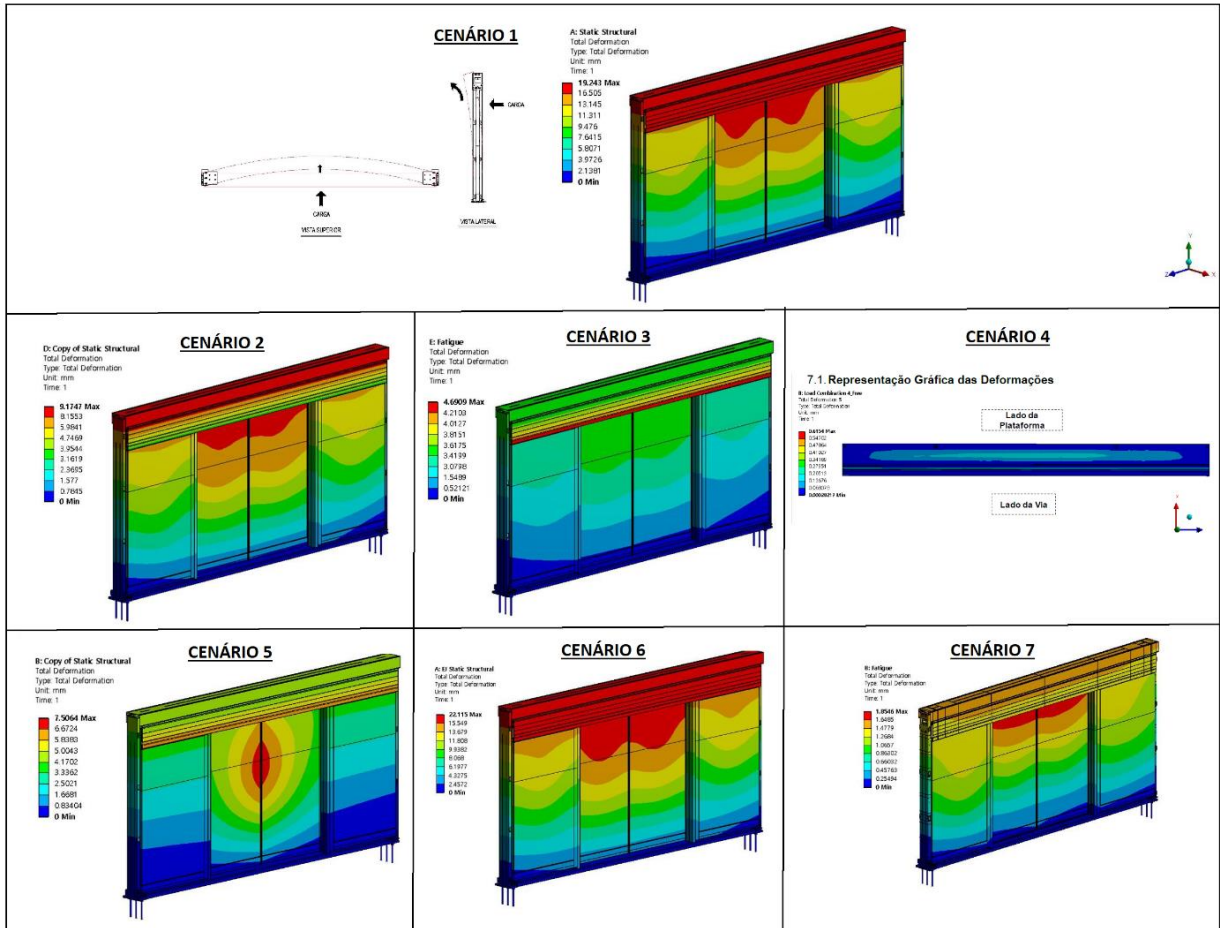


Figura 10 - Representação Gráfica das Deformações - Deslocamentos globais de toda a estrutura do PSD – Cenários 1 a 7

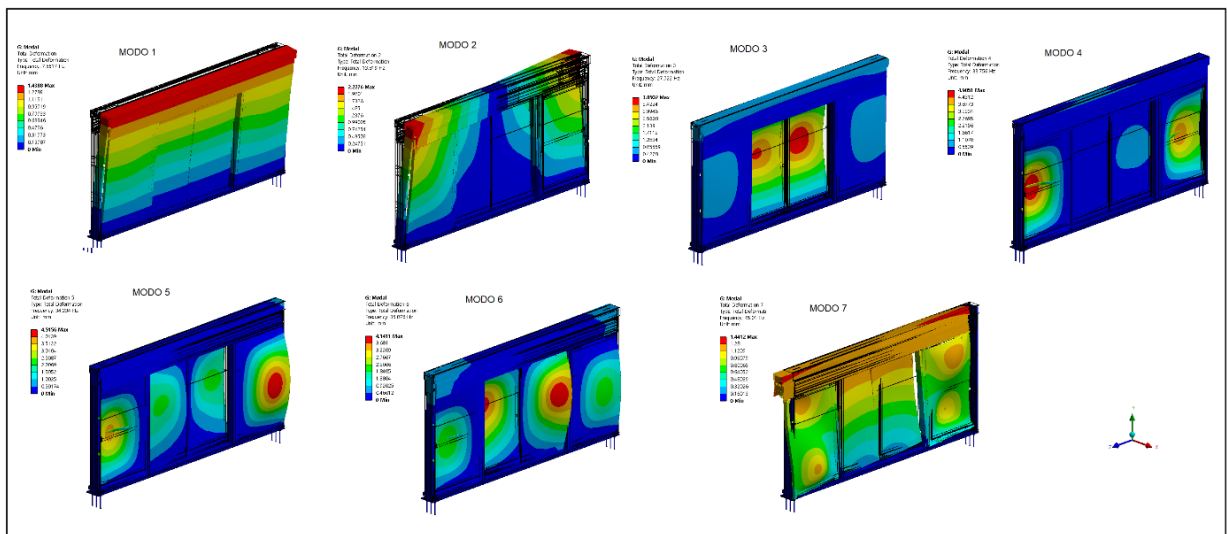
### ANÁLISE MODAL

O objetivo da análise modal em mecânica estrutural é determinar as formas e frequências do modo natural de um objeto ou estrutura durante a vibração livre e foi realizada para verificar uma frequência natural da estrutura da PSD. Apenas as condições de contorno são consideradas.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

MODO	FREQUÊNCIA (HZ)	MODO	FREQUÊNCIA (HZ)
1	7,55	5	34,23
2	13,82	6	35,88
3	27,92	7	45,01
4	33,76		

*Figura 11 - Frequência da Estrutura da PSD*

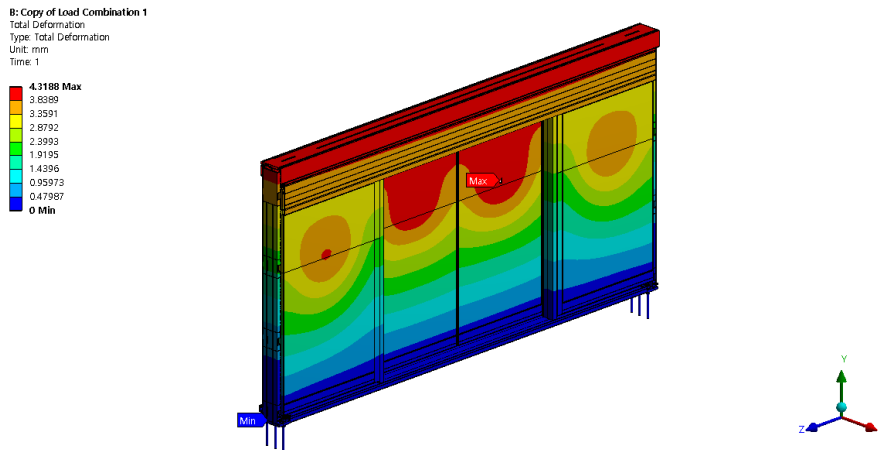


*Figura 12 - Configuração Gráfica - Modos 1 a 7*

### ANÁLISE DOS RESULTADOS E VERIFICAÇÃO DE DEFLEXÃO

A verificação de deflexão para carregamento de massa foi calculada e simulada. A deformação total da estrutura da PSD é mostrada abaixo e a deformação máxima é de 4.3188 mm pelo carregamento de massa. O deslocamento da estrutura PSD foi confirmado na condição de carga de multidão.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



*Figura 13 - Deflexão total da estrutura PSD por Carregamento de Massa*

### PROJETO CIVIL

No projeto civil das plataformas de estações em operação, não foram previstas as instalações de PSDs, e deste modo, tornou-se necessário o desenvolvimento e inserção de estruturas e reforços nas bordas, para suportar a carga adicionada.

Para a definição do projeto civil, considerou o método construtivo de cada estação e concepção estrutural (subterrânea/enterrada, de superfície ou elevada), utilizando-se como base normativa a NBR 6118 - 2014 - Projeto de estruturas de concreto, e para os cálculos, resumidamente, foram adotados os seguintes critérios:

- Peso Próprio em Cada Coluna de PSD:  $Psd = 823 \text{ kgf}$ ;
- Sobrecarga das Pessoas - Norma – Nível do Piso da Plataforma:  $Sc = 500 \text{ kgf/m}^2$ ;
- Carga devido à população - Aplicada a 1,10 m de altura em relação ao nível da plataforma com  $150 \text{ kgf/m}$ , portanto, temos:  $Fp = 150/2,55 = 58 \text{ kgf/m}^2$ .  $Fp = 58 \text{ kgf/m}^2$ ;



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **11ª PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

- Carga devido ao Impacto – Aplicada no painel de todo um módulo da PSD com 280kgf, portanto, temos:  $F_i = 280 / (5,15 \times 2,55)$ .  $F_i = 21 \text{ kgf/m}^2$ ;
- Carga devido ao Efeito Pistão;  $P_t = +/- 90 \text{ kgf/m}^2$ ;
- Carga devido ao vento PF: não tem influência para estações enterradas. Segundo NBR-6123 (somente para o caso de estações elevadas).

Os esforços de pressão e de vento foram considerados menos desfavoráveis do que a pressão do ar e efeito pistão. Esta consideração se dá pela incidência e conjugação de todos os esforços atuantes, admitindo a condição mais desfavorável.

A partir dos cálculos e simulações, foram definidos 3 tipos de reforços, especificados a depender do método construtivo da plataforma e via permanente, são eles:

- Pilarete metálico;
- Braço metálico;
- Reforço estrutural armado e moldado “*in loco*” com graute.

### **MÉTODO CONSTRUTIVO DA PLATAFORMA**

Em termos de concepção estrutural, existem estações de superfície, elevada ou subterrânea/enterrada. Para as vias dispostas sobre viga suporte, a distribuição de carga da PSD é feita por meio de pilar metálico (pilarete), transferindo as cargas para o leito da via.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 14 - Reforço de plataforma com pilarete

Para as vias dispostas sobre lastro de brita, a distribuição da carga da PSD é feita por meio de braço metálico, transferindo as cargas para as vigas laterais.

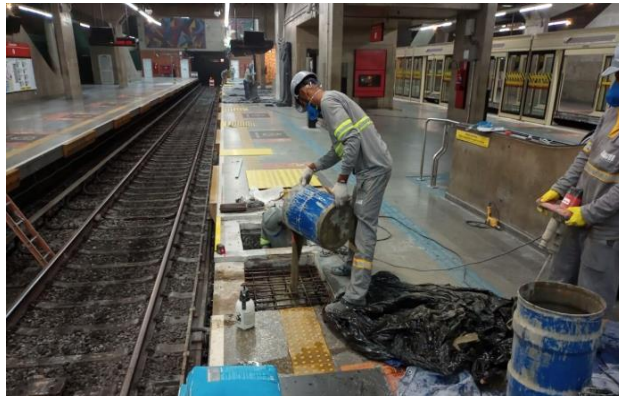


Figura 15 - Reforço de plataforma com braço metálico

Para as estações em que as plataformas foram dispostas sobre laje nervurada, a distribuição se dá por meio de reforço estrutural moldado “*in loco*”, com armação e utilização de graute de alta resistência.



## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



*Figura 16 - Reforço de plataforma com armação em laje*

Vale ressaltar que este último tipo de reforço é o mais complexo, visto que demanda mão de obra específica e requer cuidados e controle ao efetuar o recorte do vão onde será moldado o reforço.

### PROJETO E DIMENSIONAMENTO DOS MÓDULOS NA FACHADA

Para a elaboração do projeto da fachada, foram consideradas diversos parâmetros, como principais, o gabarito dinâmico da via, a curvatura da estação, o comprimento da plataforma, o nivelamento do piso, a localização das juntas de dilatação e as medidas dos módulos típicos após pré-montagem para a furação da plataforma.

### GABARITO DINÂMICO DA VIA

A cada trecho de via, há um valor limite em que os equipamentos e a estrutura civil podem ser instalados em relação ao eixo da via.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Esse valor, já definido na construção da estação, varia de acordo com o tipo de via, curvatura e interseções nas proximidades das plataformas, devendo ser considerado para o posicionamento no eixo X de toda a fachada.

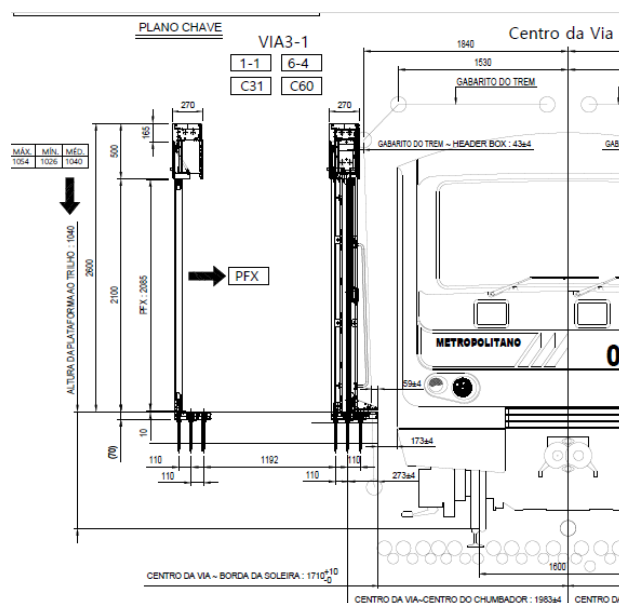


Figura 17 - Exemplo do distanciamento necessário em um trecho da estação Itaquera.

### CURVATURA DA ESTAÇÃO - RAI0

É necessário identificar a curva da estação, também denominado raio de curvatura, para que sejam definidos os módulos PEE-EC (Portas de Emergência – Entre carros). Ressaltamos que os módulos instalados na curva interna possuem menor largura.

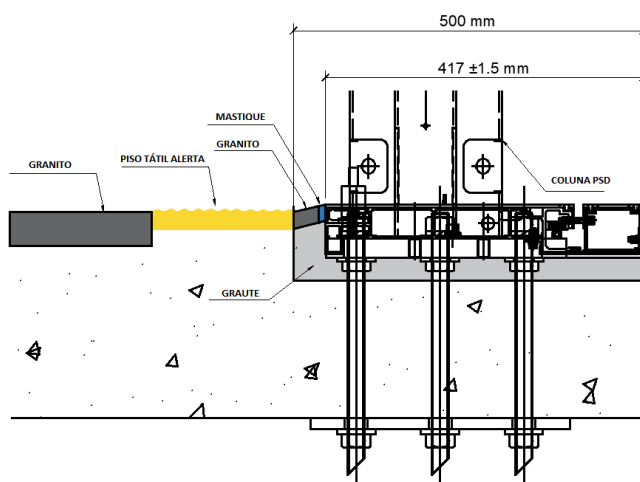
### COMPRIMENTO DA PLATAFORMA

É necessário obter o comprimento total da plataforma para definir os tamanhos dos módulos PFP, PFX e complementos finais.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

### NIVELAMENTO DO PISO

O nivelamento e a altura do piso é um parâmetro necessário para o desenvolvimento da harmonização da fachada e disposição entre os módulos, para o atendimento a Norma NBR 9050:2020. O projeto da disposição dos módulos deve compensar os desnivelamentos existentes, obtendo o melhor resultado possível e menor ocorrência de degrau entre o piso existente e a soleira, permitindo melhores acabamentos e acessibilidade.



*Figura 18 - Harmonização para desníveis entre o piso e a soleira.*

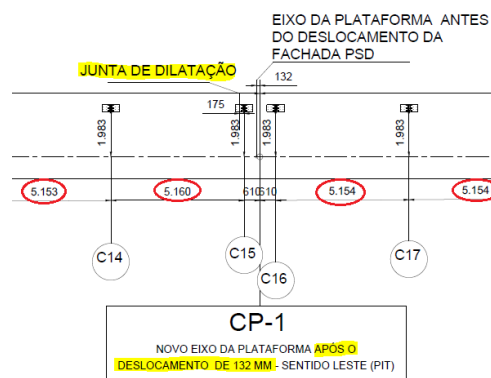
### LOCALIZAÇÃO DAS JUNTAS DE DILATAÇÃO

As estações possuem juntas de dilatação devido a variação térmica. O mapeamento das posições é necessário, pois o Módulo típico instalado sobre a junta, possui algumas particularidades mecânicas na HB e na soleira, e eventuais deslocamentos da fachada são necessários, caso coincida o posicionamento da coluna sobre uma junta de dilatação.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

### MEDIDAS DOS MÓDULOS TÍPICOS APÓS PRÉ-MONTAGEM E FURAÇÃO DA PLATAFORMA

Os módulos típicos são montados na fábrica, em etapa denominada de pré-montagem, sendo armazenados e posteriormente transportados até a plataforma. As medidas finais são determinantes para efetuar a furação e correto posicionamento dos módulos.



*Figura 19 - Valores adotados para a furação-Via 1 Itaquera.*

Na figura acima, os destaques em amarelo representam o deslocamento da fachada em decorrência do posicionamento da junta de dilatação. Os destaques em vermelho são os valores das larguras dos módulos típicos consideradas para a furação.



*Figura 20 - Módulos Típicos posicionados após a pré-montagem*

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

As medidas dos módulos típicos após pré-montagem e furação da plataforma são consideradas os parâmetros de maior desafio entre o projeto e a execução, pois faz-se necessária a utilização de tolerâncias aplicadas em equipamentos mecânicos (na faixa de mm), em atividades civis.

### PROJETO ELÉTRICO

Para o projeto elétrico, normatizado pela NBR 5410, as maiores dificuldades superadas foram as distâncias e as limitações estruturais existentes entre os gabinetes PCC e SSE, localizados nas salas técnicas, os PCMs e as MCPs localizados na plataforma. Sendo necessários redimensionamentos dos cabos por parâmetro de queda de tensão, a elevação da tensão de projeto e a limitação de corrente de pico dos motores.

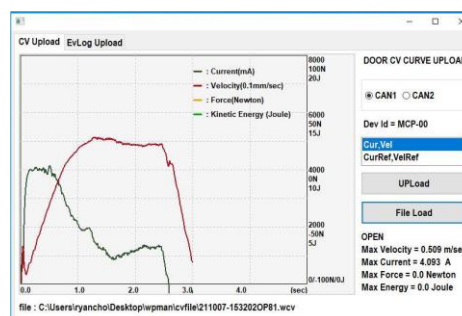


Figura 21 - Curva de abertura da PDM – Corrente (linha verde) x Velocidade (linha vermelha)

### PROJETO DE CONTROLE E INTERFACE OPERACIONAL

Todo o conceito do projeto de controle e comunicação baseiam-se em “Safety” e possui redundância para melhorar os índices de desempenho e de disponibilidade dos equipamentos.



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

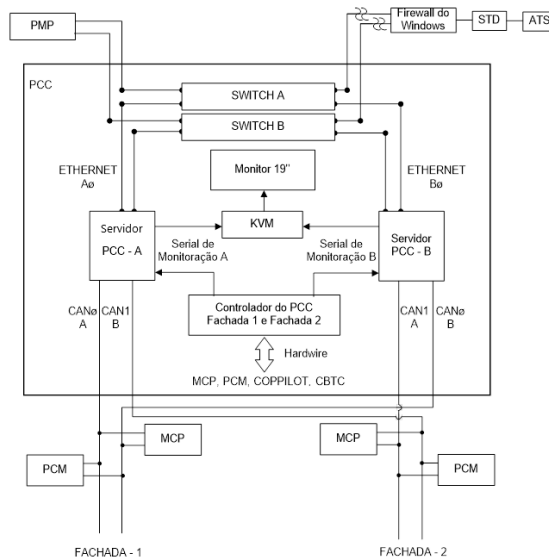
### **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

A abertura e fechamento das PDMs ocorrem de maneira sincronizada com o trem, permitindo que o mesmo se movimente apenas se o laço vital de segurança estiver fechado, ou seja, a PDM, PEE, PEE-EC e PFP fechadas e travadas.

O comando de abertura e fechamento para a PSD podem ser originados de três formas:

- Comando automático pelo CBTC (*Communications - Based Train Control*), que envia o comando para o trem e para a PSD.
- Comando automático pelo Sistema Backup (*Copilot*), que afere o alinhamento do trem na plataforma, detecta a abertura / fechamento das portas do trem e a partir desses dados encaminha o comando para movimentação das PDMs. A comutação entre o sistema CBTC e o Sistema Backup é realizada manualmente a depender das necessidades operacionais.
- Comando manual através dos painéis PCM, localizados nas extremidades da plataforma. Ao ativar o modo manual, a PSD não executará qualquer outro comando automático.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



*Figura 22 – Arquitetura resumida do sistema de controle e sinalização.*

### COMISSIONAMENTO E OPERACIONALIZAÇÃO

Após montagem, cabeamento e parametrização, passamos para a etapa de comissionamento e testes das funcionalidades de todos os equipamentos contidos no sistema, comprovando todos os requisitos de sinalização e segurança, bem como, as modificações necessárias no sistema de sinalização de via para operacionalizar as PSDs.

Além dos parâmetros relacionados acima, o escopo do projeto também engloba a elaboração de roteiros, procedimentos, qualificação e sincronização das etapas de implantação, pois devem ser consideradas as atividades sequenciais, paralelas e concorrentes.

Abaixo segue ilustração das etapas adotadas na montagem de uma fachada, que serão abordadas no capítulo seguinte.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 23 - Visão geral da instalação do Módulo PSD

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Metrô de São Paulo tem implantações de PSD em ambas as modalidades de projeto, *greenfield* e *brownfield*, e ambas as metodologias construtivas, não modular e modular. A seguir, serão elencadas as principais peculiaridades, pontos de atenção, desafios e soluções de uma implantação *brownfield*, comparando sempre que for pertinente com uma implantação *greenfield*.

### FASEAMENTO DA IMPLANTAÇÃO

Geralmente, a implantação de um sistema é constituída pelas fases de projeto, fabricação, instalação mecânica, instalação elétrica e comissionamento. Em uma implantação de PSD *brownfield*, somam-se, ainda, as fases de pré-montagem, no caso do método construtivo modular, *survey*, remoção de interferências e obra civil.



## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

### REMOÇÃO DE INTERFERÊNCIAS

A atividade de *survey* tem como objetivo mapear a situação das instalações em campo para identificar as interferências que deverão ser removidas ou remanejadas, possibilitando a execução do projeto.

As interferências encontradas nas implantações de PSD no Metrô são comumente relativas aos equipamentos da plataforma e de suas adjacências como câmeras e monitores de CFTV, espelhos, luminárias, painéis de comunicação visual, totens de sistemas diversos, infraestruturas no leito das vias, cabos de rede irradiante, dentre outras.

É fundamental que tanto o *survey* quanto o remanejamento das interferências sejam executados de forma eficiente, pois quando não previstos ou não reposicionados adequadamente, poderão impactar significativamente o prazo de implantação.



Figura 24 - Remoção de interferências

### OBRA CIVIL

Certamente, a obra civil foi a fase crucial do processo de implantação em *brownfield*, que exigiu atenção especial quanto ao planejamento, execução, fiscalização e controle,



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

considerando-se que as plataformas das estações das linhas 1, 2 e 3, quase em sua totalidade, não foram concebidas para suportar o peso específico da PSD. A obra civil se desdobra nas fases de topografia, marcação, furação, rebaixamento da borda da plataforma, instalação dos reforços estruturais e de piso provisório.

A obra civil é a fase que gera maior impacto operacional, tendo em vista as intervenções realizadas nas plataformas, o tempo de cura dos materiais utilizados (resina, graute, argamassa etc.), ruído, resíduos, poeira e sujeira.

Tais situações carecem de tratativas que viabilizem a operacionalização do projeto como programação de acessos diferenciados nos finais de semana e feriados, interdição de plataformas durante a operação comercial, via singela, alteração da estratégia de fluxo de passageiros na estação, e até o acionamento do sistema PAESE - Plano de apoio entre empresas de transporte frente às situações emergenciais. Geralmente a fase de obra civil corresponde a aproximadamente 40% de todo o processo de implantação.



*Figura 25 - Obra civil de preparação da plataforma da estação Tucuruvi*

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 26 - Preparação do piso de uma das plataformas da estação Corinthians Itaquera

### MEDIÇÕES E MARCAÇÕES TOPOGRÁFICAS

A eficiência das medições e marcações topográficas é fundamental para a instalação correta das colunas e módulos da PSD, para garantir o posicionamento correto, de acordo com o que foi projetado, atendendo aos requisitos do gabarito dinâmico dos trens.

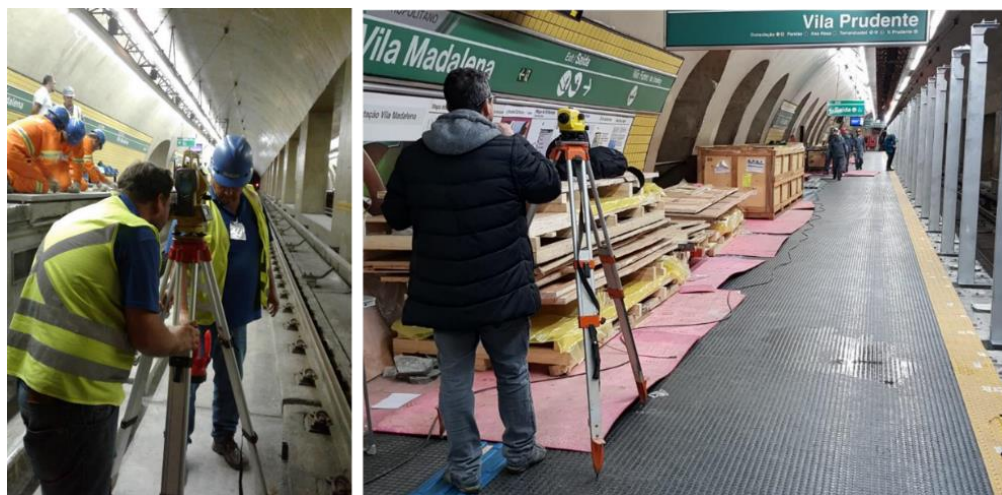


Figura 27 - Atividade de marcação topográfica na estação Vila Madalena

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

### PREPARAÇÃO DA PLATAFORMA

Para a instalação da PSD, a borda das plataformas precisa ser rebaixada. Nesta fase, há impacto operacional, tendo em vista a necessidade de disponibilizar a plataforma para a operação comercial. A alternativa encontrada para minimizar este impacto foi segmentar a atividade por trechos e utilizar pisos provisórios de placas cimentícias.

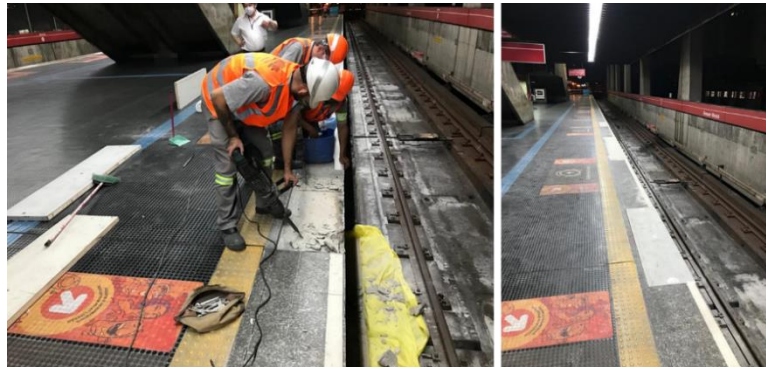


Figura 28 - Rebaixamento da borda da plataforma da estação Bresser

### INSTALAÇÃO DE CHUMBADORES E DO REFORÇO ESTRUTURAL

Para as plataformas da estação Barra Funda da Linha 3-Vermelha, o reforço estrutural adotado foi o moldado *in loco*, com armação e graute, em razão da concepção de projeto construtivo (laje nervurada), à exceção das demais estações que utilizaram pilaretes ou braços metálicos.

Independentemente do tipo de reforço, esta etapa da obra civil demanda acompanhamento de profissionais qualificados para fiscalização e controle de execução da obra, pois a fixação dos chumbadores por meio de adesivos químicos exige precisão e celeridade no alinhamento e posterior instalação dos reforços, sendo primordiais para a instalação da estrutura mecânica da PSD.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 29 - Instalação de braços metálicos na estação Corinthians Itaquera

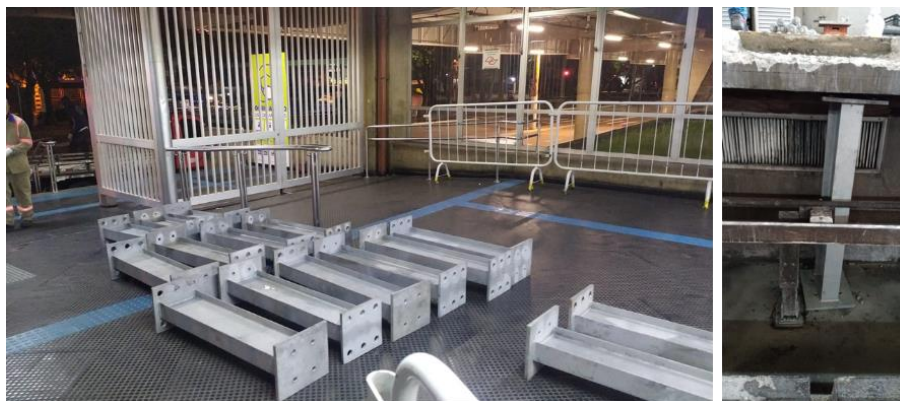


Figura 30 - Instalação de pilaretes na estação Tucuruvi

### INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

A instalação dos equipamentos em salas técnicas e infraestrutura elétrica normalmente não dependem de acessos especiais e podem ocorrer paralelamente à execução da obra civil, com exceção dos equipamentos posicionados na plataforma. Nesse sentido, a instalação destes equipamentos não difere significativamente de um projeto *greenfield*, exceto na fase de comissionamento como veremos adiante.



## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A estrutura da PSD e os equipamentos localizados na plataforma, dependem da conclusão da obra civil para serem instalados. Nesta fase, ficou evidente a vantagem do método construtivo modular em relação ao não modular, em razão da maior rapidez de instalação e, conseqüentemente, menor impacto operacional, uma vez que, na estação Vila Madalena, em que o método construtivo foi o não modular, foram registradas 256 horas para montagem mecânica de uma fachada de PSD, enquanto na estação Pedro Segundo, em que o método construtivo da PSD foi modular, foram contabilizadas apenas 30 horas, resultando em uma redução de aproximadamente 88% no prazo de instalação, conforme quadro comparativo abaixo:

Fases da implantação	Estação Vila Madalena PSD não modular	Estação Pedro Segundo PSD modular	Percentual de redução
	horas	horas	%
Remoção de interferências	30	30	0
Obra civil	265	133	-49,81%
Montagem mecânica	256	30	-88,28%
Instalações elétricas	75	60	-20,00%
Comissionamento	135	105	-22,22%
<b>Totais</b>	<b>761</b>	<b>358</b>	<b>-52,96%</b>

*Tabela 1 - Quadro comparativo – tempo de implantação PSD não modular e modular*

### ACABAMENTO

Após a instalação da PSD, sendo irrelevante o método construtivo, segue para a fase de grauteamento das bases dos pilaretes e dos espaços vazios entre a estrutura da PSD e a plataforma e posteriormente executada a harmonização e o nivelamento do piso.

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Nessa fase, destacamos dois pontos de atenção:

- Tempo de cura dos materiais utilizados: é imprescindível conhecer e considerar o tempo de cura dos materiais utilizados nos acabamentos, pois impactam diretamente no prazo de execução e, principalmente, na liberação da plataforma para a operação comercial, considerando-se ainda que se somará o tempo necessário para a lavagem e limpeza da plataforma.
- Respeito as normas técnicas e legais de acessibilidade: na harmonização do piso, é necessário levar em consideração as normas técnicas e legais de acessibilidade, como a instalação de piso tátil e inclinação máxima de aclive para cadeirante.



Figura 31 - Acabamento e harmonização do piso da plataforma da estação Jabaquara

### PLANEJAMENTO

É evidente é maior a complexidade de implantação de um projeto *brownfield*, especialmente pela necessidade de se minimizar os impactos operacionais em estações cuja operação não pode ser paralisada, remetendo-nos invariavelmente a programação de acessos especiais,



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

estabelecimento de estratégias operacionais diferenciadas, e consequente ampliação dos prazos de execução.

É essencial, portanto, que haja planejamento e controles eficazes, a fim de garantir eficiência do processo de implantação, equilibrando os diversos aspectos envolvidos, especialmente o impacto operacional para o passageiro, custo, prazo de execução e a qualidade das instalações.

A seguir elencamos os principais pontos de atenção que se destacaram nas implantações de PSD em linhas operacionais.

a) Alteração das estratégias operacionais: objetivando minimizar os impactos operacionais e não exceder os prazos, foi necessário lançar mão de diversas estratégias operacionais diferenciadas especialmente elaboradas para cada situação, conforme exemplificamos a seguir:

- Estações terminais: Segregação de uma das plataformas para a implantação de PSD em determinados períodos (finais de semana, feriados, período de férias escolares, horários de vale), restringindo a circulação de trens apenas às demais plataformas. Essa estratégia foi utilizada nas estações Vila Madalena da Linha 2-Verde, Jabaquara e Tucuruvi da Linha 1 -Azul, Corinthians Itaquera e Barra Funda da Linha 3-Vermelha.





## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

- Estações ao longo das linhas: Segregação de uma das plataformas para a implantação de PSD nos finais de semana, feriados, ou fora dos horários de pico possibilitando a circulação dos trens apenas na plataforma remanescente e, quando necessário, a operação em via singela no trecho da estação envolvida e acionamento do Sistema PAESE.

#### **b) Locais de armazenamento e transporte**

Os grandes volumes e dimensões dos materiais utilizados, considerando-se somente a montagem das fachadas de PSD, exigiram criteriosas avaliações e definições de pontos de armazenamento, pois as estações em operação não oferecem locais propícios a esta finalidade, sendo possível disponibilizar apenas áreas para o armazenamento de ferramentas e materiais de menor porte.

Para as peças das fachadas de PSD foi necessário segregar áreas nos pátios de manutenção, em recuos e entrevias existentes ao longo das linhas ou nas adjacências das estações, sendo posteriormente encaminhados à estação pelas vias, por meio de gôndolas ou vagonetas tracionadas por *trackmobile*, pois o meio rodoviário só se mostrou viável para os materiais da obra civil e das salas técnicas.

Vale destacar que a PSD modular, embora tenha resultado em uma instalação mais simples e ágil em relação a PSD não modular, exige maior criticidade quanto à escolha do local de armazenamento dos módulos pré-montados sendo necessário maior proximidade da obra,

## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

pois nesse método os módulos são encaminhados à estação por meio de vagoneta, limitado a quatro por viagem, para o descarregamento e instalação portanto, são necessárias diversas viagens para completar uma fachada.



Figura 32 - Armazenamento dos módulos em área adjacente à estação Tucuruvi com acesso terra-via



Figura 33 - Vagoneta de transporte e instalação de módulos de PSD



Figura 34 - Gôndola com carregamento de peças da PSD da estação Vila Madalena



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

#### c) Procedimentos operacionais e de segurança

Em função das estratégias elaboradas para permitir a convivência entre as atividades de instalação de PSD e a operação comercial, foram elaborados diversos procedimentos operacionais e de segurança, específicos para cada local quando necessário. Esses procedimentos visaram estabelecer regras quanto aos seguintes temas, entre outros:

- Segregação de plataforma;
- Interdição de via;
- Implantação de segurança elétrica;
- Movimentação de veículo de via;
- Operação em via singela.



*Figura 35 - Interdição de via e convivência com a operação comercial na estação Vila Madalena*



## 30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



*Figura 36 - Movimentação da vagoneta e convivência com a operação comercial na estação Corinthians Itaquera*

### FINALIZAÇÃO DA MONTAGEM

Após a montagem dos módulos típicos, é aferido o atendimento aos requisitos do gabarito de via por meio de levantamento topográfico e validado com passagem do veículo de via (trackmobile) gabaritado, conforme ilustrado abaixo:



*Figura 37 - Veículo de via gabaritado para validação de posicionamento da PSD*



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

Por fim, executada a montagem e instalação dos módulos das extremidades (PFP e PFX), equipamentos das salas técnicas e plataforma, acabamentos, cabeamento e conectorização, possibilitando o início da etapa e comissionamento.



Figura 38 - Fachada da estação Jabaquara após montagem

### **COMISSIONAMENTO**

Na implantação da PSD, não há diferença no processo de comissionamento que possa ser atribuída ao tipo de projeto, *greenfield* ou *brownfield*. O que pode diferir é o prazo de execução dessa fase, pois enquanto no *greenfield* o período, normalmente, é ininterrupto, no *brownfield* esse período será fracionado em acessos descontínuos, em função da necessidade de liberação da plataforma para a operação comercial, o que poderá resultar em um prazo maior. Caso seja necessário, é possível adotar as mesmas estratégias de convivência com a operação comercial utilizadas na fase de instalação. Após o comissionamento e análise dos



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA**

### **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

resultados, são elaborados os documentos “*Safety case*” e o certificado de segurança para liberar o sistema para a operação comercial.

## **CONCLUSÕES**

Concluimos que o sistema de portas de plataforma (PSD) tende a ser cada vez mais presente nas linhas metroferroviárias, em função de sua importância na melhoria da segurança operacional e na redução de ocorrências nas regiões de plataforma das estações.

Considerando-se o cenário de um projeto *brownfield*, em que as plataformas não foram originalmente projetadas para receberem a PSD, é de suma importância a adoção de técnicas e metodologias que promovam uma implantação de forma eficaz, mitigando os impactos operacionais.

Nesse sentido, ficou evidenciada uma complexidade maior de uma implantação *brownfield* em relação ao *greenfield*, comparando-se cada uma das principais etapas do empreendimento: projeto, planejamento e execução, sendo que em relação a última, cabe ressaltarmos a criticidade da atividade de reforço estrutural, primordial e pressuposto para a instalação mecânica da PSD, que impacta significativamente o prazo de execução.

Por fim, a escolha do método construtivo da PSD é essencial, principalmente quando são nulas ou reduzidas as possibilidades de interdição das plataformas para instalação das fachadas.

Nesse contexto, observamos que, embora o método modular tenha exigido uma precisão



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA** **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

maior de estudos de engenharia, melhores processos de fabricação dos elementos, logística aprimorada e especialização maior da mão de obra, mostrou-se comprovadamente vantajoso em relação ao não modular, em virtude da maior rapidez de instalação e do menor número de pontos de fixação, reduzindo conseqüentemente os tempos de implantação em plataforma da obra civil em quase 50% e da instalação mecânica em 88%, aproximadamente, conforme demonstrado, anteriormente, na Tabela 1 - Quadro comparativo – tempo de implantação PSD não modular e modular.

Ademais, o método modular permite liberar a plataforma para a operação comercial com a instalação parcial da fachada, reduzindo significativamente os impactos operacionais.

Em complemento, os índices de interferências na via reduziram consideravelmente, com destaque para nenhuma ocorrência de acidentes (com queda na via), passageiros na via e tentativas de suicídio após a instalação da PSD em Jabaquara, conforme embasada na tabela abaixo:

Ocorrências com interface PSD Estação JAB	2019	2020	2021	2022 <sup>1</sup>		2023	2024 <sup>2</sup>
				Até 06/07	A partir de 07/07		
Tentativas de suicídio (na via)	0	0	0	1	0	0	0
Passageiro na via	2	1	2	2	0	0	0
Acidentes (com queda na via)	2	0	0	0	0	0	0

<sup>1</sup> PSDs inauguradas em 07/07/2022

<sup>2</sup> Até 31/07

*Tabela 2 – Estação Jabaquara - Ocorrências operacionais. Fonte: DO/DAG/CTE*



## **30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

Metrô – Cia. do Metropolitano de São Paulo. Disponível em:

<https://www.metro.sp.gov.br/metro/institucional/>. Acesso em: 26/07/2024

Onevair Ferrari. Greenfield, Brownfield ou Greyfield? 30.07.2018

<https://www.nexor.com.br/artigos/greenfield.html>

Coreia do Sul, Norma KRS, SG 0068 – 15 (R) *승강장 안전문 설비* - Platform Screen Door System;

Metrô – Cia. do Metropolitano de São Paulo, MC-9.84.19.XX\_600-702 - Memoriais de Cálculo do consumo de energia elétrica;

Metrô – Cia. do Metropolitano de São Paulo, MC-1.84.19.XX\_602-701 - Memorial de Cálculo do reforço estrutural das plataformas da linha 1 – azul;

Metrô – Cia. do Metropolitano de São Paulo, MC-3.84.19.SA\_602-703 - Memorial de Cálculo do reforço estrutural das plataformas da estação barra funda;

Metrô – Cia. do Metropolitano de São Paulo, MC-3.84.19.BA\_602-704 - Memorial de Cálculo do reforço estrutural das plataformas da estação Itaquera;

Metrô – Cia. do Metropolitano de São Paulo, MD-9.84.19.XX\_600-704 - Memorial descritivo dos componentes de controle do sistema PSD (PSD, MSP,PCM, PMP e demais equipamentos).