

30 de setembro de 2015 – São Paulo, SP

17º
SEMINÁRIO
TECNOLOGIA
DE ESTRUTURAS
PROJETO E PRODUÇÃO COM FOCO
NA RACIONALIZAÇÃO E QUALIDADE

**O impacto das escavações profundas e
contenções na vizinhança de obras urbanas**

Ricardo Luiz Leonardo Leite
Metrô de São Paulo

REALIZAÇÃO

SindusCon  **SP**
O Sindicato da Construção
Desde 1934



CONCEPÇÃO

CASO 2

Metrô  **Vizinhaça**

DETALHAMENTO

1º grande impacto na vizinhança ➡ opção pela Vala a Céu Aberto - VCA

Estação São Bento – L1

Impacto devido a ocupação do território urbano com interdições do sistema viário local, conflitos com as redes de utilidades públicas, ruídos, movimentação intensa de grandes equipamentos e caminhões entre outros.



Concepção dos anos 1970

*Nos anos 1970 não
havia opção para as
estações subterrâneas;
a única metodologia
construtiva disponível
era a Vala*



Concepção dos anos 1970

Nos anos 1970, para os túneis das vias entre estações havia a opção do uso de tuneladoras, embora limitado pelo alto custo.



Diâmetro = 6,00 m



A implantação das obras do Metrô em uma cidade como São Paulo, inserida na 4ª maior Região Metropolitana do mundo com mais de **19 milhões de habitantes** e uma frota de cerca **7 milhões de veículos**, conforme estimativa do IBGE, constitui-se em um constante e complexo desafio.

Condições espaciais urbanas, como o alto adensamento de edifícios de grande porte, de tráfego e de redes de utilidades públicas em constante e rápida expansão e **legislações** como as ambientais, de acessibilidade e de segurança **estabelecem padrões de desempenho cada vez mais restritivos para implantação das obras**, particularmente para as valas.

A busca por novas tecnologias e soluções técnicas, que façam frente a essas demandas, têm-se constituído no cotidiano daqueles que concebem as novas linhas.

As metodologias construtivas de obras subterrâneas do Metrô de SP têm sido absorvidas, desenvolvidas e ampliadas ao longo dos últimos 40 anos, período no qual foram conquistados importantes avanços.

Atualmente uma ***gama maior de métodos construtivos estão à disposição***. O uso deles, isolados ou combinados, possibilitam uma redução significativa do uso da vala e, portanto, das intervenções na superfície.

As imagens seguintes ilustram o progresso desses métodos desde os anos 1970 até os dias de hoje.



Escoramento
dos anos 1970



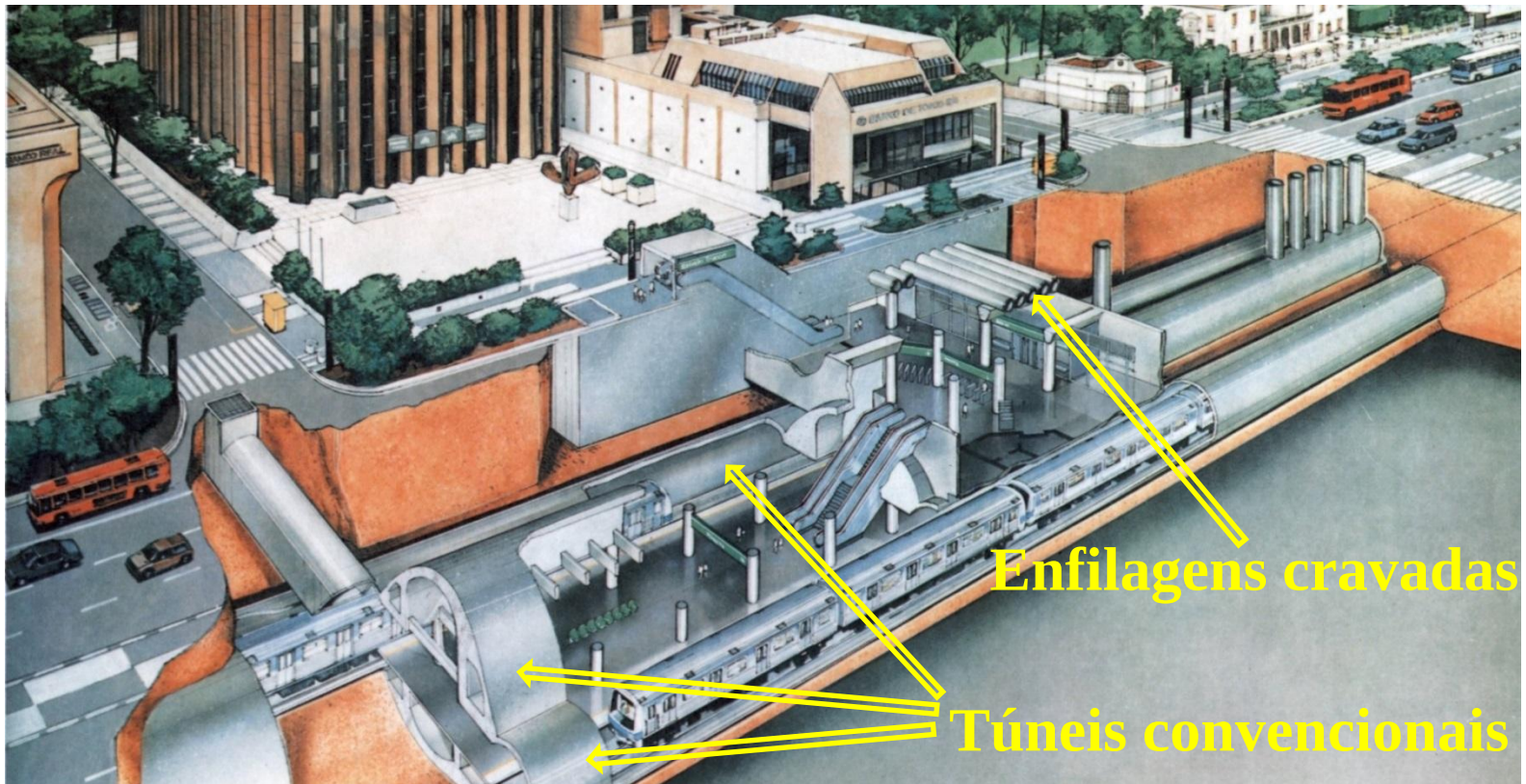
Escoramento
dos anos 1980



Leite, R. L. L. (1992)

Estação conceito do Ramal Paulista – L2

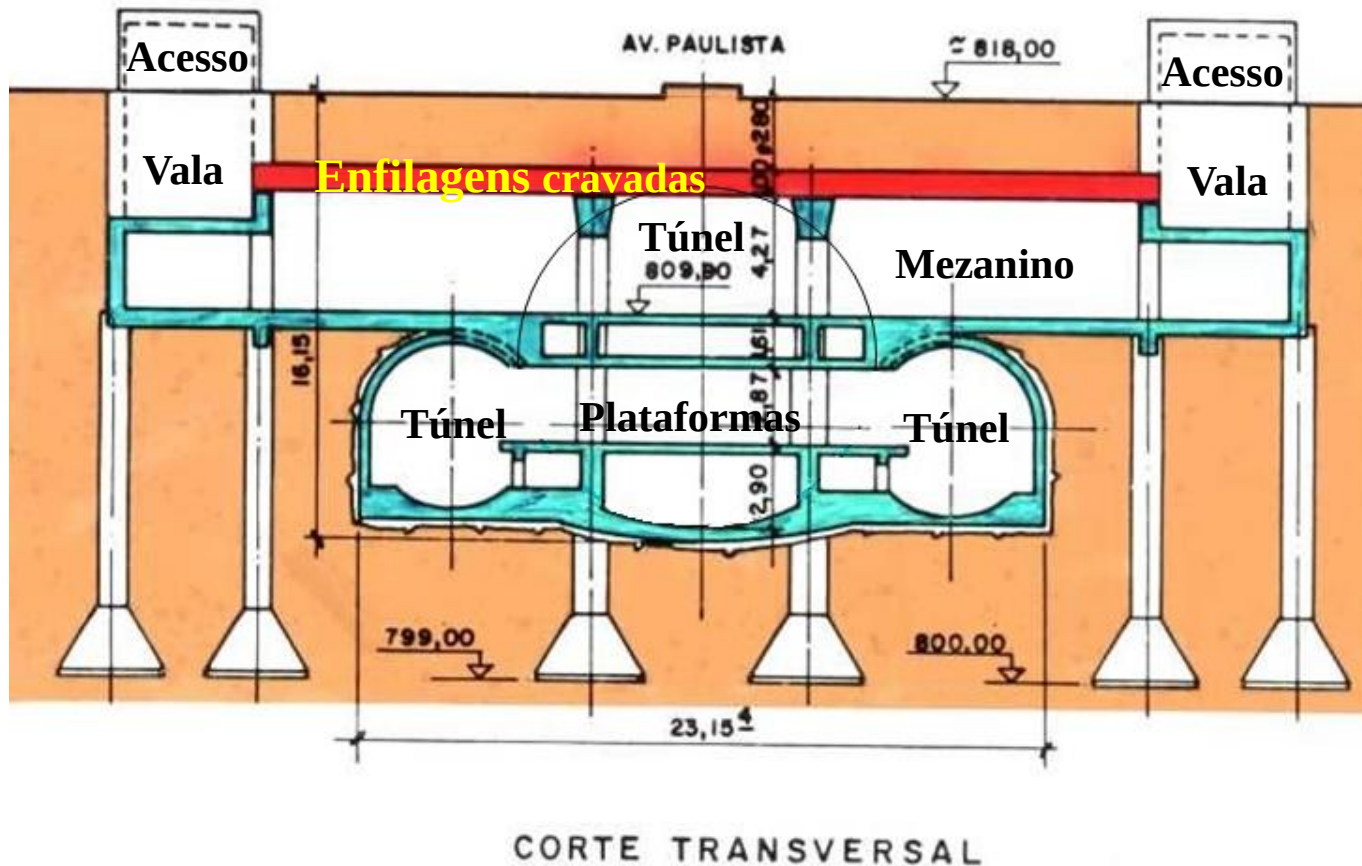
As estações foram concebidas com novos métodos construtivos (túnel convencional e enfilagens cravadas) reduzindo o impacto das valas no meio urbano.



Concepção dos anos 1980

Estação Trianon do Ramal Paulista – L2

As valas com cerca de 4 m de largura e 50 m de comprimento foram implantadas nas calçadas



Mezanino da Estação Trianon – L2

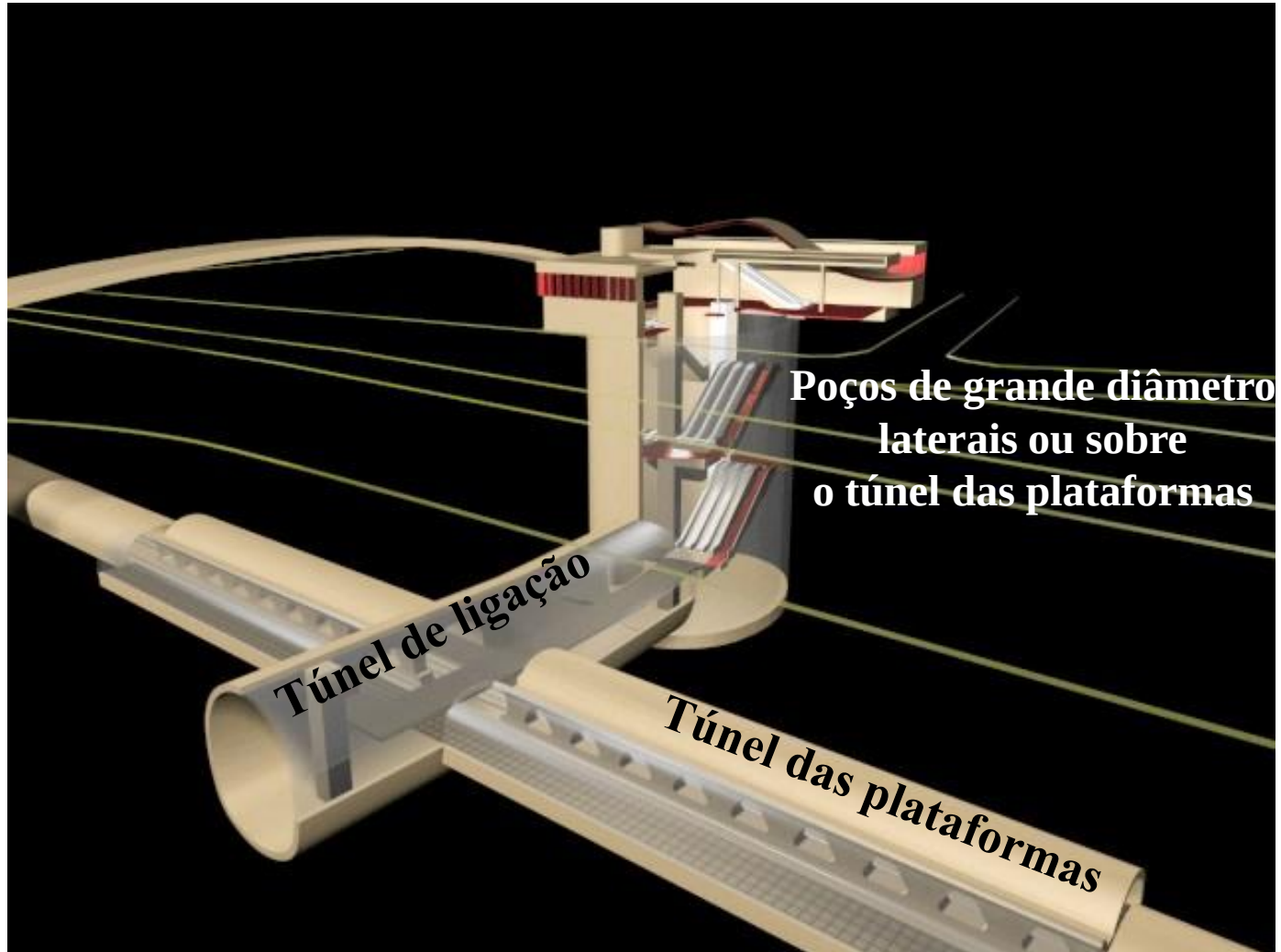
*Cravação de enfilagens a partir de
vala (4 m X 50 m) na calçada da
Av. Paulista*



*Escavação do mezanino sob
as enfilagens*



Estação conceito – Linha 4



Concepção dos anos 1990

Estação Santa Cruz – L5



Concepção dos anos 1990

Estação Santa Cruz – L5

Profundidade: 53 m

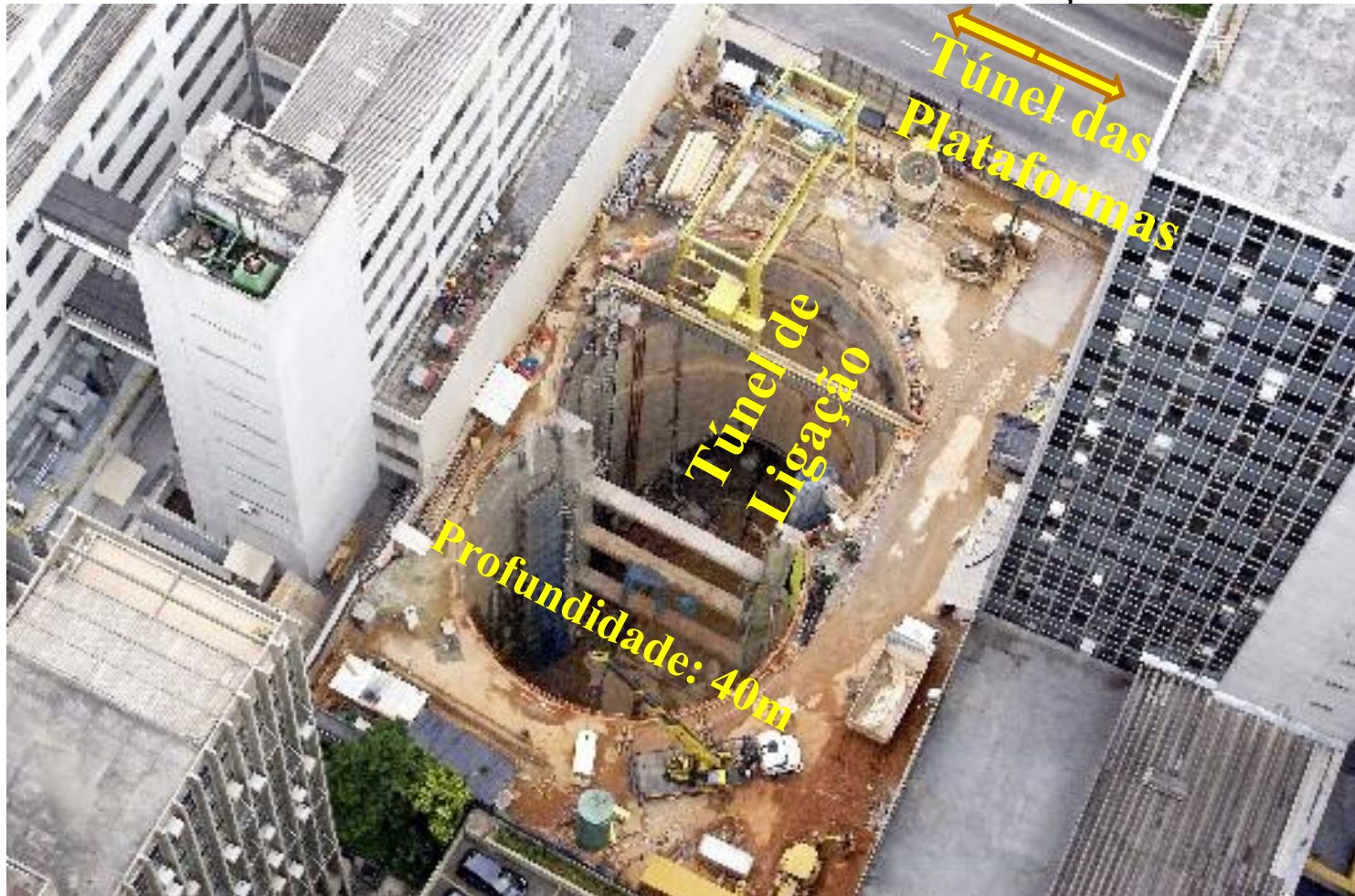
18 subsolos

Homens
trabalhando

Concepção dos anos 1990

Poços circulares laterais ao túnel das plataformas

Estação Paulista - L4



Concepção dos anos 1990

Poço circular na projeção do Túnel

Estação Chácara Klabin – L5



Concepção dos anos 1990

Poços circulares secantes + Túnel das Plataformas

Estação Vila Prudente – L2



Concepção dos anos 2000

Poços circulares secantes + Túnel das Plataformas

Estação Luz – L4



Concepção dos anos 2000

Poços múltiplos - 5 poços circulares secantes

Estação Brooklin – L5



Concepção dos anos 2000

Vala implantada em área desapropriada

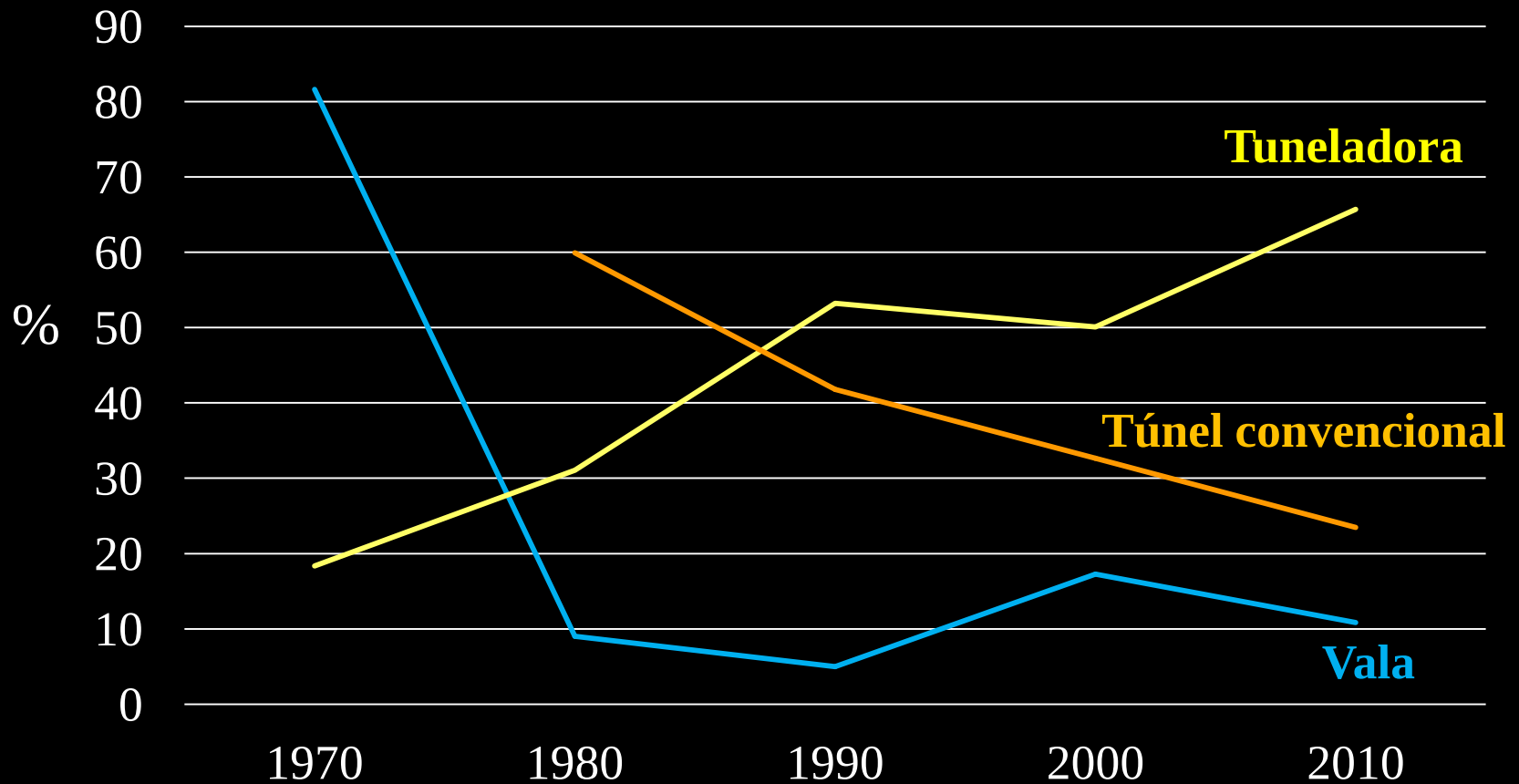
Estação Eucaliptos – L5

*Evita
interferências
com prédios,
viário, redes de
utilidades públicas
e árvores.*

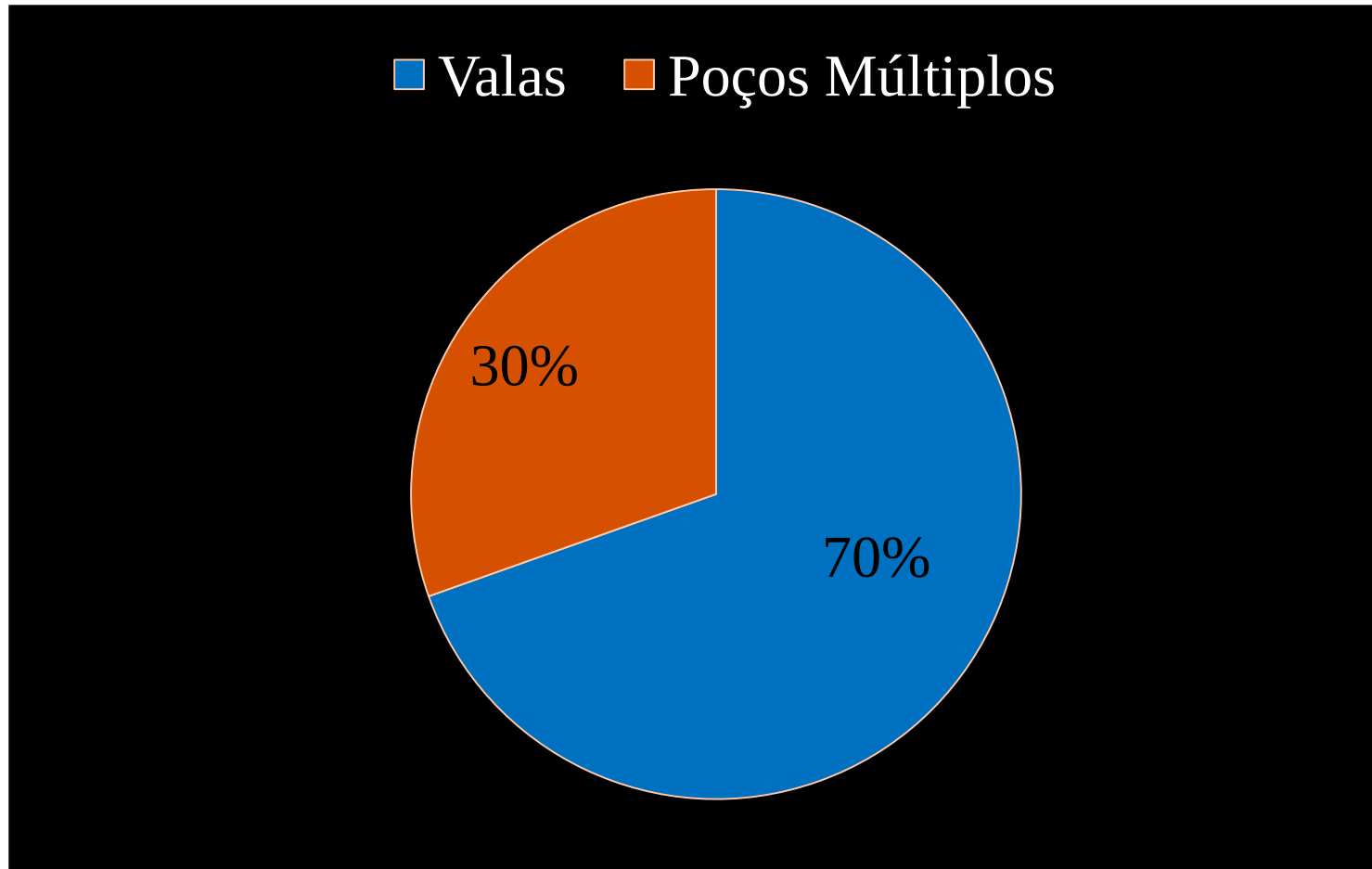


Concepção dos anos 2000

Evolução dos métodos construtivos subterrâneos (em extensão de túnel)



Uso de Valas e Poços múltiplos, em projetos recentes de estações Linha 2 e Linha 5



2º impacto  *a escavação da vala*

Escavação da vala + rebaixamento do lençol freático = mobilização do maciço de solo  *efeitos importantes nas construções vizinhas*

- *danos à estética*
- *interferências na funcionalidade*
- *ruína*

Edificações lindeiras

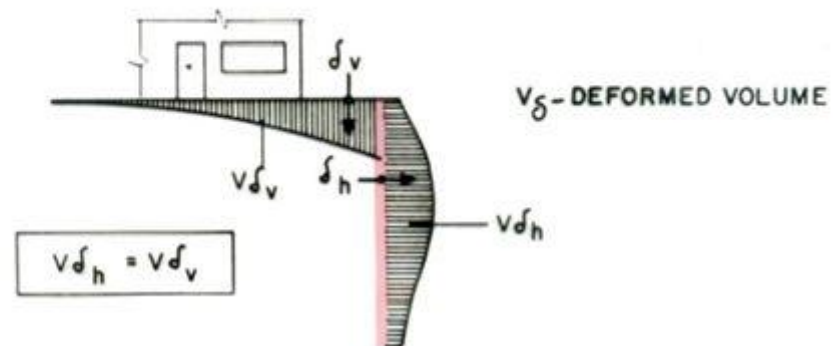
As *edificações situadas na área de influência das valas* sofrem movimentos decorrentes da deformação vertical e horizontal do maciço.

Esses recalques provocam sobre o edifício *dois tipos de efeitos*:

- Deslocamento como corpo rígido (translação e rotação);
- Deslocamentos diferenciais (distorção)

PART 2 PREVISIONS OF THE SETTLEMENTS OF A STRUCTURE
(DEFORMATION OF THE MASSIF CONSTANT VOLUME)

Leite e Stucchi (1989)



Edificações lindeiras

*Deslocamento como **corpo rígido** (translação e rotação):*

- *Não provoca danos nas estruturas e acabamentos;*
- *pode causar danos em ligações de gás, esgotos e águas;*
- *pode emperrar portas no térreo;*
- *pode causar problemas funcionais*

*Deslocamentos diferenciais (**distorção**) podem:*

- *Provocar deformações na estrutura do edifício podendo resultar em fissuras ou trincas com consequências estruturais e de acabamento;*
- *Emperrar portas e janelas;*
- *Causar problemas funcionais.*

Sistema de Rebaixamento do lençol freático

O sistema de rebaixamento deve ser concebido considerando:

- *O dimensionamento do sistema de contenção*
- *O rebaixamento do lençol freático provoca **recalques por adensamento** que podem causar danos às edificações e redes de utilidades públicas*
- *A **movimentação de elementos contaminantes** que possam estar presentes no lençol freático.*

Quais as alternativas para eliminar ou minimizar esses problemas?

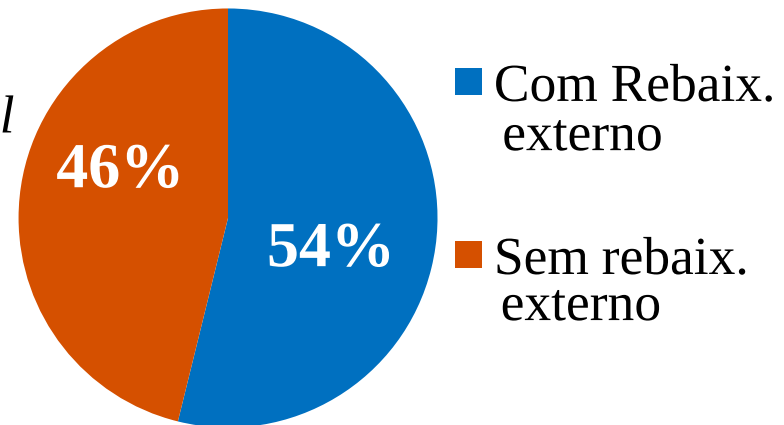
Rebaixamento do lençol freático

Uma solução é executar o rebaixamento internamente a uma vala com paredes “estanques” do tipo diafragmas.

Prós: *não rebaixa o lençol na região das edificações eliminando um fator importante causador de recalques e não movimenta a pluma contaminada;*

Contra: *o sistema de contenção da escavação é dimensionado com o empuxo d'água aumentando as estruturas e não elimina a necessidade de rebaixamento no interior da vala.*

Prática de rebaixamento do lençol freático em Projetos recentes de estações do Metrô - SP



Drenagem do solo devido à execução da contenção

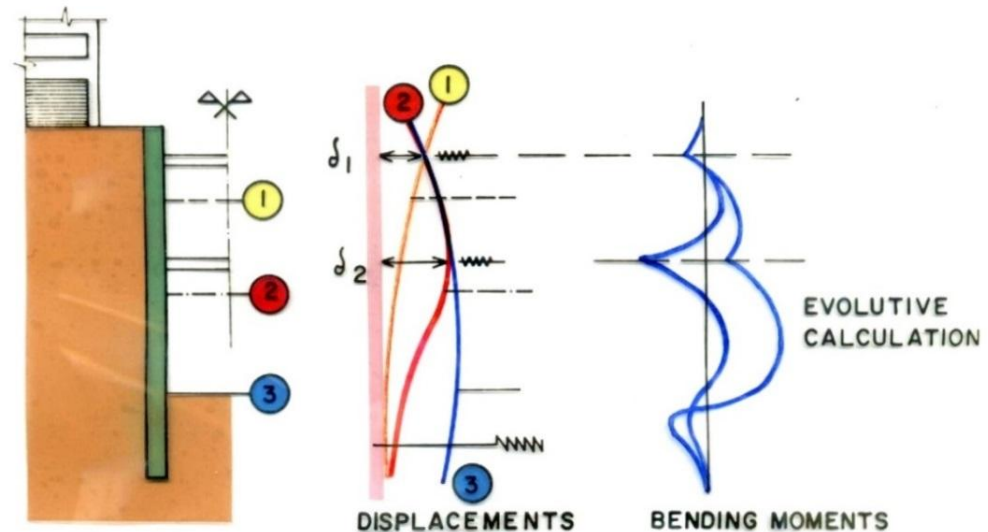
Em escavações com camadas de solos compressíveis superficiais, região onde estão as fundações de pequenas edificações, redes de água, esgoto e outros, deve-se tomar o cuidado para não drenar o maciço pelas paredes de contenção, pela execução de tirantes ou pela infiltração de água pelas estruturas permanentes, incluindo a laje de fundo.

A opção do projeto deve ser por paredes de contenção estanques e execução de tirantes com dispositivos que impeçam a drenagem do maciço, evitando recalques que podem chegar a valores significativamente maiores do que aqueles provocados pela escavação.

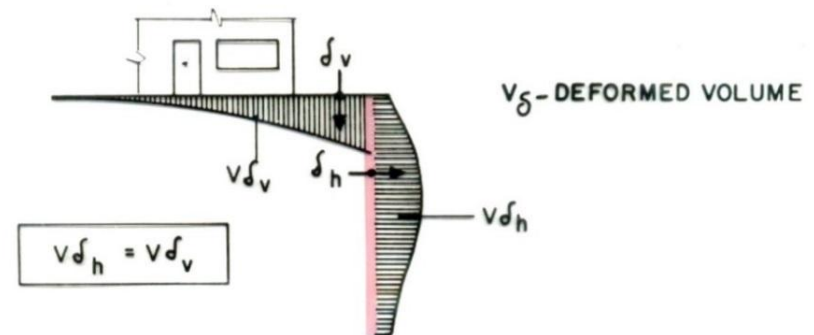
Escoramento

Para *reduzir os deslocamentos* e seus efeitos na vizinhança, a *primeira linha de apoio* deve estar o mais próxima do nível inicial da escavação.

Deve-se *tomar cuidados* com as etapas de escavação *para instalação dos níveis de apoio*. Condições do solo podem acarretar *deformações maiores* do que as previstas.



PART 2 PREVISIONS OF THE SETTLEMENTS OF A STRUCTURE
(DEFORMATION OF THE MASSIF CONSTANT VOLUME)



Leite e Stucchi (1989)

Prática de previsão de danos às edificações no Metrô - SP nos anos 2010 (Linha 2 e Linha 5)

*Depois de determinadas as deformações (**escavação + rebaixamento do Lençol**) deve-se prever os danos potenciais nas edificações.*

*Abaixo estão indicadas publicações de algumas das **metodologias para a classificação de danos potenciais em edificações vizinhas à vala** que têm sido utilizadas em projetos recentes do Metrô de SP:*

- Skempton, A.W. & MacDonald, D.H. (1956).;
- Mair, R.J.; Taylor, R.N. & Burland, J.B. (1996).;
- Boscardin, M. D.; Cording, E. J. (1989).;
- Burland, J.B.; Broms, B.B. & De Mello, V.F.B. (1977).;
- Namba, M., Ruiz, A. P. T., Queiroz, P. I. B., Negro, A., Vasconcellos, C. A. 1999.

Instrumentação da Vala a Céu Aberto

*Em obras de escavação a **previsão de projeto é o ponto de partida, não prescindindo de instrumentação e acompanhamento** para monitorar as solicitações e deformações do sistema de contenções da vala, as deformações do maciço, o rebaixamento do lençol e os recalques das construções vizinhas.*

Interação projeto e obra

A instrumentação é composta dos seguintes equipamentos.

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• <i>célula de carga</i>• <i>strain gauge</i>• <i>pino de recalque</i>• <i>marco superficial</i>• <i>piezômetro</i> | <ul style="list-style-type: none"><i>células de pressão</i><i>inclinômetro</i><i>pino de convergência</i><i>indicador do nível de água</i><i>pinos de recalque nas estruturas</i> |
|---|---|

Acompanhamento Técnico da Obra - ATO

O trabalho deve ser desenvolvido pelas equipes de campo e de escritório abrangendo:

- desenvolvimento e desempenho da obra;*
- mapeamentos das frentes de escavação e tratamentos aplicados;*
- gráficos de leituras e resultados de análise de instrumentação;*
- acompanhamento de desempenho do maciço, das estruturas lindeiras e entorno, baseado na instrumentação e a sua relação com os níveis de atenção e alerta definidos no projeto;*
- dados de rebaixamento, boletins de execução de serviços (fundações, concretagens, etc.)*

Laudo de Vistoria Cautelar

➤ O que é ?

Relatório técnico que descreve as principais características construtivas da benfeitoria e seus compartimentos, contendo registro fotográfico da situação do imóvel, com foco nos danos existentes. Este documento não contém informações sobre as causas causadas por

Gestão dos danos provocados pela obra

➤ Quando é feito?

Antes do início das obras. No caso do Metrô considera-se como início das obras a demolição dos imóveis desapropriados

➤ Objetivo

Registrar a situação das benfeitorias antes do início das obras para garantir direitos dos lindeiros e do Metrô.

Laudo de Acompanhamento

➤ O que é ?

Relatório técnico de **acompanhamento dos danos** causados nos imóveis lindeiros durante a obra.

➤ Quando é feito?

Durante o **período de execução da obra**, a partir da demolição dos

➤ Objetivo

Acompanhar a situação dos imóveis lindeiros com base no Laudo de Vistoria Cautelar e no controle de recalques, de maneira a verificar **se o dano, pré existente ou decorrente da obra, demanda algum tipo de ação imediata que garanta a segurança de todos.**

Laudo de Vistoria Indenizatória

➤ O que é ?

Relatório técnico feito com a finalidade de **quantificar e valorar os danos provocados aos imóveis** que tenham uma relação de causa e efeito decorrente das obras do Metrô. O laudo indenizatório tem como referência o Laudo de Vistoria Cautelar e o Laudo de Acompanhamento.

➤ Quando é feito?

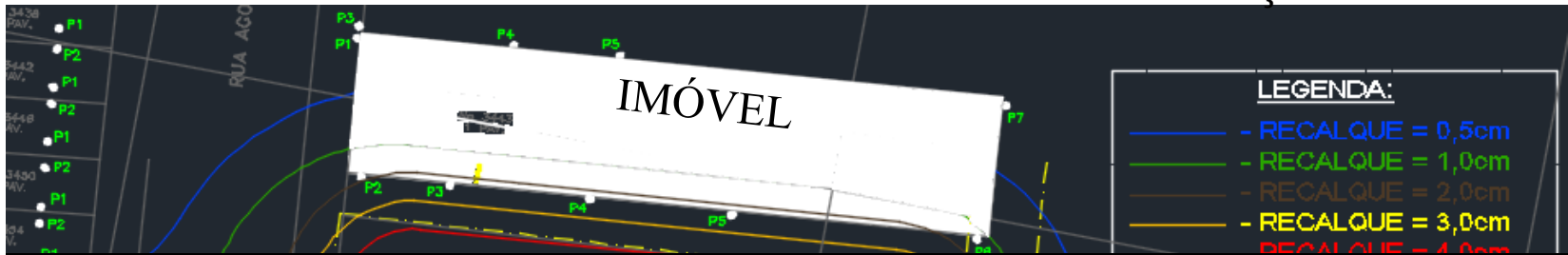
Normalmente **após a conclusão das obras**.

➤ Objetivo

Conhecer o custo da indenização a ser paga ao proprietário do imóvel lindeiro quando este sofrer danos decorrentes das obras do Metrô.

Metrô Caso 1 Vizinha

Estação Sacomã – L2



Destaca-se que durante as obras da estação foram verificadas algumas deficiências executivas que agravaram os danos neste galpão, conforme descrito por Negro et al. (2012).



PINOS DE RECALQUE - GALPÃO VIZINHO
RUA AGOSTINHO GOMES, 3443

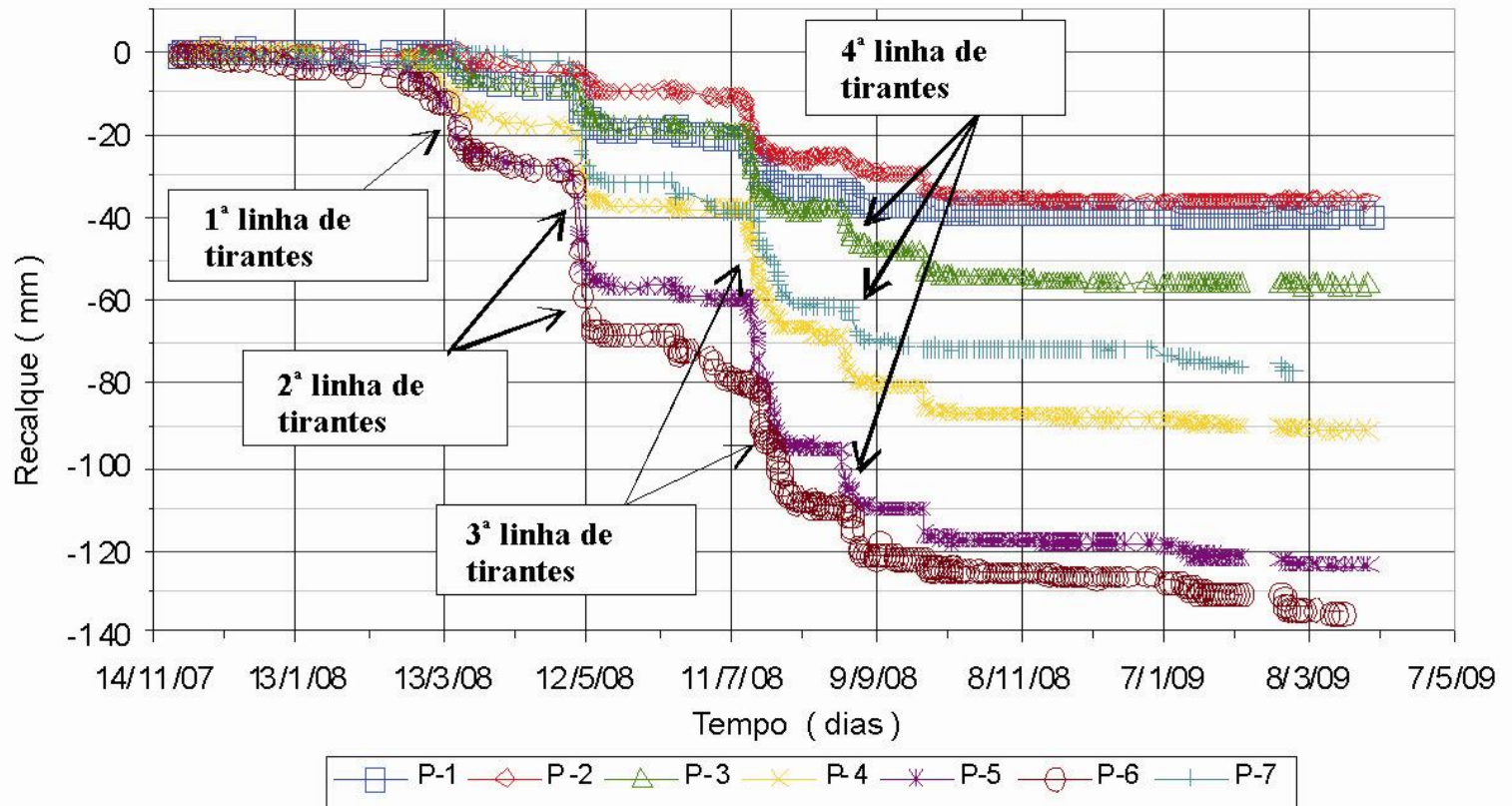


Figura 14. Recalques em galpão junto à vala de acesso norte da estação associados às perfurações dos tirantes. [4]

Danos causados por escavação de vala

Exemplo de medida corretiva

O proprietário recebe indenização para correção dos danos



Antes



Depois

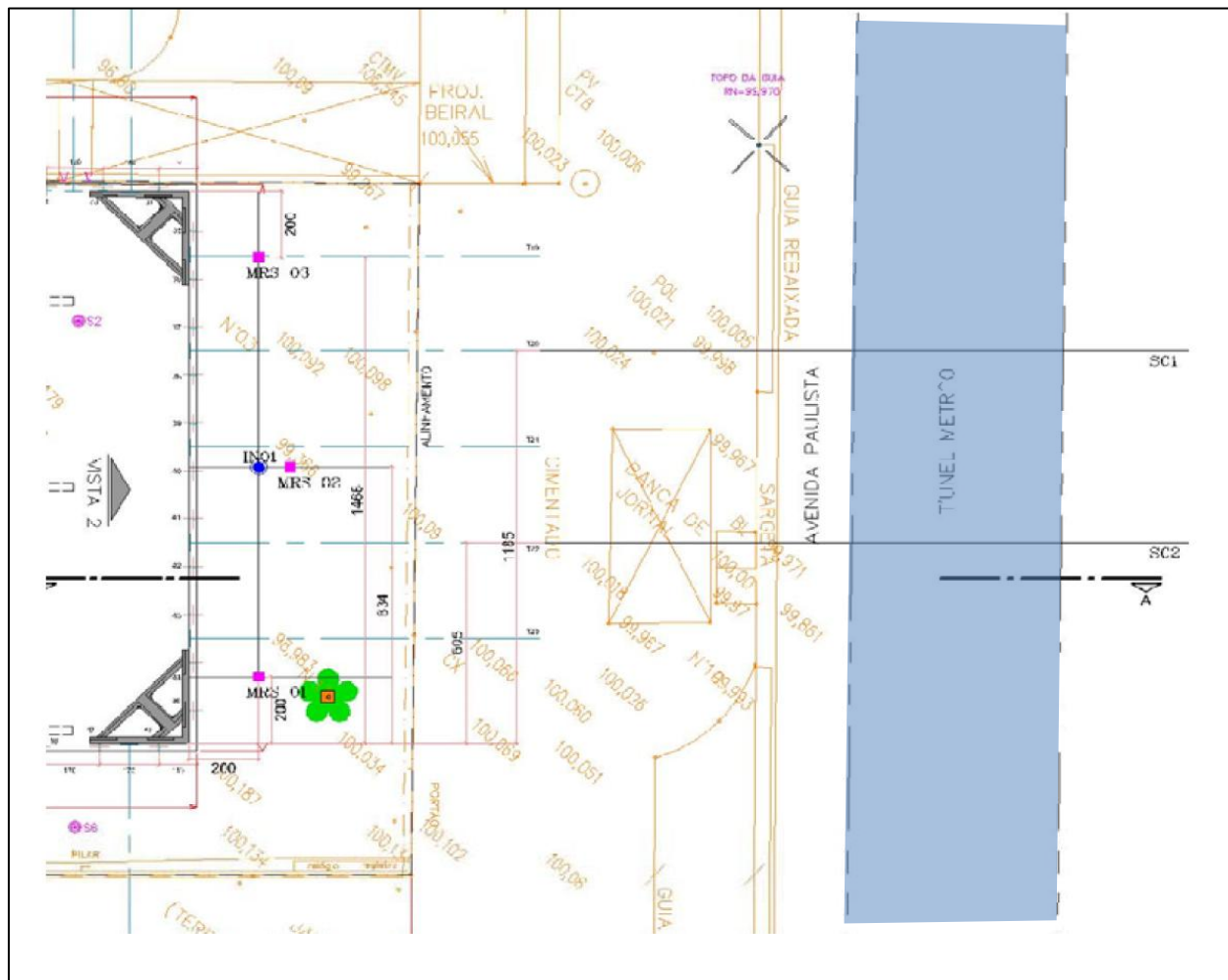
*Estado da construção antes e
depois da escavação da vala*



Metrô ← Vizinhança

Caso 2

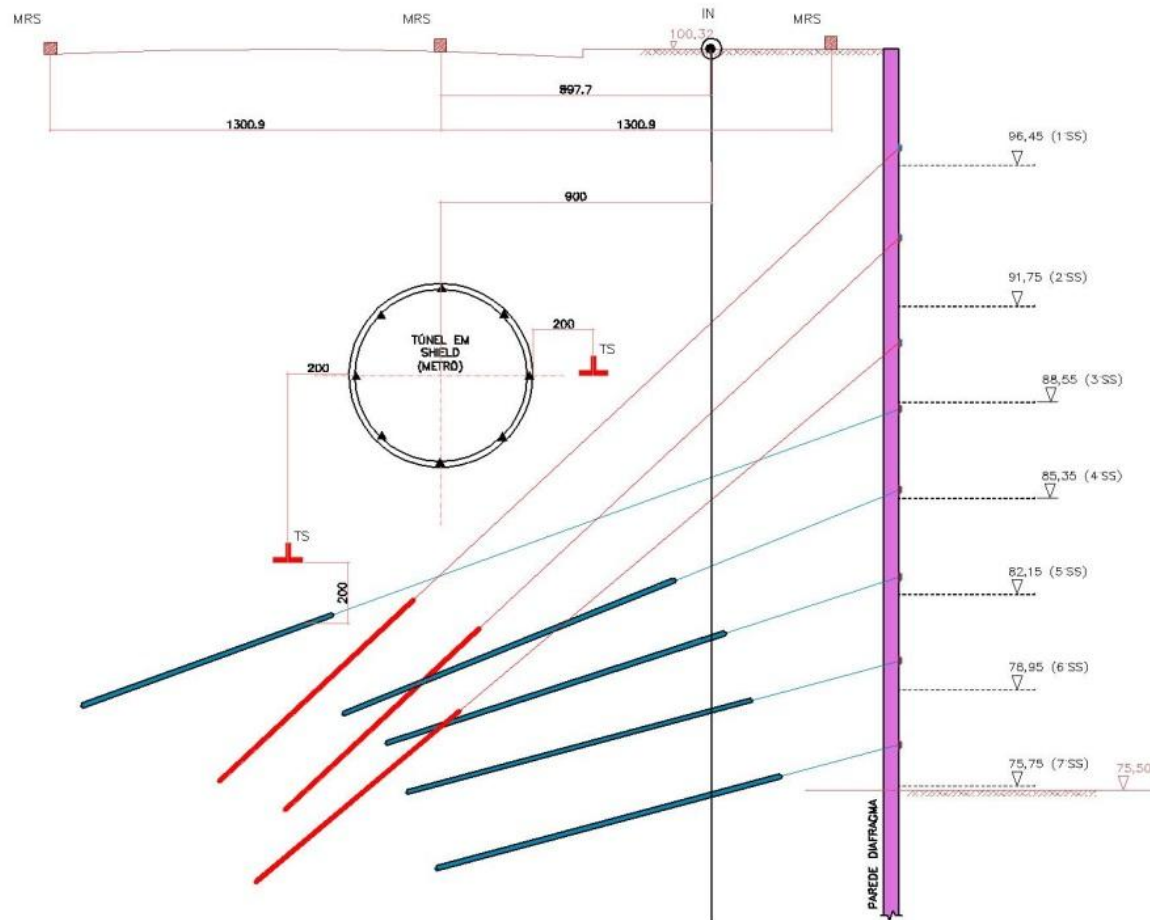
Matarazzo – Av. Paulista (Linha 2 chegou antes)



Matarazzo – Av. Paulista



Matarazzo – Av. Paulista



Sistema de instrumentação para monitoramento

Matarazzo – Av. Paulista

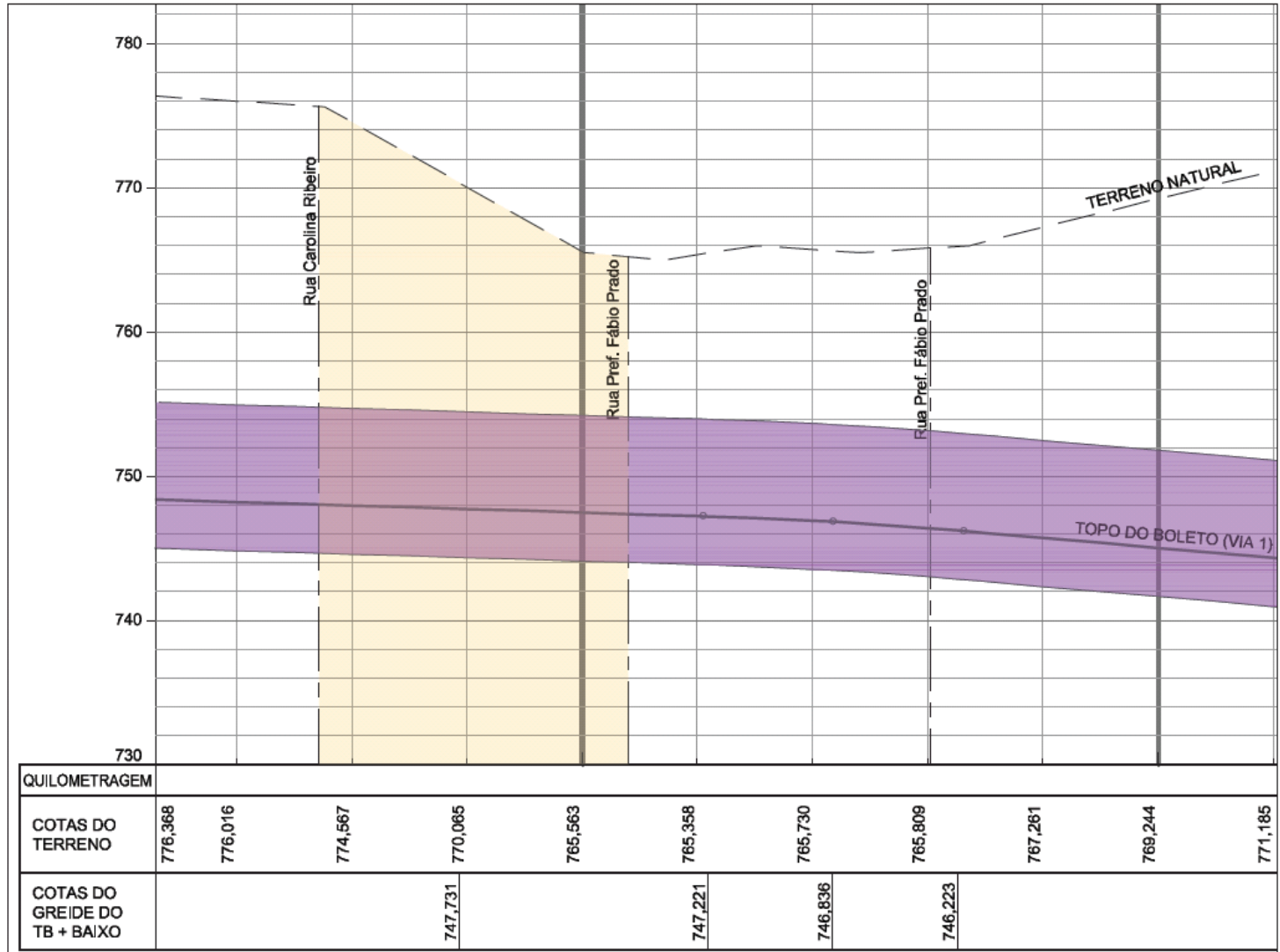
- Marcos superficiais no terreno;
- tassômetros nas laterais dos túneis;
- inclinômetros junto às escavações;
- medidas de convergência e recalque automatizada e contínua no interior dos túneis;
- inspeções frequentes para observação de movimentações no revestimento.

Metrô **Caso 3** **Vizinhança**

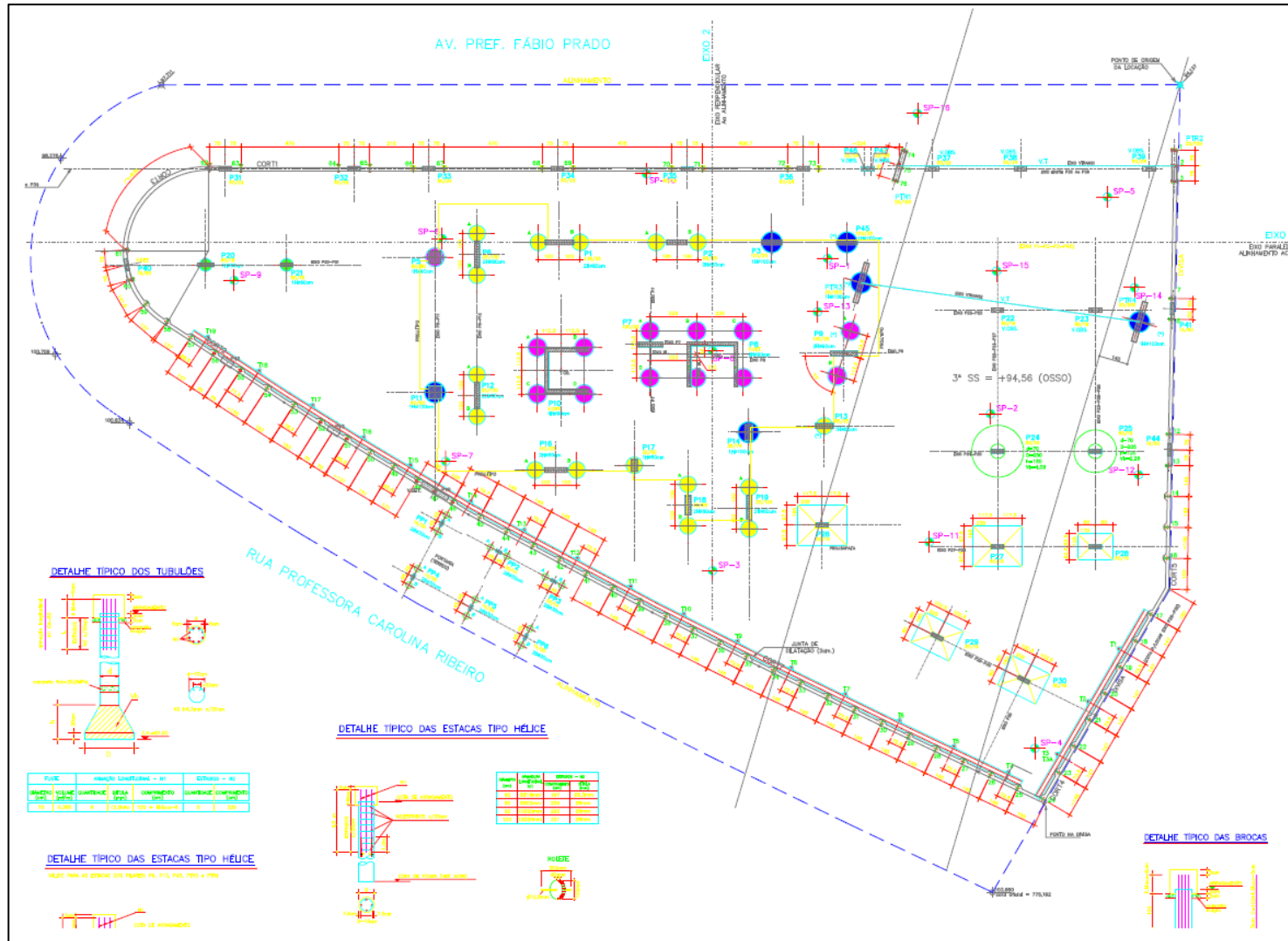
Edifício – R. Carolina Ribeiro (Linha 2 chegou junto)



Edifício – R. Carolina Ribeiro (Linha 2 chegou junto)



Edifício – R. Carolina Ribeiro (Linha 2 chegou junto)



Edifício – R. Carolina Ribeiro (Linha 2 chegou junto)

- *Medidas tomadas para evitar a interferência física, reforçar as fundações e minimizar os efeitos da passagem da tuneladora;*
- *revisões do projeto de fundações do edifício em função da posição relativa das estacas e o túnel de via, a ser escavado com tuneladora;*
- *estacas próximas do túnel armadas integralmente até cota inferior do túnel;*
- *Instrumentação*

Resumo dos principais cuidados para minimizar os danos nas construções lindeiras

- *Posicionar o primeiro nível de contenção o mais próximo à superfície de maneira a limitar as deformações do maciço;*
- *Tomar cuidado com as etapas de escavação para instalação dos níveis de apoio devido às deformações que podem provocar*
- *Avaliar cuidadosamente o rebaixamento do lençol freático em função da forte influência que pode ter nos recalques;*

Resumo dos principais cuidados para minimizar os danos nas construções lindeiras

- *Estimar as deformações que a escavação provocará, analisando os seus efeitos sobre as construções, previamente vistoriadas e cadastradas, tanto do ponto de vista estrutural e funcional, como fotograficamente de maneira a registrar seu estado;*
- *Avaliar os riscos, propondo medidas corretivas como reforço estrutural de construções, desocupação de imóveis, remanejamento de utilidades públicas e de trânsito, etc.;*

Resumo dos principais cuidados para minimizar os danos nas construções lindeiras

- *Tomar cuidados durante a execução da obra com drenagem e carreamento de solo pelas paredes de contenção ou execução de tirantes ou, ainda, pela infiltração de água pelas estruturas permanentes, incluindo a laje de fundo.*
- *Instrumentar o maciço e as construções e acompanhá-las durante a execução das obras, tomando medidas corretivas se necessário, considerando os níveis de atenção e de alerta;*
- *Estabelecer plano de contingência para situações de risco;*
- *Corrigir ou indenizar os danos provocados nas construções vizinhas.*

Referências

- Stucchi, F. R., Leite, R. L. L., Borge, L. A., Frazílio, E. M (1989). Sistema Escor para Projeto de Escoramento de Vala In: **9º Encontro Nacional da Construção - ENCO, São Paulo.**
- Leite, R. L. L and Stucchi, F. R (1989). Proposal of an evolutive empirical method for design criteria of braced walls – Application and back analysis of the history case. **Proceedings of The Twelfth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering - Rio de Janeiro**
- Boscardin, M. D.; Cording, E. J. (1989). Building response to excavation induced settlement. **Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 115, 1, 1-21.**
- Leite, R. L. L. (1992). Escavações escoradas – **Solos da Cidade de São Paulo, CAP 12 p.279 -296**
- Negro, A. Jr. and Leite, R. L. L. (1995). Design of underground structures in Brazil- National report on tunnelling and braced Wall excavation in soft ground. Underground Construction in Soft Ground, Fujita & Kusakabe (eds) © **1995 Balkema, Rotterdam. ISBN 90 5410 536 4.**
- Leite, R., Takeuchi, M., Stucchi, F. R. e Knapp, L. M. (1992). Técnicos defendem poço circular no Metrô – Revista IBRACON Nº6 Outubro/Novembro/Dezembro 1992 p. 29 - 34
- Negro, A. Jr.; Hatori, A. C. A.; Yassuda, A. J.; Rocha, H. C. (2012). Investigações para o projeto e previsão de desempenho da Estação Sacomã da Companhia do Metropolitano de São Paulo: 7. **Seminário de Engenharia de Fundações Especiais (2012);**
- Negro, A. Jr.; Moravia, M. G.; Camargo, V. E. L. B. de; Ferreira, A. A. (2012). Projeto e Construção da Estação Sacomã da Companhia do Metropolitano de São Paulo. In: **Seminário de Engenharia de Fundações Especiais e Geotecnia, 7. Anais... São Paulo: ABEF, SINABEF, DFI, ABMS, ABEG.**
- Fernandes, M. M. (2014). Grandes escavações urbanas. Novos desenvolvimentos para controlo e previsão dos movimentos induzidos em depósitos de solos moles. **Conferência Pacheco Silva, XVII COBRAMSEG – Goiânia;**

Referências

- Stefanizzi, S.; Mitrugno, D.; Floria, G.; Pradella, A.; Garcia, F. and Grasso, P. (2014). On developing an innovative, self-supported, cut&cover structure for the Brooklin station of the São Paulo Metro. Proceedings of the World Tunnel Congress 2014 - Tunnels for a better Life. Foz do Iguaçu, Brazil.
- Vieira, C.; Diniz Vieira, G. e Sousa Cruz, J. (2006). Avaliação dos deslocamentos e risco de danos em edifícios associados à construção de túneis a “céu aberto”. Geotecnia Multidisciplinar: 10.º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa
- Dias, C. C., Hirata, F. and Kuwajima, F. (2015). Settlements due to Shaft Excavation in Sao Paulo: Tunnels – 2015, p. 44-49
- Mair, R.J.; Taylor, R.N. & Burland, J.B. (1996). Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due to bored tunnelling. Int. Symp. on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, London, 713-718. Balkema.
- Skempton, A.W. & MacDonald, D.H. (1956). The allowable settlement of buildings. Proc. Inst. of Civil Engrs., Part III, 5, 727-784
- Burland, J.B.; Broms, B.B. & De Mello, V.F.B. (1977). Behaviour of foundations and structures. State-of-the-art Report, Session 2, IX ICSMFE, Tokyo, 3, 495-546.
- Namba, M., Ruiz, A. P. T., Queiroz, P. I. B., Negro, A., Vasconcellos, C. A. 1999. Assessment of building damages due to urban tunnelling. Proceed. 11th Pan-American Conf. on Soil Mech. and Geotech. Eng., ABMS/SAMS/SPG (Iguassu Falls), Vol.2, pp.549-555.
- Rocha, H. C., Clemente, L. G., Steiner, A. F., Silva, R. F. (1977). Reinjeção de água para minimizar recalques por adensamento devido rebaixamento de nível d'água no Metrô de São Paulo. 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, p. 145 - 160

Agradecimentos aos colegas do Metrô

Massaru Takeuchi

Hugo Cassio Rocha

Fernando Pessoto Hirata

Guilherme Braidato Robbe

Enio Mencarone Netto

Luís Carlos Rodrigues



MUITO OBRIGADO PELA ATENÇÃO