

**MITIGAÇÃO DE IMPACTOS
EM OBRAS SUBTERRÂNEAS
SOB EDIFICAÇÕES
TOMBADAS: NOVO TÚNEL
DA ESTAÇÃO LUZ CPTM**

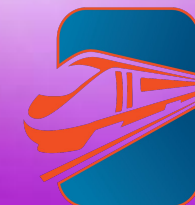
**31ª SEMANA DE TECNOLOGIA
METROFERROVIÁRIA**

Clayton Jo Amenomori

Fernandes José Pereira

Danilo Montevechi Daniel

Reginaldo de Alcântara Siqueira Filho



12ª edição
Prêmio
**Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários**

Apresentadores

FERNANDES JOSÉ PEREIRA
GERENTE DE EMPREENDIMENTOS GEF/DE – CPTM

CLAYTON JÔ AMENOMORI
CHEFE DEPARTAMENTO OBRAS CIVIS DEFC/GEF – CPTM

DANILO MONTEVECHI DANIEL
ENGENHEIRO – DEFC/GEF

Prefácio



**A PARTICIPAÇÃO DA CPTM NA AEAMESP
REFLETE SEU COMPROMISSO COM A INOVAÇÃO
E A BUSCA POR SOLUÇÕES EFICIENTES PARA OS
DESAFIOS DO TRANSPORTE URBANO E DA
LOGÍSTICA NO BRASIL.**

PREFÁCIO

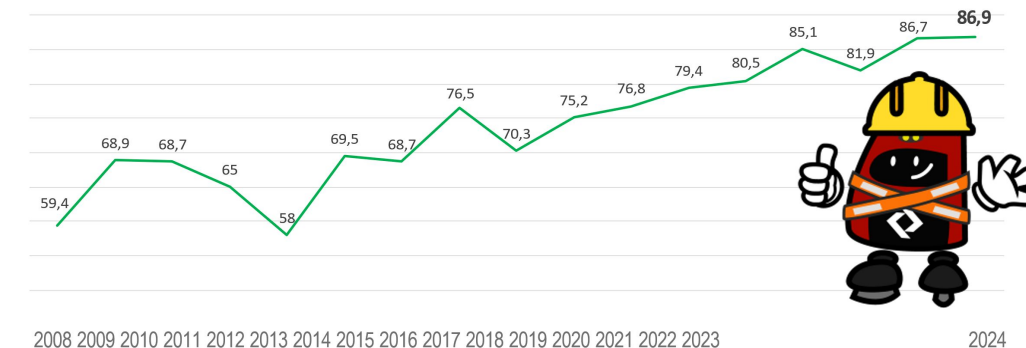
MITIGAÇÃO DE IMPACTOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS SOB EDIFICAÇÕES TOMBADAS: NOVO TÚNEL DA ESTAÇÃO LUZ CPTM

- Mobilidade e Acessibilidade
- Ponto Estratégico no Sistema Metroferroviário (RMSP)
- Qualidade do Serviço da CPTM



QUALIDADE DO SERVIÇO

Histórico de Avaliação **Positiva** (%)

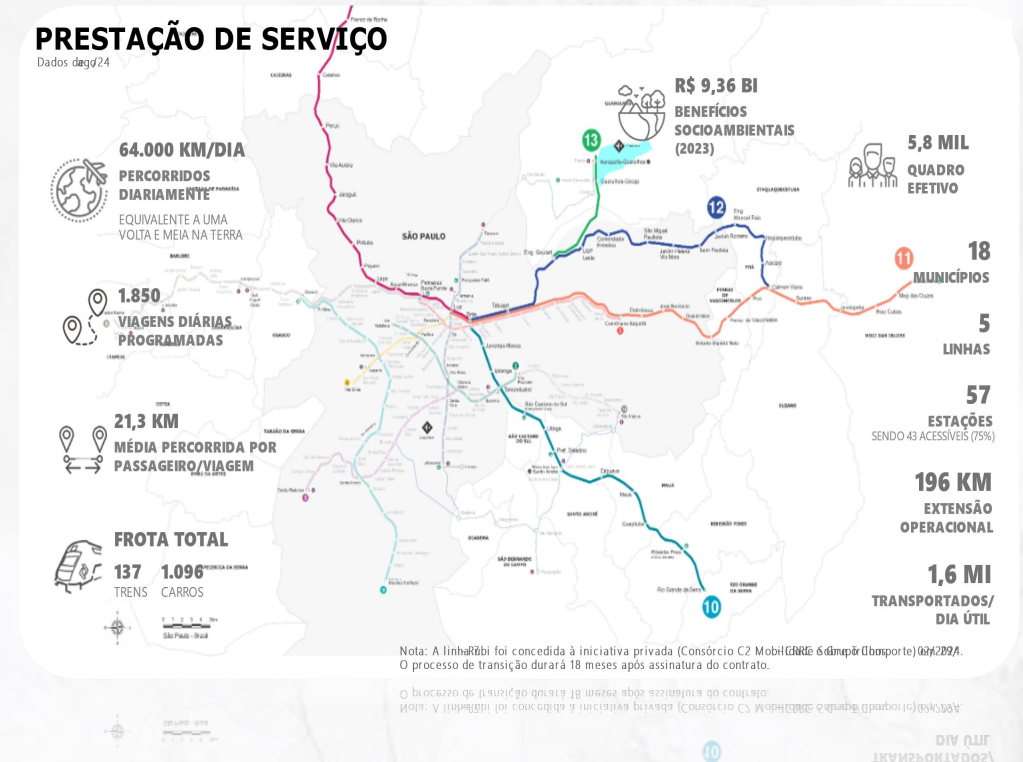


Fonte: Pesquisa de Avaliação da Satisfação e dos Serviços da CPTM

CARACTERÍSTICAS DO LOCAL E ENTORNO

DETALHES DA ESTAÇÃO DA LUZ E SUAS EDIFICAÇÕES LINDEIRAS

- CPTM: Papel na Mobilidade Urbana da RMSP
- Estação da Luz: Conexões – Linhas 7, 10, 11, Expresso Aeroporto-L13, 1-Azul e 4-Amarela
- Acessibilidade: Adequações e Implantações conforme a Lei nº 10.098/2000 – TAC / CPA.
- Entorno: Comércio (Santa Ifigênia & José Paulino)
- Eixo Sócio Cultural: Museu da Língua Portuguesa, Pinacoteca & Sala São Paulo



Introdução



INTRODUÇÃO

MITIGAÇÃO DE IMPACTOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS SOB EDIFICAÇÕES TOMBADAS: NOVO TÚNEL DA ESTAÇÃO LUZ CPTM

- Urbanização & Desafios Metroferroviários
- Obras Subterrâneas em Áreas Densas
- Soluções de Engenharia & Eficiência
- Preservação de Edificações Históricas
- Mitigação de Recalques & Reforço Geotécnico



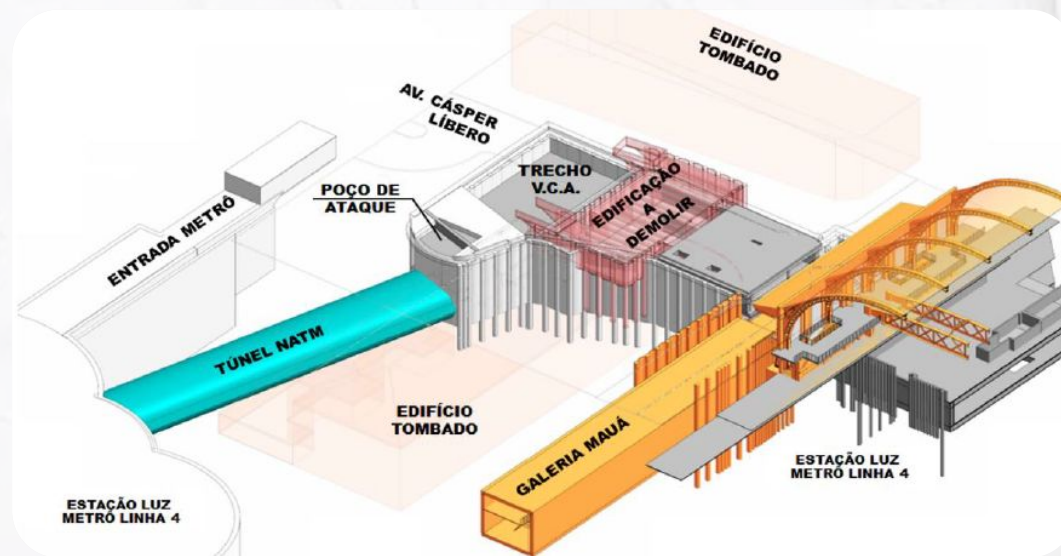
Objetivo



OBJETIVO

MITIGAÇÃO DE IMPACTOS EM OBRAS SUBTERRÂNEAS SOB EDIFICAÇÕES TOMBADAS: NOVO TÚNEL DA ESTAÇÃO LUZ CPTM

- Aplicação dos métodos construtivos NATM e VCA no Novo Túnel da Estação da Luz.
- Monitoramento das edificações do entorno.
- Integração entre Projeto e Engenharia Geotécnica.
- Mínimo impacto urbano.



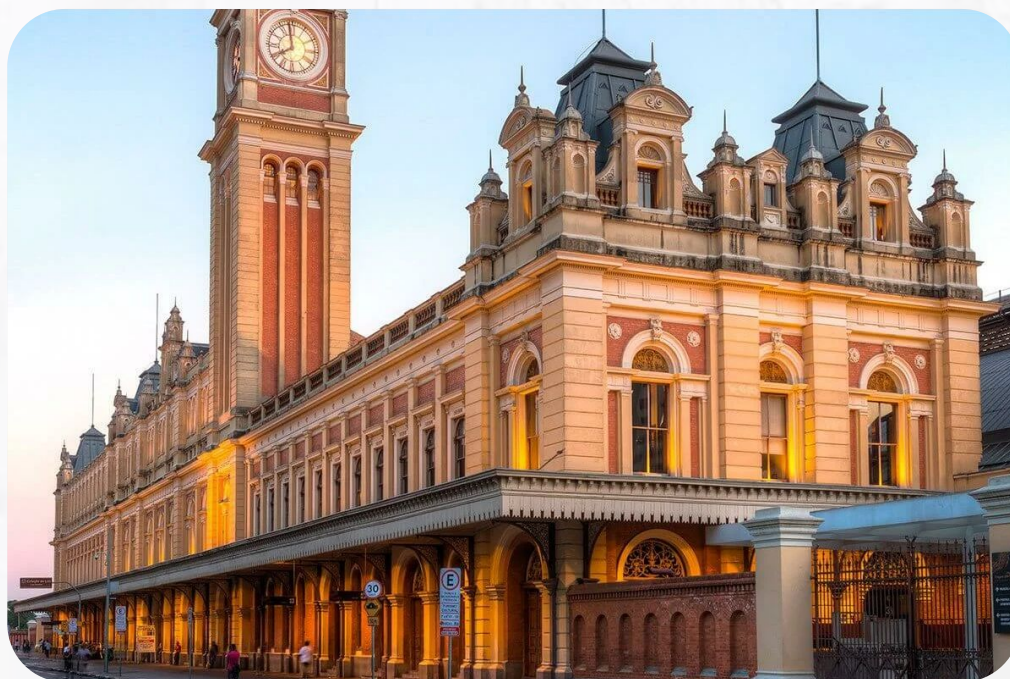
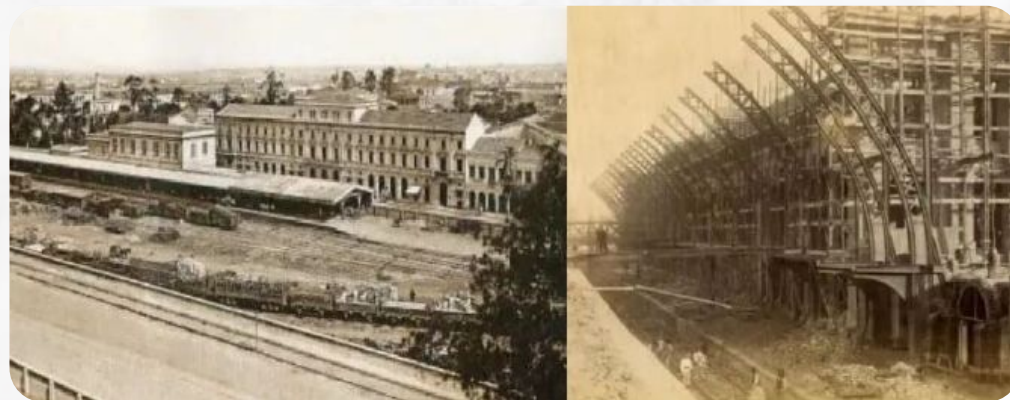
Contextualização e Diagnóstico



CARACTERÍSTICAS DO LOCAL E ENTORNO

A ESTAÇÃO LUZ

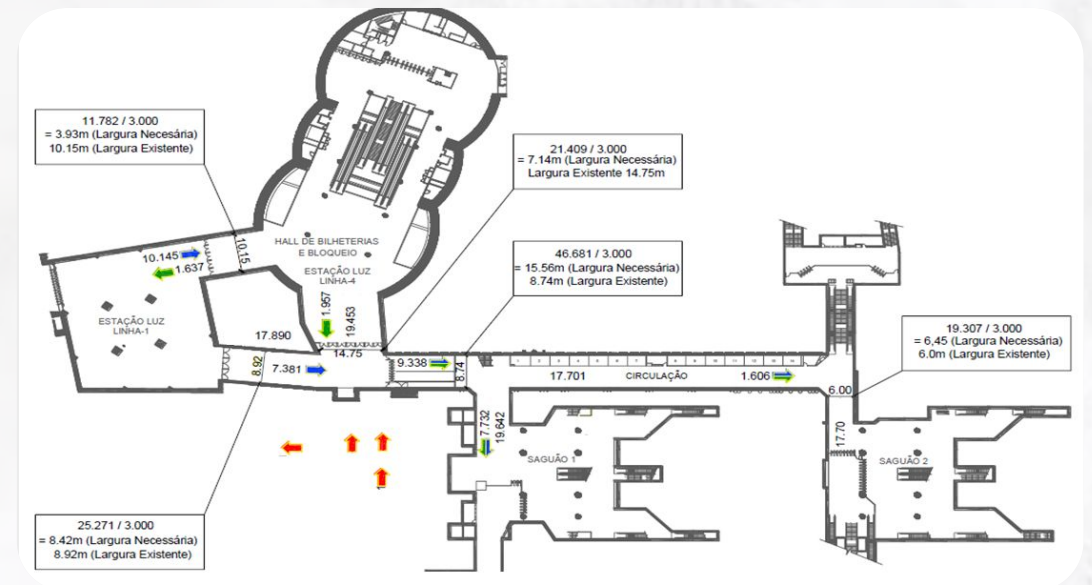
- Estação da Luz: Localização & Marco Histórico
- Inspiração Arquitetônica: Estação King's Cross pelo Arquiteto Charles Henry Driver
- Importância no Ciclo do Café e Desenvolvimento Urbano
- Tombamentos: Departamento do Patrimônio Histórico, Condephaat e Iphan



CARACTERÍSTICAS DO LOCAL E ENTORNO

O NOVO TÚNEL LUZ: NECESSIDADES E DESAFIOS

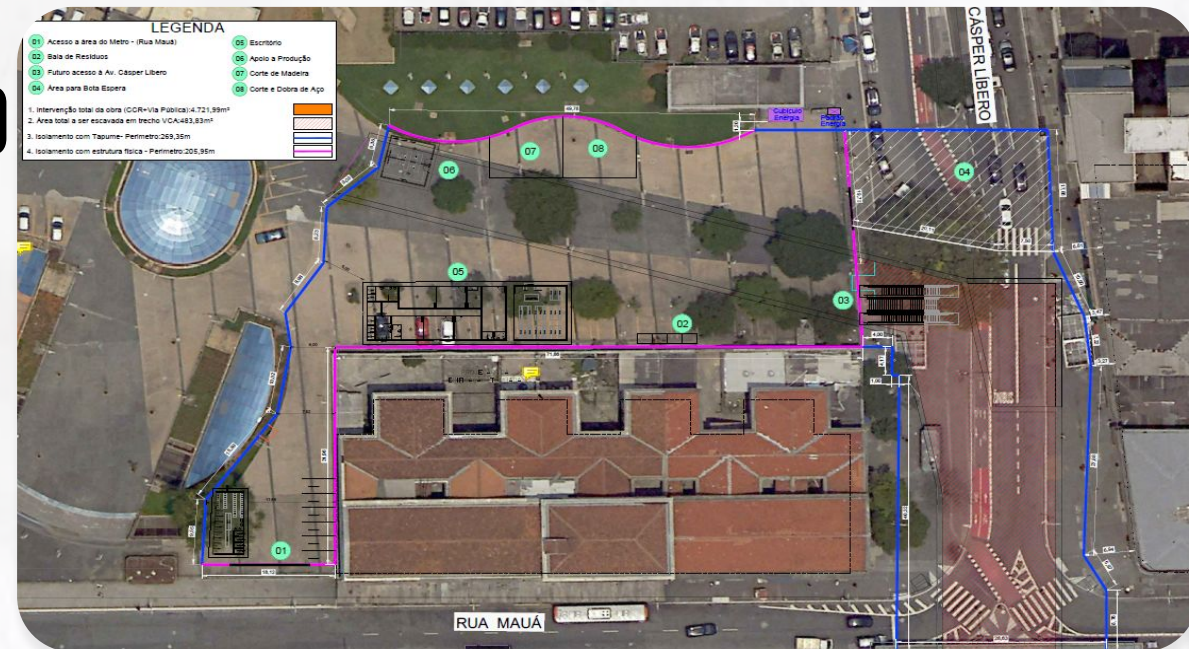
- Túnel da Luz: Obra Subterrânea de Alta Complexidade;
- Objetivo: Aumentar Capacidade e Fluxo entre CPTM e Metrô;
- Déficit na Galeria Mauá: 6,82m (Capacidade x Demanda);
- Justificativa: Conforto, Segurança e Nível de Serviço;



CARACTERÍSTICAS DO LOCAL E ENTORNO

DESAFIOS IMPOSTOS PELA LOCALIZAÇÃO

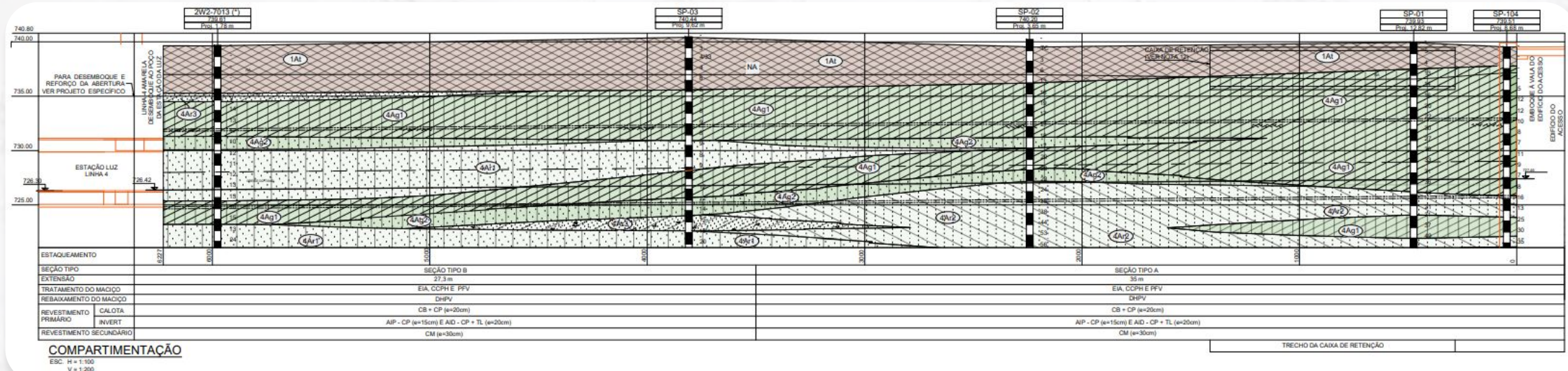
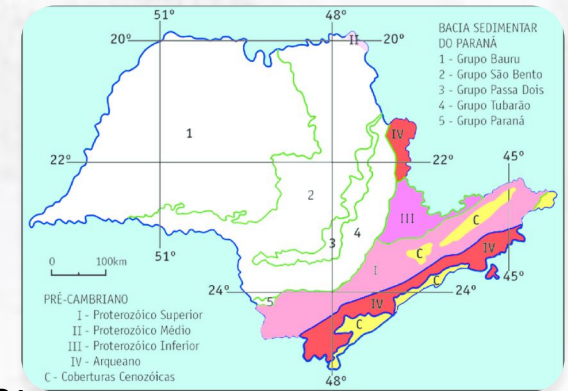
- Manter o fluxo contínuo de passageiros mesmo durante as obras subterrâneas;
- Segurança dos passageiros e trabalhadores;
- Minimização de vibrações e ruídos;
- Espaço Confinado;
- Fundações de edificações existentes;
- Região de Sítio Arqueológico.



CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E ATIVIDADES PRELIMINARES

DESCRIÇÃO DO MACIÇO ESCAVADO: FORMAÇÃO SÃO PAULO

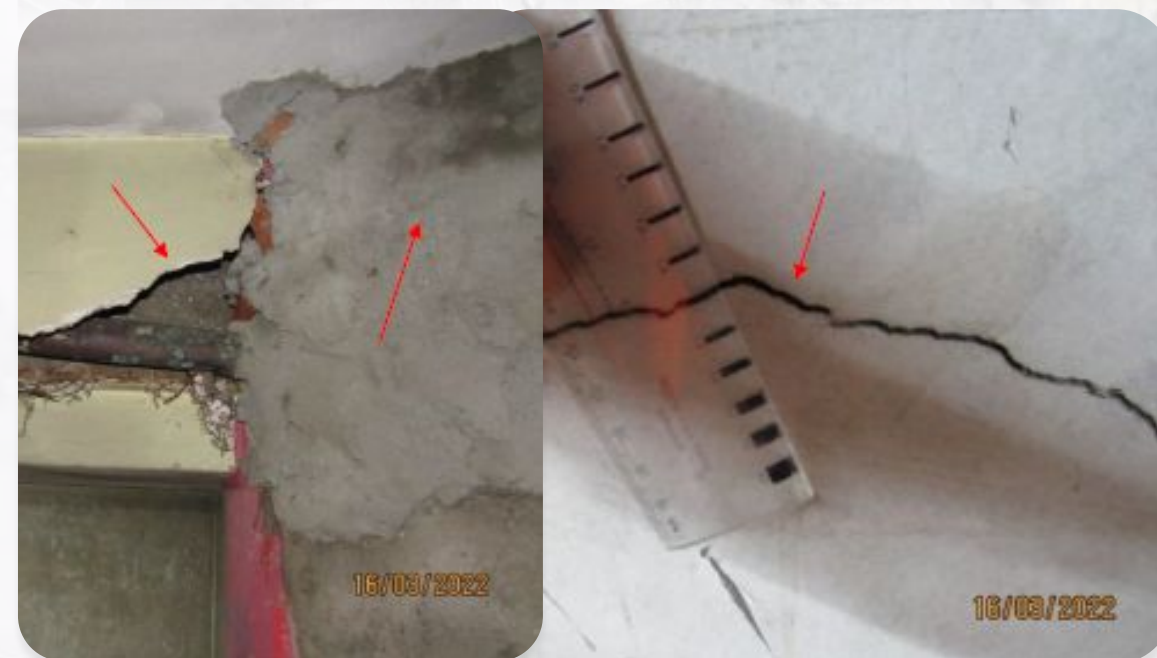
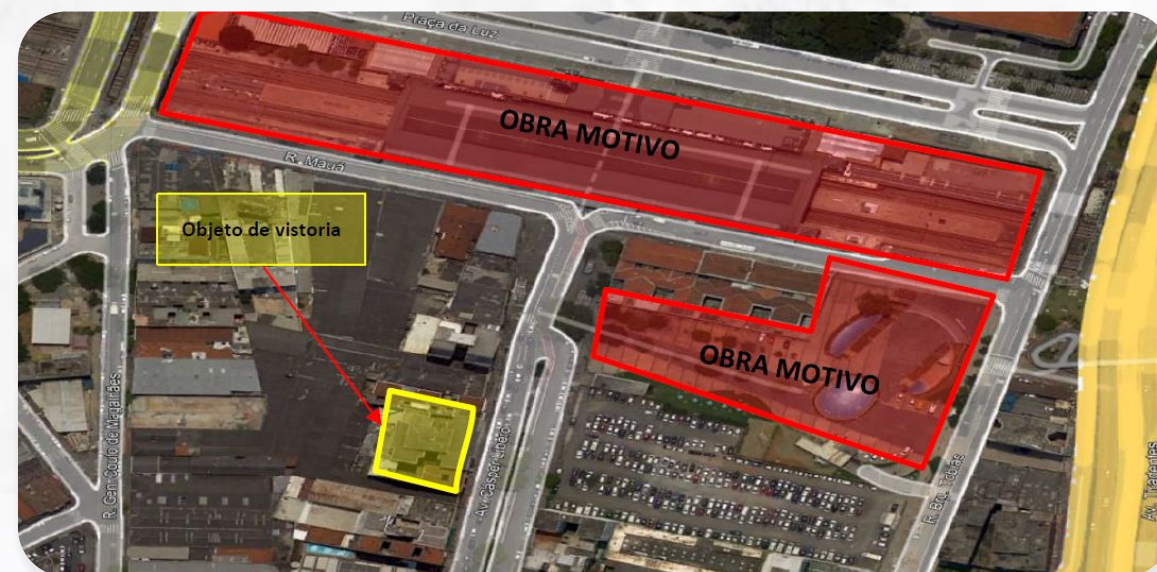
- **Geologia Regional** – Bacia de São Paulo, relevo suave, sedimentos Terciários;
- **Maciço Escavado** – Argilas rijas, lentes de areia, heterogeneidade significativa;
- **Propriedades Geotécnicas** – Variações de plasticidade, compacidade e permeabilidade;
- **Reforço e Consolidação** – Minimização de tensões e deformações nas fundações;
- **Monitoramento** – Modelos geotécnicos e calibração contínua



CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E ATIVIDADES PRELIMINARES

CADASTRO DE VISTORIA CAUTELAR

- **Ação Estratégica** – Minimizar impactos antes, durante e após as obras;
- **Cadastro Pré-Obra** – Levantamento estrutural e não estrutural das edificações;
- **Foco** – Atenção especial a imóveis tombados e lindeiros;
- **Marco Inicial** – Registro das condições para identificar novas patologias;
- **Gestão de Riscos** – Transparência com fiscalização e comunidade.



CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA E ATIVIDADES PRELIMINARES

SISTEMA DE INSTRUMENTAÇÃO

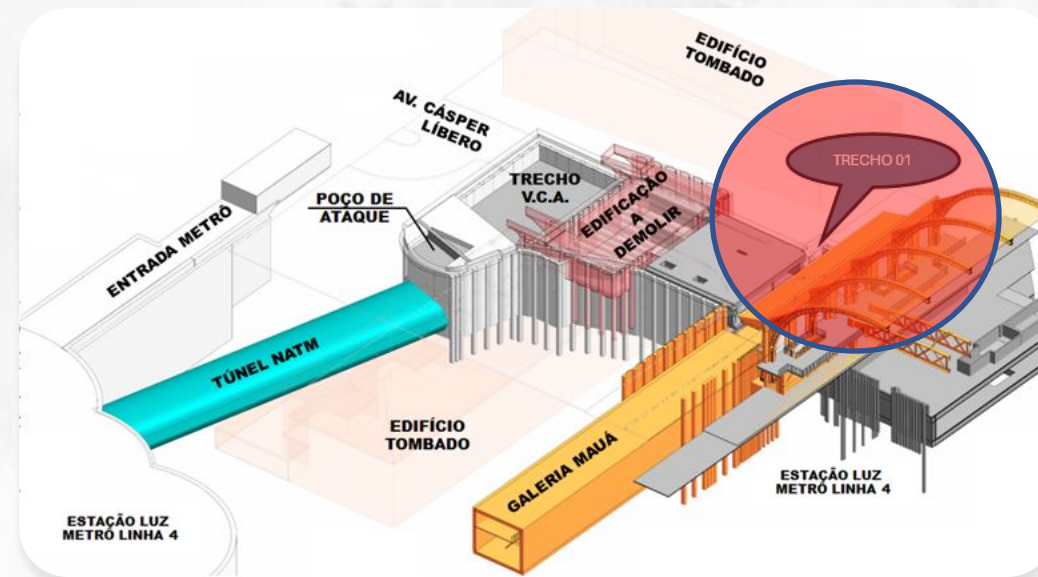
- **Objetivo:** segurança da obra e preservação das edificações tombadas;
- **Abordagem:** monitoramento contínuo do comportamento solo-estrutura;
- **Instrumentação:** Marco profundo (BM); Marco Superficial/Refletor (MS/MR); INA; piezômetro; pino de convergência; clinômetro;
- **Resultado:** controle dinâmico, ajustes operacionais e mitigação de riscos.



DESCRIÇÃO DO TRECHO DE OBRA

TRECHO 01: INTERLIGAÇÃO “NATM” SAGUÃO 02 CPTM COM ACESSO CÁSPER LÍBERO – TRECHO 01

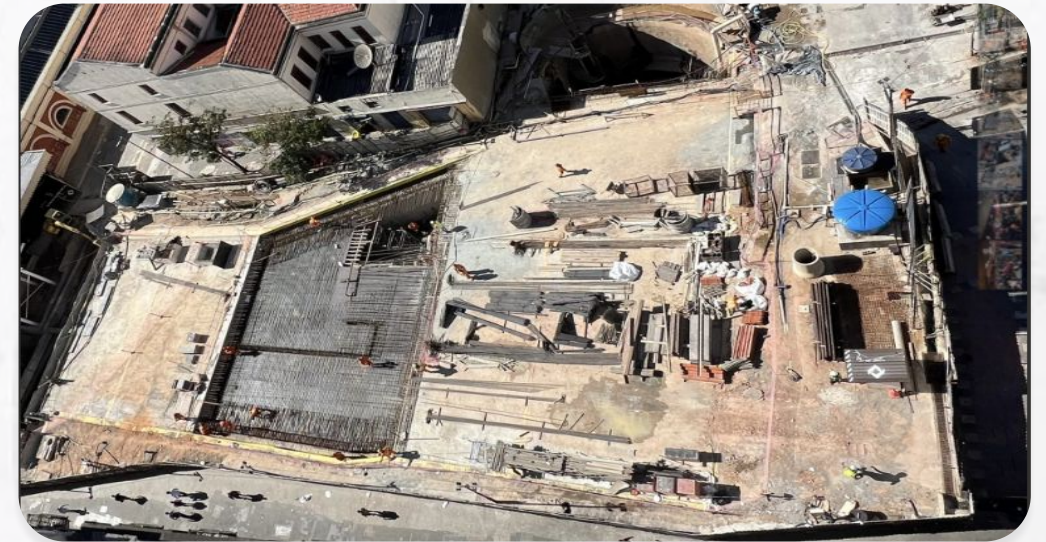
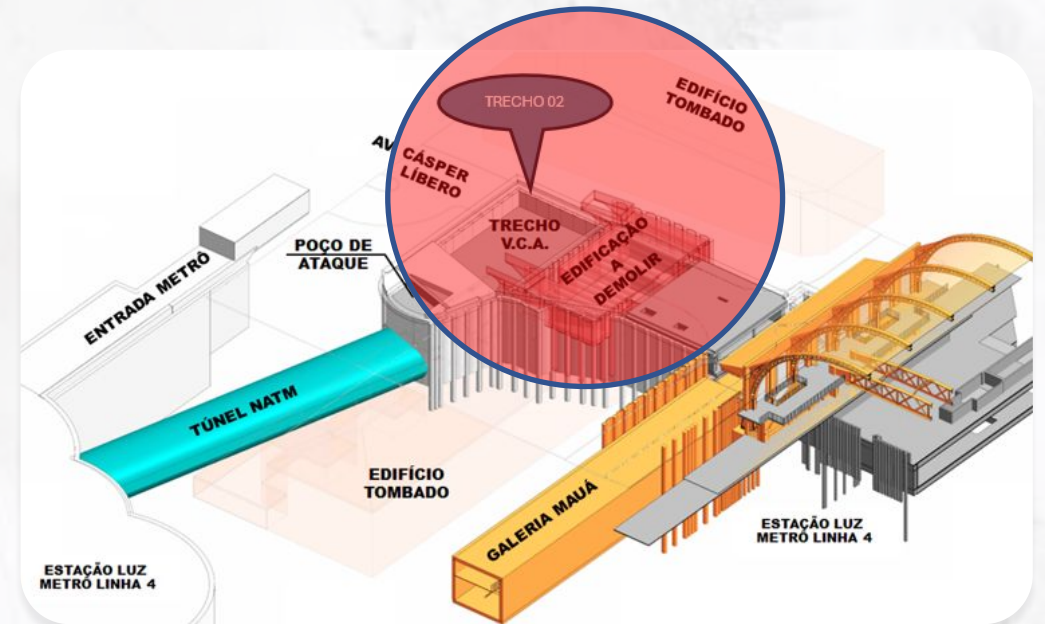
- Obra segmentada em trechos devido ao entorno sensível da Estação da Luz;
- Trecho 01 - Interligação do Saguão 2 da CPTM com o Acesso Cáspers Líbero;
- Execução integral pelo método NATM;
- Condição crítica passagem sob a fundação direta da edificação da Estação da Luz.



DESCRIÇÃO DO TRECHO DE OBRA

TRECHO 02: NOVO ACESSO CÁSPER LÍBERO (VCA SEMI-INVERTIDO)

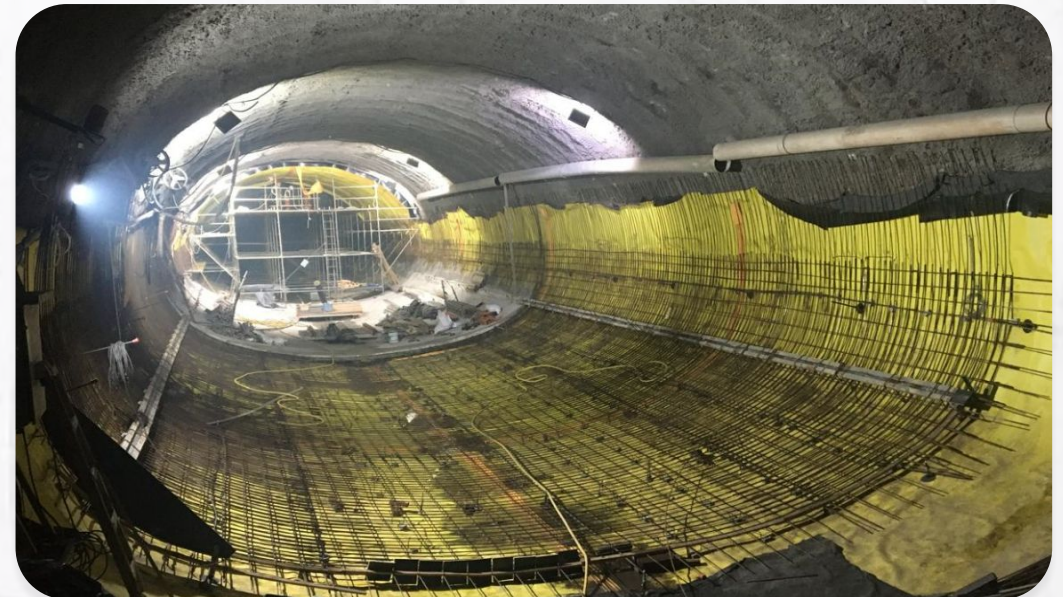
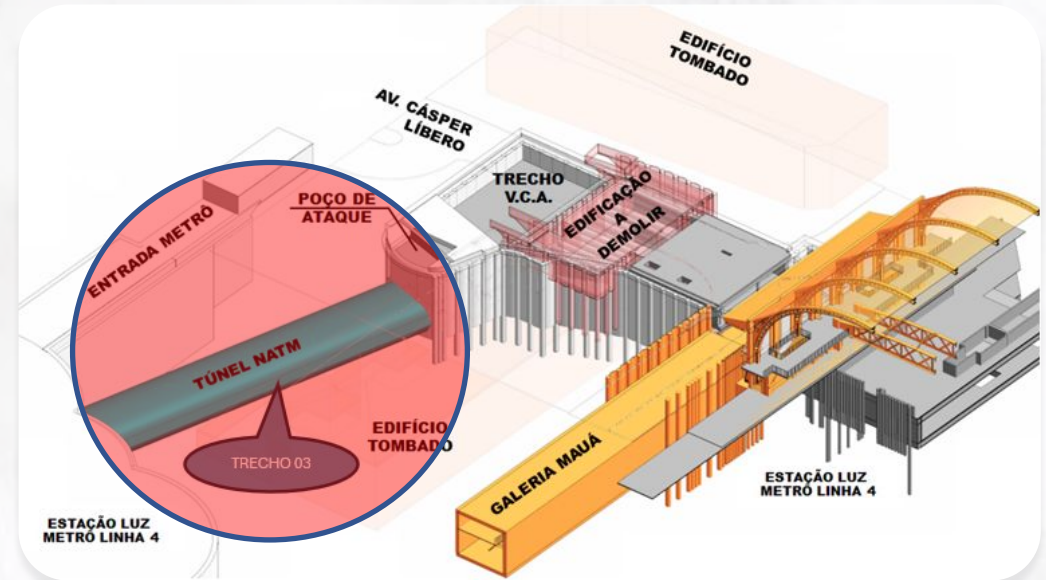
- Trecho 02: novo acesso Cásper Líbero;
- Execução por Vala a Céu Aberto semi-invertida;
- Função ponto de conexão e circulação de passageiros;
- Acesso direto à Avenida Cásper Líbero;
- Ligação parcial com a Linha 4 Metrô.



DESCRIÇÃO DO TRECHO DE OBRA

TRECHO 03: CORREDOR SUBTERRÂNEO DE INTERLIGAÇÃO DO NOVO ACESSO CÁSPER LÍBERO AO METRÔ LINHA 4 - NATM

- Trecho 03 corredor subterrâneo entre o acesso Cásper Líbero e a Linha 4 Metrô
- Execução pelo método NATM repetindo a abordagem do Trecho 1
- Conexão direta e fluxo seguro de passageiros



METODOLOGIAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS

MÉTODO NATM “NEW AUSTRIAN TUNNELLING METHOD”

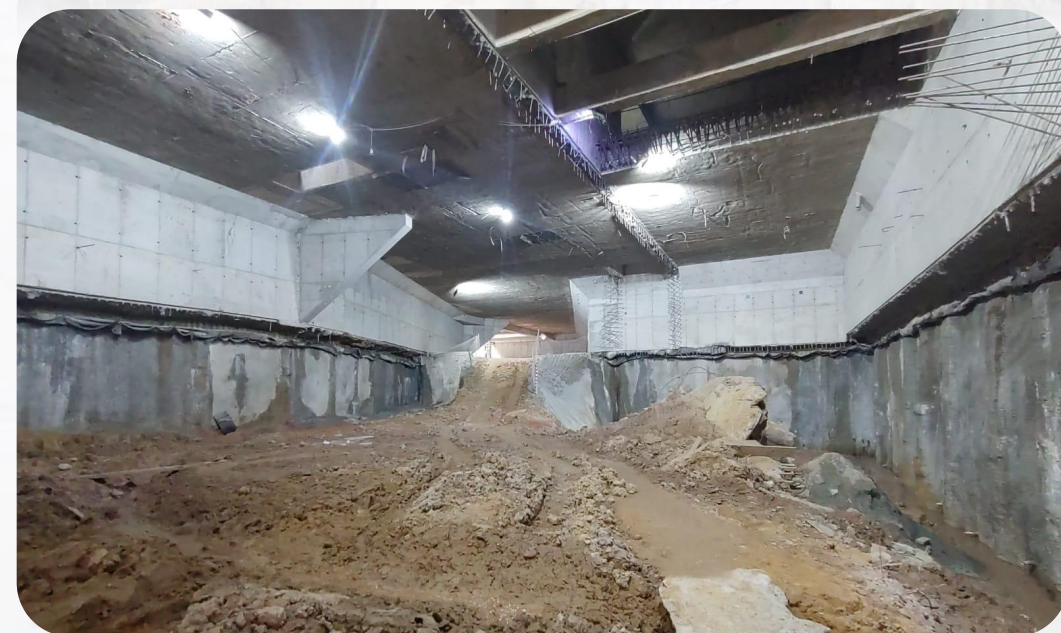
- Trechos subterrâneos com método NATM, suportes flexíveis instalados imediatamente para estabilizar deformações
- Avanços em seções parciais Trecho 01 com 1,00 m e Trecho 03 com 0,82 m reduzindo frente exposta e permitindo controle contínuo
- Trecho 03 com bermas de equilíbrio, enfilagens com tubos metálicos na abóbada e pregagens com fibra de vidro para reforço e menor deformação
- Invert provisório na primeira fase substituído por invert definitivo concluindo o revestimento primário
- Revestimento secundário estrutural em concreto armado moldado



METODOLOGIAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS

MÉTODO VALA A CÉU ABERTO “VCA” SEMI-INVERTIDA

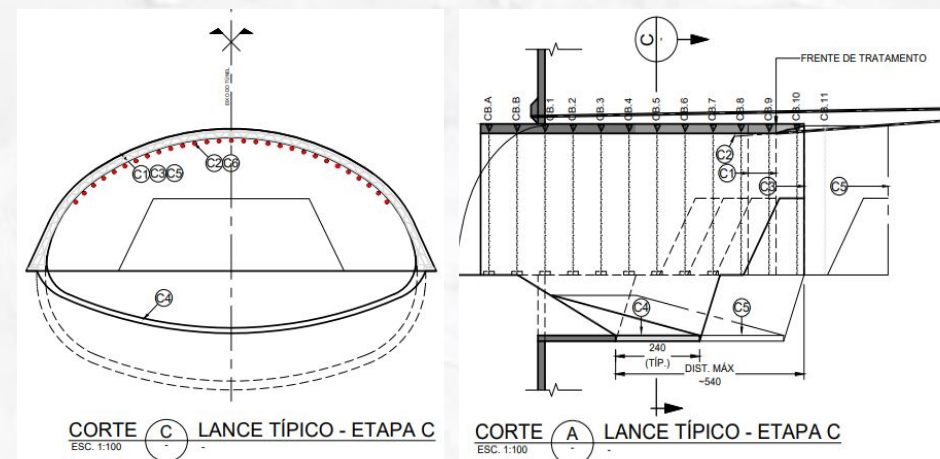
- Trecho 2 com VCA semi-invertida permitindo intervenção direta pela superfície e logística para equipamentos de grande porte
- CONTENÇÃO inicial com estacas escavadas não justapostas em todo o perímetro e viga de coroamento interligando os topos
- Fechamento dos vãos entre estacas com concreto projetado durante a escavação e destinação do material conforme diretrizes da CETESB
- Avanço até a cota da laje intermediária com execução da estrutura em concreto armado paredes perimetrais e laje de cobertura
- Estrutura superior consolidada com início da fase invertida retomando a escavação sob a laje intermediária até a cota de fundo e execução da laje de fundo e paredes até a cota inferior da laje intermediária concluindo o Trecho 2



METODOLOGIAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS

ENFILAGENS COM TUBOS METÁLICOS

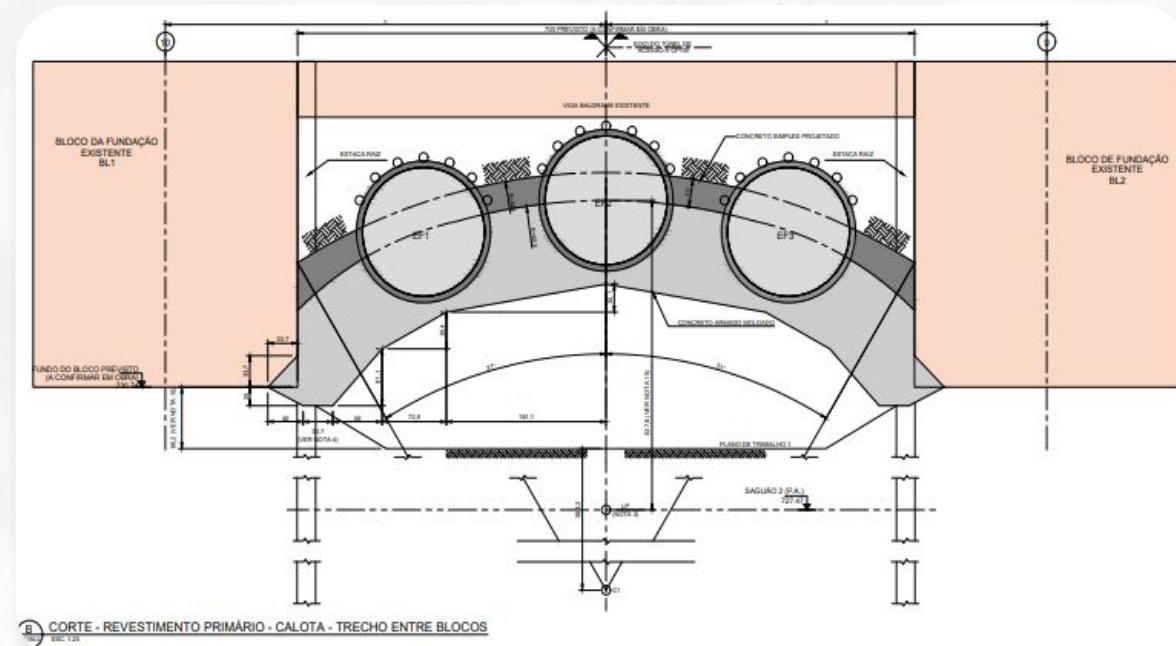
- Enfilagens com tubos metálicos “schedule 40” nos trechos NATM 1 e 3
- Perfuração do maciço e inserção de tubos manchetados
- Injeção de calda de cimento na bainha e na primeira fase para solidarizar o terreno
- Formação de arco de sustentação que pré reforça o maciço
- Redução de deformações e recalques, viabilizando as etapas seguintes



METODOLOGIAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS

ENFILAGENS DE GRANDE DIÂMETRO

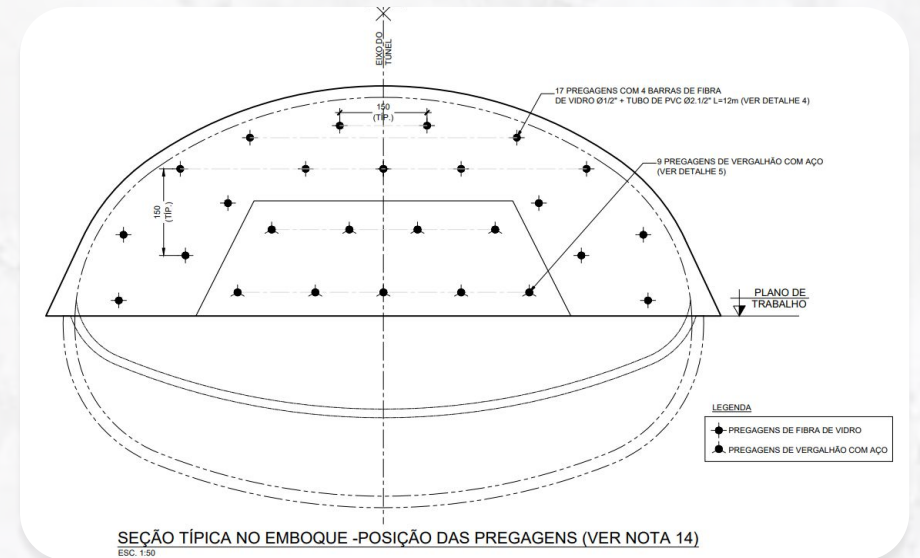
- Enfilagens metálicas de $\varnothing 1,40$ m sobre a abóboda
- Implantação junto ao bloco dos arcos metálicos e sob fundações diretas das paredes
- Função consolidar e reforçar o maciço escavado conforme projeto
- Conversão das enfilagens em vigas de concreto armado para redistribuição de esforços
- Recalque e tensões mitigados ao transferir cargas para a laje de cobertura do Saguão 2 e para a parede-portal
- Segurança e estabilidade das fundações da Estação



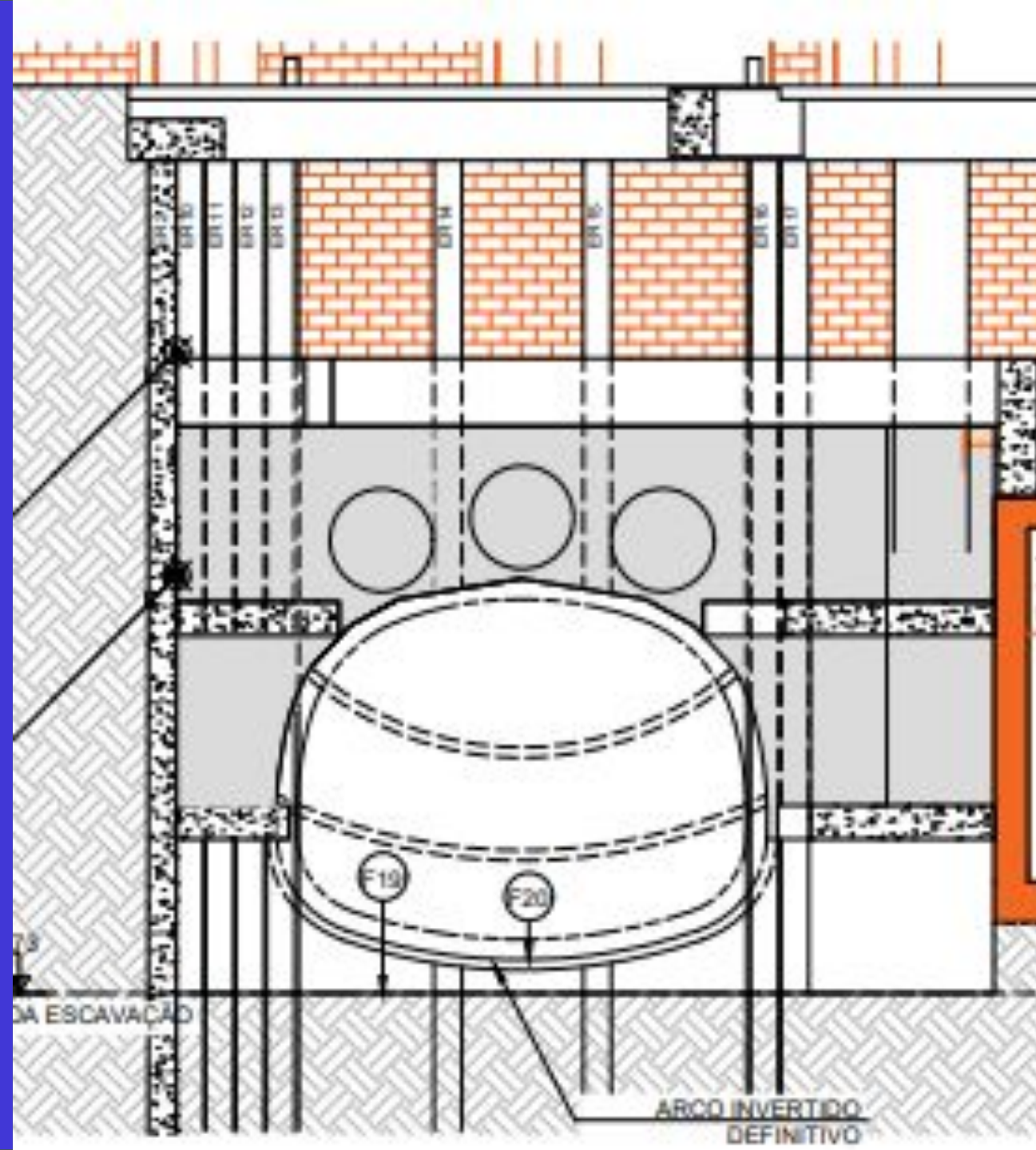
METODOLOGIAS CONSTRUTIVAS ADOTADAS

PREGAGEM COM BARRA DE FIBRA DE VIDRO

- Pregagem com barras de fibra de vidro na frente de escavação dos túneis NATM
- Aplicação no Trecho 03 durante a execução do revestimento primário
- Procedimento com inserção das barras na enfilagem e injeção de calda de cimento para solidarizar o maciço
- Vantagens do material leveza, alta resistência à tração e baixa resistência ao cisalhamento permitindo avanço com equipamentos convencionais
- Função estabilizar a frente, controlar deformações iniciais e reduzir riscos de instabilidade



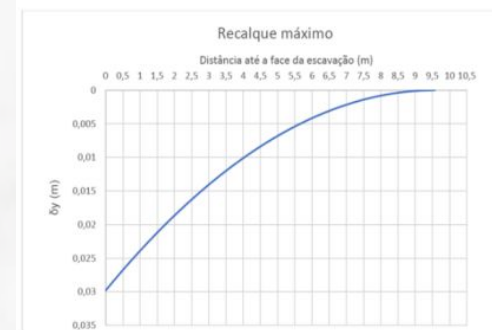
Análise de Resultados



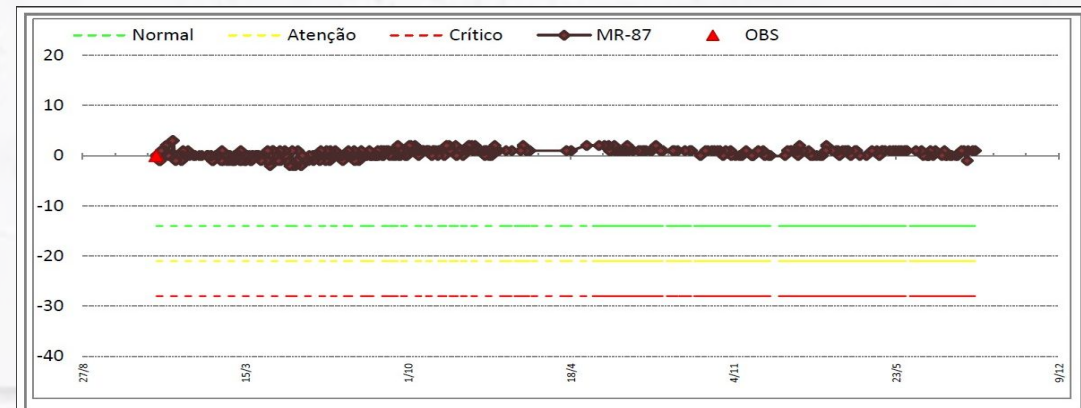
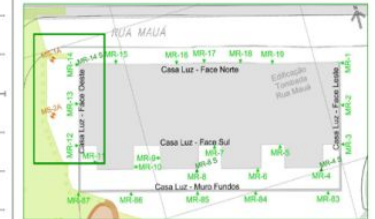
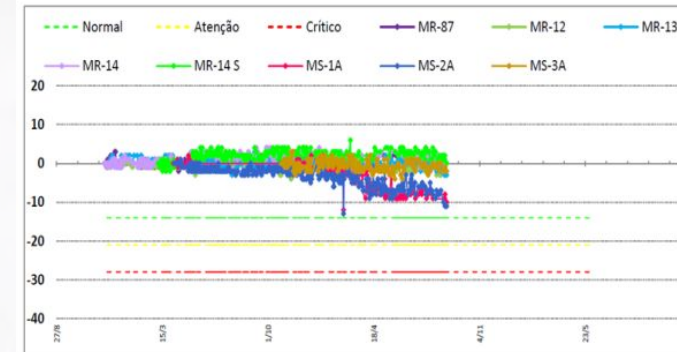
ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO

DISCUSSÃO DOS DADOS E COMPROVAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL – TRECHO 02

- Comportamento dentro dos limites de alerta crítico, estabilidade global
- Recalques superficiais residuais mínimos, destaque MR-87
- VCA Trecho 02, previsão de borda 29 mm (projeto – valor crítico),
- Deslocamento medido 2 mm, sem fissuras ou deformações
- Mitigações e monitoramento contínuos, desempenho superior ao previsto
- Eficácia comprovada das soluções e metodologias adotadas

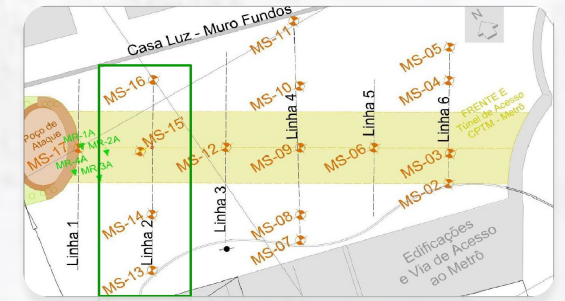


Profundidade da escavação	H (m)	13,77
Distância afetada pela escavação (Bowles, 1997)	D (m)	9,57
Ângulo de Atrito médio	Φ (°)	26,4
Volume deslocado por metro de escavação	Vs (m³/m)	0,142
Recalque máximo na borda da escavação (Bowles, 1997)	ρ (mm)	29
% Recalque máximo na borda da escavação	H/p (%)	0,228



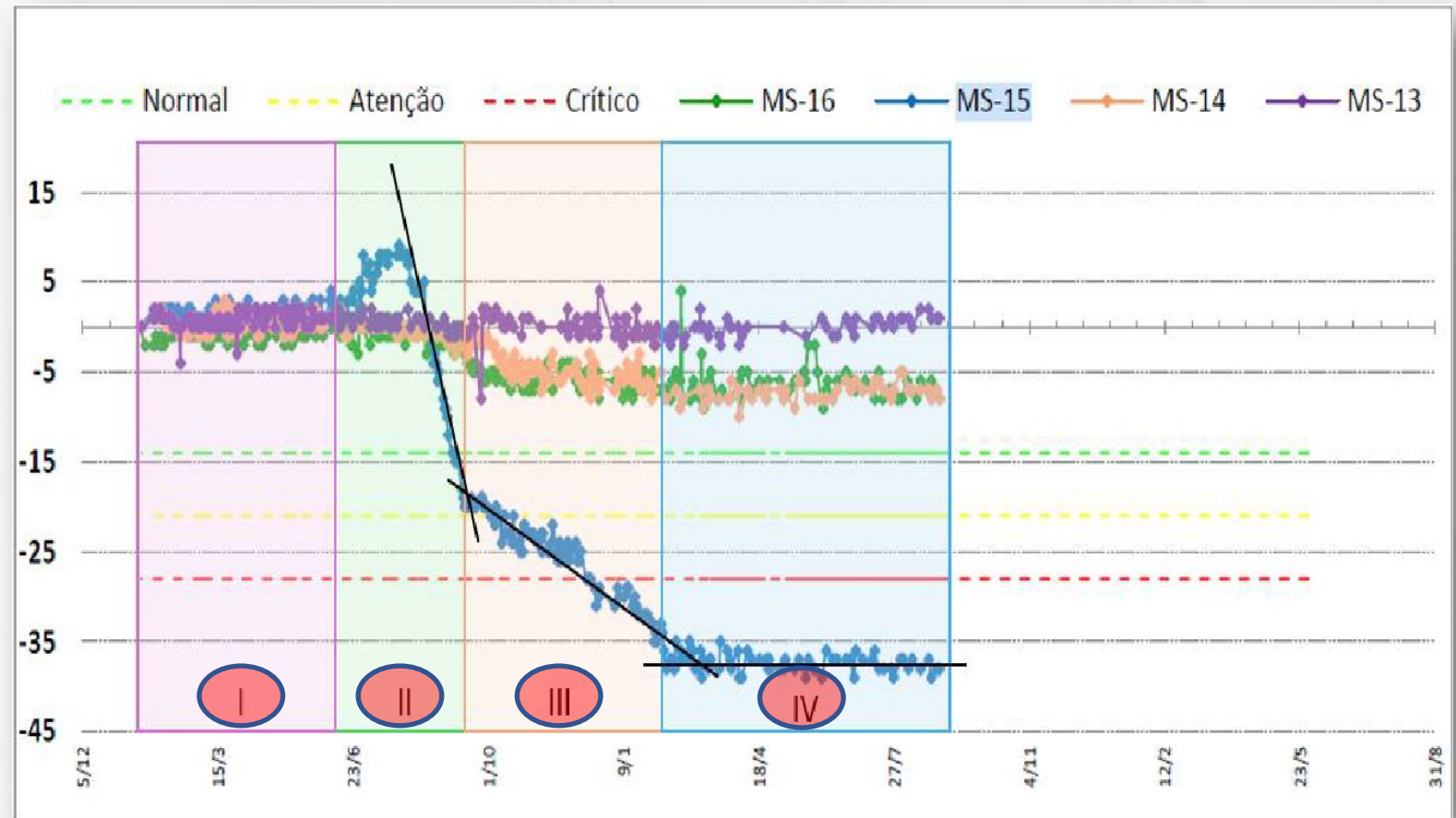
ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO

DISCUSSÃO DOS DADOS E COMPROVAÇÃO DA ESTABILIDADE GLOBAL – TRECHO 03



Estágios I–IV: inicial estável;
pré-suporte com enfilagens e
pico MS-15 ~ -20 mm;
pós-escavação com
revestimento/invert reduzindo
taxas; longo prazo estável
MS-15 ~ -40 mm

- Existência de enfilagens geram pressão negativa no solo;
- Passagem da escavação pela linha de instrumentação;
- Normalização do maciço.



ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS DE MONITORAMENTO

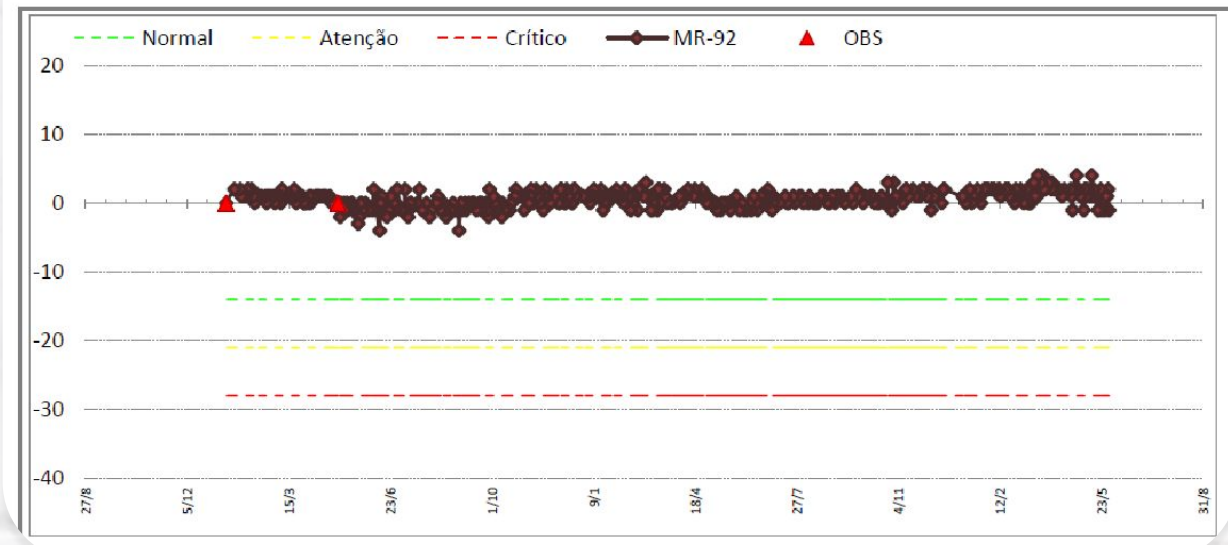
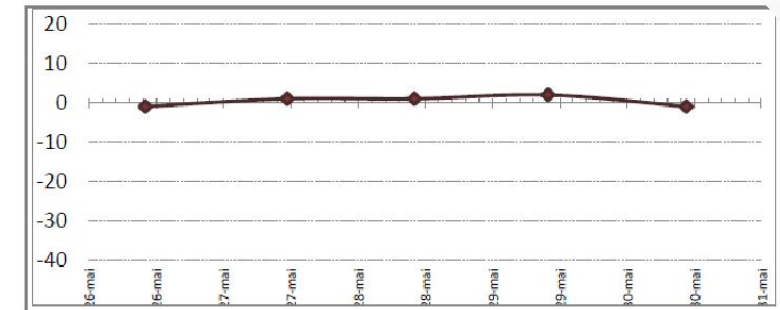
DISCUSSÃO E INTERPRETAÇÃO DAS LEITURAS EM RELAÇÃO AS DEFORMAÇÕES DO SOLO E DESLOCAMENTO DAS FUNDAÇÕES – TRECHO 01

- NATM Trecho 01 sob fundação, enfilagens $\varnothing 1,40$ m;
- MR-92 acumulado $-1,0$ mm, dentro de Normal, efeito de pré-suporte evidente
- Conclusão: integridade preservada e eficácia das soluções de monitoramento e reforço



Últimas Leituras

Data	Cota m	Desloc. Vertical	
		Parcial mm	Acum. mm
30/5/25 10:32	742,05600	-3,0	-1,0
29/5/25 9:48	742,05900	1,0	2,0
28/5/25 10:01	742,05800	0,0	1,0
27/5/25 11:17	742,05800	2,0	1,0
26/5/25 10:00	742,05600	0,0	-1,0



EVIDÊNCIAS DE EFICÁCIA DAS METODOLOGIAS CONSTRUTIVAS E SOLUÇÕES DE REFORÇO

- Evidências de campo confirmam NATM e VCA semi invertida eficazes
- Enfilagens “Schedule 40” e $\varnothing 1,40$ m com efeito de pré suporte (MR-92 $\sim$ 0)
- Pregagem em fibra de vidro e enfilagens na abóbada consolidando o primário
- Execução conforme projeto controlando deformações e tensões nas fundações tombadas
- Monitoramento com estabilidade global marcos em “Normal” MS-15 estável $\sim$ -40 mm preservação atendida



Conclusões



CONCLUSÕES

- Empreendimento complexo em área urbana com patrimônio tombado e foco em mitigar recalques e vibrações
- Metodologias NATM e VCA semi invertida com reforços geotécnicos dedicados
- Enfilagens metálicas schedule 40 e $\varnothing 1,40$ m e pregagem em fibra de vidro gerando pré suporte e consolidando o maciço
- Rebaixamento do nível d'água criando condições favoráveis e controlando perda de volume
- Monitoramento contínuo validou os deslocamentos dos MS-13 a MS-16 e MR-92 dentro das tolerâncias. O MS-15 se estabilizou em torno de -40 mm após a execução do invert definitivo
- Resultado estabilidade global preservação do patrimônio e mobilidade urbana viabilizada com gestão eficaz

AEAMESP

35 ANOS NOS TRILHOS DA TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

OBRIGADO!

Clayton Jo Amenomori

Fernandes José Pereira

Danilo Montevechi Daniel

Reginaldo de Alcântara Siqueira Filho

clayton.amenomori@cptm.sp.gov.br

fernandes.pereira@cptm.sp.gov.br

danilo.montevechi@cptm.sp.gov.br

reginaldo.filho@cptm.sp.gov.br



12ª edição
Prêmio
**Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários**

ANP
TRILHOS

TIC TRENS

 **CPTM**

 **AEAMESP**