

# A ESCAVAÇÃO DA ESTAÇÃO PAULISTA DO METRÔ DE SÃO PAULO: ANÁLISE DO SEU DESEMPENHO COM BASE NA INSTRUMENTAÇÃO

Joaquim M. G. Duarte<sup>1</sup>; Gerson R. de Castro<sup>1</sup>; Jorge Takahashi<sup>1</sup>; Antonio N. Mirandola<sup>1</sup>;  
Carlos E. M. Maffei<sup>2</sup>; Cássio V. Chanquini<sup>3</sup> & Rafael M. Nascente<sup>1</sup>

**Resumo** – O trabalho relata alguns aspectos relacionados à escavação do túnel que constituirá o corpo da estação Paulista da Linha 4 - Amarela do Metrô de São Paulo. Trata-se de um túnel escavado em solos terciários da Bacia Sedimentar de São Paulo com área da seção transversal de 230 m<sup>2</sup> e extensão de 132 m. O trabalho focaliza o processo de tomada de decisões durante a fase de escavação, visando o controle das deformações do terreno e manutenção das condições de estabilidade e segurança da obra e das edificações vizinhas, baseado na interpretação dos dados geológicos e de monitoramento.

**Abstract** – The paper reports some aspects related to the excavation of the tunnel which will house the platforms of the Paulista station of São Paulo Metro System's Line 4. The tunnel was excavated in tertiary soils of São Paulo's sedimentary basin and has a cross-section of about 230 m<sup>2</sup> and an extension of 132 m along the tracks. The paper focuses mainly on the decision process during the excavation phase, aiming at the control of terrain deformations and maintenance of the stability of the tunnel itself and the surrounding buildings, based on the interpretation of the geological and instrumentation data.

**Palavras-Chave** – Túneis Urbanos em Solo, Instrumentação, Análises Numéricas.

## INTRODUÇÃO

A estação Paulista faz parte da Linha 4 - Amarela do Metrô de São Paulo e situa-se na Rua da Consolação, próximo ao cruzamento desta com a Avenida Paulista; neste local ocorre também o cruzamento da Linha 4, em construção, com a Linha 2 - Verde, em operação, implantada no eixo da Avenida Paulista. Está prevista a integração da estação Paulista com a estação Consolação, da linha 2, através de um túnel para usuários.

Por ocasião da elaboração do presente trabalho as obras de construção da estação Paulista encontram-se em andamento. A análise aqui apresentada refere-se ao túnel que constituirá o corpo da estação, cuja escavação, já concluída, foi realizada em um período de trabalho de oito meses. Além deste túnel as obras da estação Paulista compreendem as escavações do poço principal de acesso (Poço Belas Artes) e do túnel de ligação do poço com o corpo da estação, já concluídas, além do túnel para integração com a estação Consolação, da Linha 2, e um túnel raso sob a rua da Consolação para acesso de pedestres, ambos ainda a realizar (ver Figura 1).

Logo após o início dos trabalhos de escavação do corpo da estação, durante a escavação de uma das galerias laterais (*side drifts*), verificou-se a ocorrência de acréscimos pronunciados dos recalques internos (medidos em pinos de instrumentação instalados nas cambotas), que se refletiram em incrementos significativos dos recalques superficiais, os quais superaram os valores previstos através de simulações numéricas para esta fase da escavação. A análise do ocorrido mostrou que isto se deu em consequência da degradação, provocada por afofamento devido a infiltrações de água, do solo arenoso presente nos apoios das cambotas. A imediata intensificação da drenagem por meio de drenos horizontais a vácuo permitiu o controle e manutenção dos recalques em níveis aceitáveis durante o restante da escavação.

Após o término da fase de escavação dos *side drifts*, a realização de uma retroanálise numérica considerando a ocorrência de degradação do solo possibilitou a reavaliação do nível de segurança na região da estação em que foi constatada a degradação, e a redefinição de valores de referência da instrumentação para as fases sucessivas de escavação da calota e do arco invertido. Ao final dos trabalhos de escavação pôde-se verificar a coerência dos valores previstos em relação aos valores medidos.

<sup>1</sup> Consórcio Projetista Intertechne-Noronha, Av. Faria Lima, 1912, 05000-123 S. Paulo - SP, Tel. (11) 3835-2900, [jd@intertechne.com.br](mailto:jd@intertechne.com.br)

<sup>2</sup> Consultor, Rua Manuel Pereira Guimarães, 97, 04722-030 S. Paulo - SP, Tel. (11) 5523-9428, [maffei@maffeiengenharia.com.br](mailto:maffei@maffeiengenharia.com.br)

<sup>3</sup> Consórcio Via Amarela, Av. Queiroz Filho, 1365, 05319-000 S. Paulo - SP, Tel. (11) 2169-1300

Na seqüência do trabalho são apresentados dados gerais sobre a obra, aspectos referentes à geologia local, uma análise do comportamento da escavação baseada na interpretação da geologia e no acompanhamento da instrumentação.

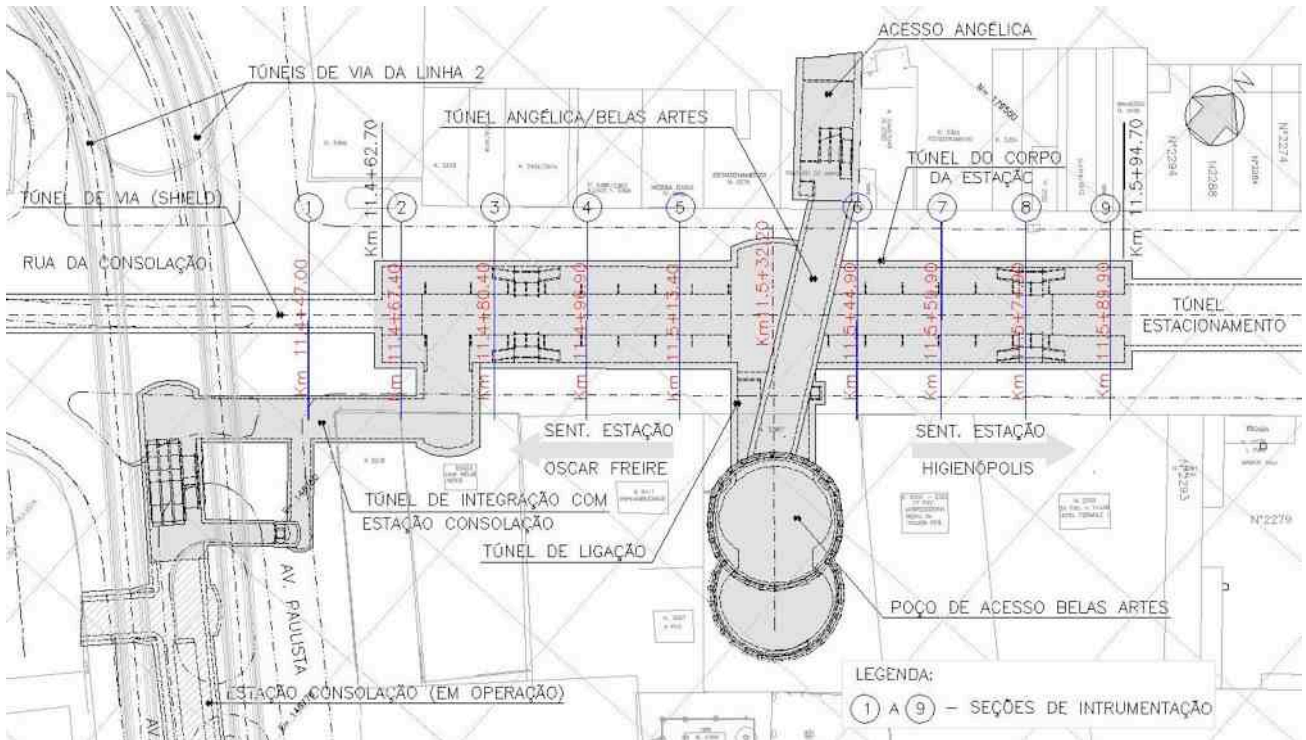


Figura 1 – Planta da Estação Paulista da Linha 4 do Metrô de São Paulo.

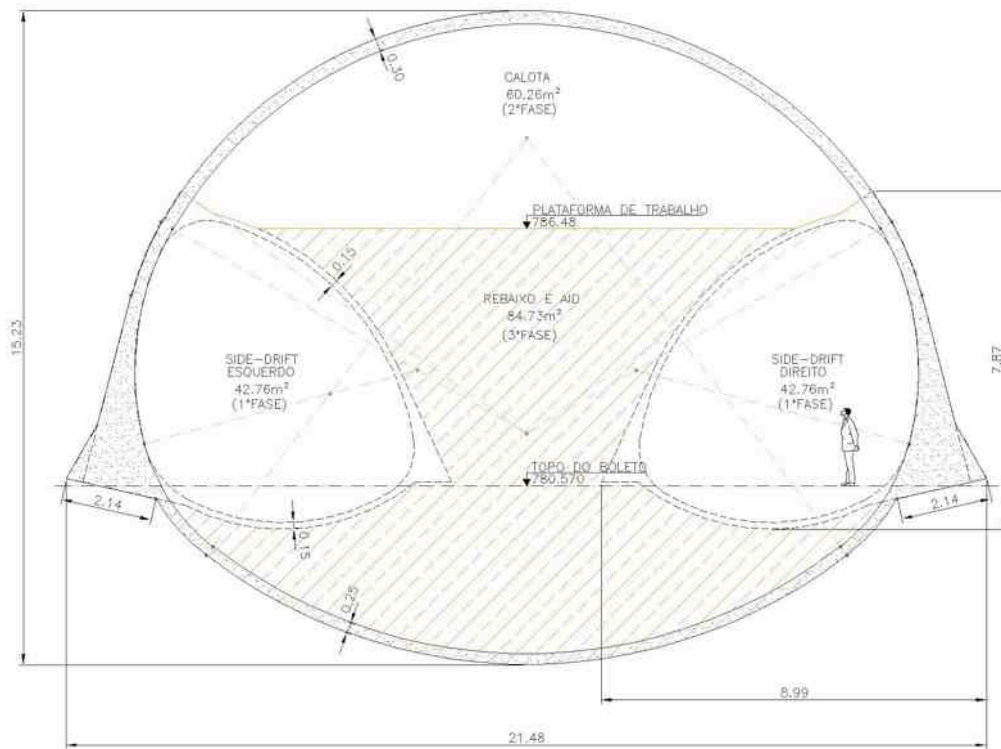


Figura 2 – Seção de escavação do túnel do Corpo da Estação Paulista.

## SITUAÇÃO, CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS E EXECUTIVAS DA OBRA

A construção da estação Paulista foi iniciada com a escavação parcial do poço principal de acesso (Poço Belas Artes), em terreno situado no alinhamento predial da Rua da Consolação. A partir dos níveis inferiores do poço foi escavado, cruzando sob o alinhamento da Rua da Consolação, o túnel que liga o poço de acesso ao corpo da estação, denominado Túnel de Ligação. O túnel do Corpo da Estação tem seu eixo longitudinal coincidente com o alinhamento da Rua da Consolação e foi escavado transversalmente, em ambos os sentidos, a partir do Túnel de Ligação.

O túnel do Corpo da Estação apresenta extensão de 132 m, sendo ligeiramente assimétrico em relação ao eixo do Túnel de Ligação (69,5 m no sentido da estação Oscar Freire e 62,5 m no sentido da estação Higienópolis). Sua geratriz superior está situada cerca de 25 m e a geratriz inferior cerca de 40 m abaixo do nível da rua, constituindo-se no túnel mais profundo da Linha 4. Isto em função de a estação Paulista situar-se junto ao cruzamento entre as Linhas 2 e 4, sendo que o túnel de via, a ser escavado com TBM (*Shield*) a partir da estação Oscar Freire, atravessará por baixo dos túneis de via em operação da Linha 2 imediatamente antes de ingressar no corpo da estação Paulista (ver Figura 1).

A seção transversal de escavação é elíptica, com largura máxima de 21,5 m na altura dos apoios das paredes e altura de 15,2 m entre as geratrizes superior e inferior. A área total da seção escavada é de 230,5 m<sup>2</sup> (ver Figura 2). Do ponto de vista estático a principal característica da seção adotada para o túnel são os apoios das paredes do túnel sobre bases largas (2,14 m), de maneira a limitar as tensões no solo de fundação, cujo valor máximo resultou da ordem de 110 tf/m<sup>2</sup> nas análises numéricas realizadas.

O túnel do Corpo da Estação foi escavado em sua totalidade em solo, em avanços sucessivos com aplicação de concreto projetado após cada avanço. Em função das grandes dimensões da seção transversal, a escavação do túnel foi realizada de forma parcializada, em três fases. Inicialmente procedeu-se à escavação dos *side drifts* em quatro frentes a partir do Túnel de Ligação, duas no sentido da estação Oscar Freire e duas no sentido da estação Higienópolis, seguindo-se a escavação da calota em duas frentes, também a partir do Túnel de Ligação, e finalmente o arco invertido definitivo, escavado a partir das extremidades do túnel da estação. Nas escavações dos *side drifts* e da calota os avanços foram de 0,80 m, com instalação de cambotas e aplicação de concreto projetado após cada avanço. Na escavação do arco invertido os avanços foram de 3,00 m.

Os tratamentos adotados para o condicionamento do terreno foram os seguintes:

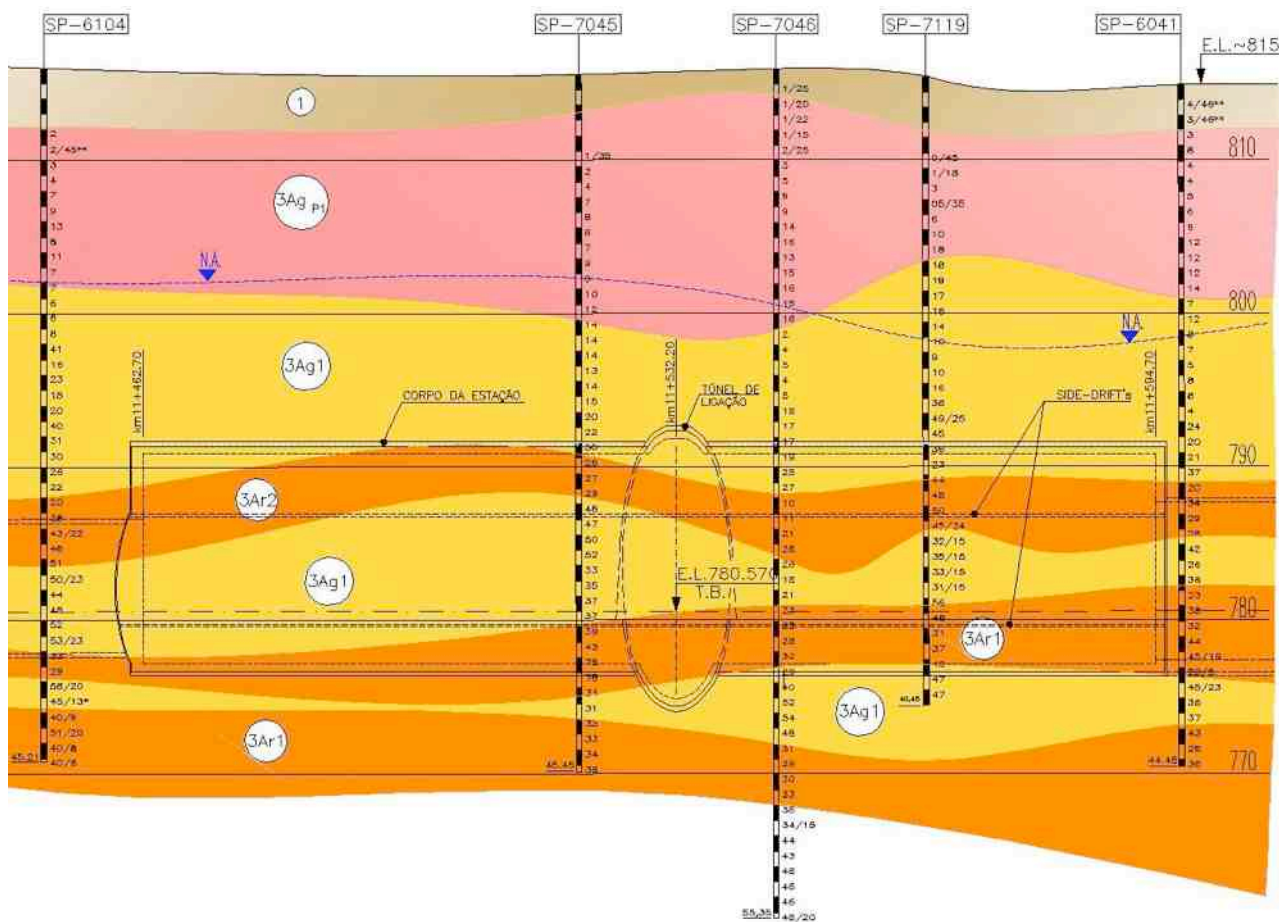
- Enfilagens periféricas na abóbada com tubos de aço  $\phi$  2 1/2" tipo Schedule em colunas subhorizontais de *Jet Grouting* (CCPh) (escavação dos *side drifts* e calota);
- Pregagens da frente de escavação com tubos de PVC  $\phi$  2" em colunas subhorizontais de *Jet Grouting* (somente nas escavações dos *side drifts*);
- Drenagem através de drenos horizontais profundos a vácuo (DHPv's).

Os tratamentos com enfilagens periféricas foram empregados de forma sistemática apenas no emboque das escavações dos *side drifts* e da calota. Posteriormente, com o avanço das frentes de escavação, estes tratamentos, assim como as pregagens da frente de escavação e o sistema de drenagem, tiveram sua aplicação definida a critério do ATO, com base na avaliação contínua das condições de estabilidade das frentes, em interação estreita com a equipe responsável pelo projeto.

## ASPECTOS GEOLÓGICOS

A região da estação Paulista está situada na parte mais elevada da Bacia Sedimentar de São Paulo, denominada Espigão da Paulista, e inserida na formação geológica denominada Formação São Paulo, composta por solos sedimentares de origem terciária. Tipicamente, o perfil dos solos presentes no local apresenta a seguinte sucessão de camadas e espessuras: aterro (2 a 4 m); argila porosa vermelha (5 a 10 m); argila rija vermelha (0 a 6 m); argilas e areias variegadas (sucessão de camadas de areias compactas e argilas rijas a duras com mais de 30 m de espessura). Na figura 3 é apresentada uma seção geológica longitudinal da estação Paulista, obtida através de interpretação das sondagens realizadas na área nas fases de estudos e de execução das obras.

Conforme se observa na Figura 3, o túnel do Corpo da Estação foi escavado em sua totalidade nas camadas de areias e argilas variegadas, unidades denominadas 3Ag1, 3Ar1 e 3Ar2. Trata-se de uma seqüência de camadas de areias finas e médias argilosas e argilas siltosas ou arenosas de cores variegadas, nas quais ora predomina o caráter argiloso, com coesão e permeabilidade mais baixa, ora o caráter arenoso, com coesão reduzida e permeabilidade mais elevada, embora não tenha sido registrada durante a escavação ocorrência de materiais puramente arenosos.



| DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS   |  |
|--|--|
| ① ATERRO   |  |
| ③ FORMAÇÃO SÃO PAULO (TERCIÁRIO)   |  |
| - FACIES ARGILOSO  | - FACIES ARENOSO   |
| - ARGILAS VERMELHAS  |  |
| ③Ag <sub>1</sub> ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA, POROSA, DE CONSISTÊNCIA MOLE A MÉDIA, VERMELHA E AMARELA.           | ③Ar <sub>1</sub> AREIA FINA A MÉDIA ARGILOSA MEDIANAMENTE COMPACTA A COMPACTA, AMARELA E VERMELHA.                                 |
| - ARGILAS VARIEGADAS   |  |
| ③Ag <sub>2</sub> ARGILA SILTOSA POUCO ARENOSA, DE CONSISTÊNCIA RÍLUA A DURA, VARIEGADA (AMARELA, CINZA E VERMELHA) | ③Ar <sub>2</sub> AREIA DE GRANULAÇÃO VARIADA ARGILOSA COM PEDREQUINHOS FINOS E MÉDIOS, MEDIANAMENTE COMPACTA A COMPACTA, VERMELHA. |

Figura 3 – Seção geológica longitudinal do túnel do Corpo da Estação Paulista.

## ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA ESCAVAÇÃO

### Fase de escavação dos *side drifts*

A escavação dos *side drifts* do Corpo da Estação desenvolveu-se a partir do Túnel de Ligação de forma quase simultânea em quatro frentes, duas no sentido da estação Oscar Freire e duas no sentido da estação Higienópolis. O comportamento da escavação foi acompanhado *pari passu* através de mapeamento sistemático das frentes e análise da instrumentação, tanto externa (marcos superficiais e tassômetros) como interna (recalques e convergências medidas em pinos instalados nas cambotas do revestimento primário), cujas leituras eram realizadas com frequência diária e disponibilizadas via Internet.

Praticamente desde o início desta fase os mapeamentos mostraram uma clara distinção entre as características das frentes de escavação no sentido da estação Higienópolis, onde os solos apresentaram-se mais arenosos e permeáveis, das características verificadas no sentido da estação Oscar Freire, onde os solos apresentaram-se mais argilosos e menos permeáveis.

As medidas de instrumentação confirmaram esta diferenciação, evidenciando o comportamento diverso dos solos de um e outro lado do Corpo da Estação no que se refere à deformabilidade, com os solos argilosos e coesivos do lado Oscar Freire mostrando-se menos deformáveis que os solos arenosos do lado Higienópolis da estação, suscetíveis a afogamento por efeito das infiltrações de água. Este comportamento acentuou-se em função da ocorrência de uma degradação das propriedades destes solos durante a escavação dos *side drifts*, como será descrito na sequência, mas já era perceptível ao final da fase anterior, de escavação do Túnel de Ligação, conforme se observa na Figura 4.



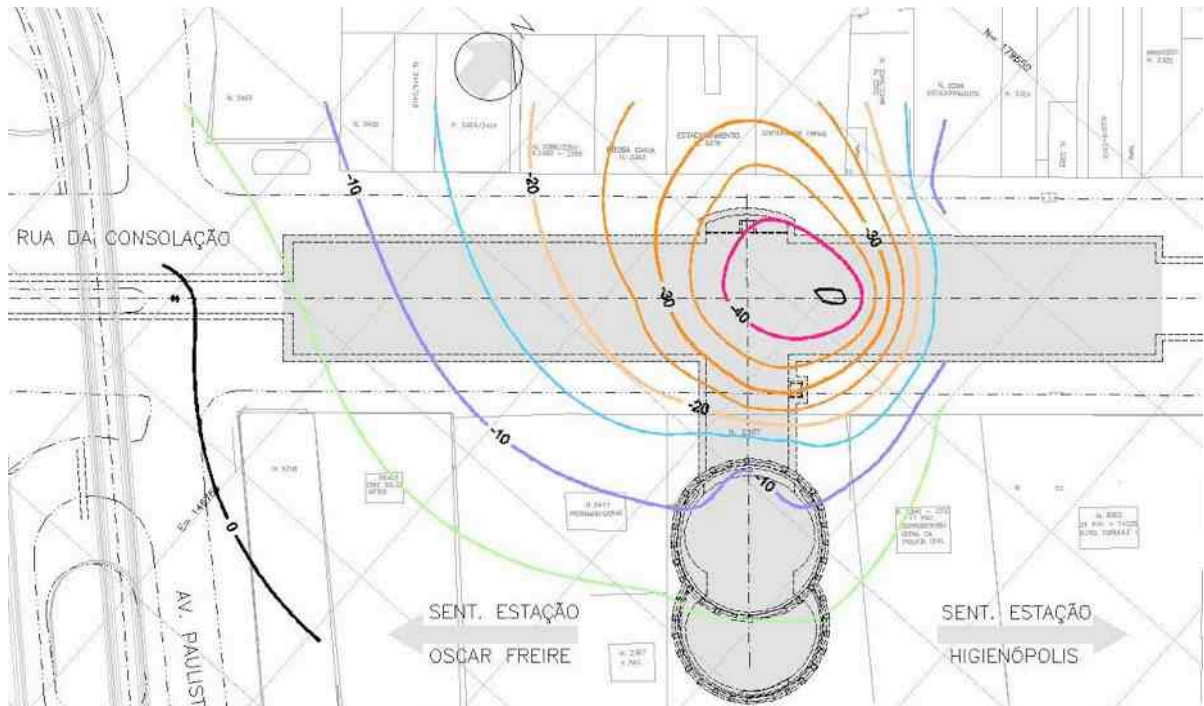


Figura 4 – Iso-linhas de recalques ao final da escavação do Túnel de Ligação, antes do início da escavação dos *side drifts*. Observa-se a assimetria da bacia de recalques em relação ao Túnel de Ligação.

Durante a escavação do *side drift* direito do lado Higienópolis, observou-se, notadamente no trecho entre as cambotas 20 e 30 (avanço da escavação entre 16 e 24 m), a presença de material arenoso em condição saturada em função de infiltrações de água do lençol freático. Esta situação propiciou a ocorrência de afouamentos, especialmente na região dos apoios das cambotas, com conseqüente degradação das propriedades mecânicas do solo, resultando na ocorrência de recalques maiores. Na altura da cambota 24 foi observada a ocorrência de um acréscimo de recalque de 36 mm no apoio interno da cambota. A situação foi controlada através da intensificação da drenagem da frente de escavação e da região dos apoios das cambotas através de drenos horizontais profundos a vácuo (DHPv's) com inclinações tanto descendentes como ascendentes. O gráfico da figura 5 permite observar a eficácia da drenagem aplicada no controle dos recalques, com a estabilização do comportamento verificada no trecho subsequente até a paralisação da escavação no lado Higienópolis, apesar de as características do solo terem se mantido similares ao longo de todo o trecho. No *side drift* esquerdo observou-se comportamento parecido, embora atenuado em termos de deformações internas (recalques e convergências).

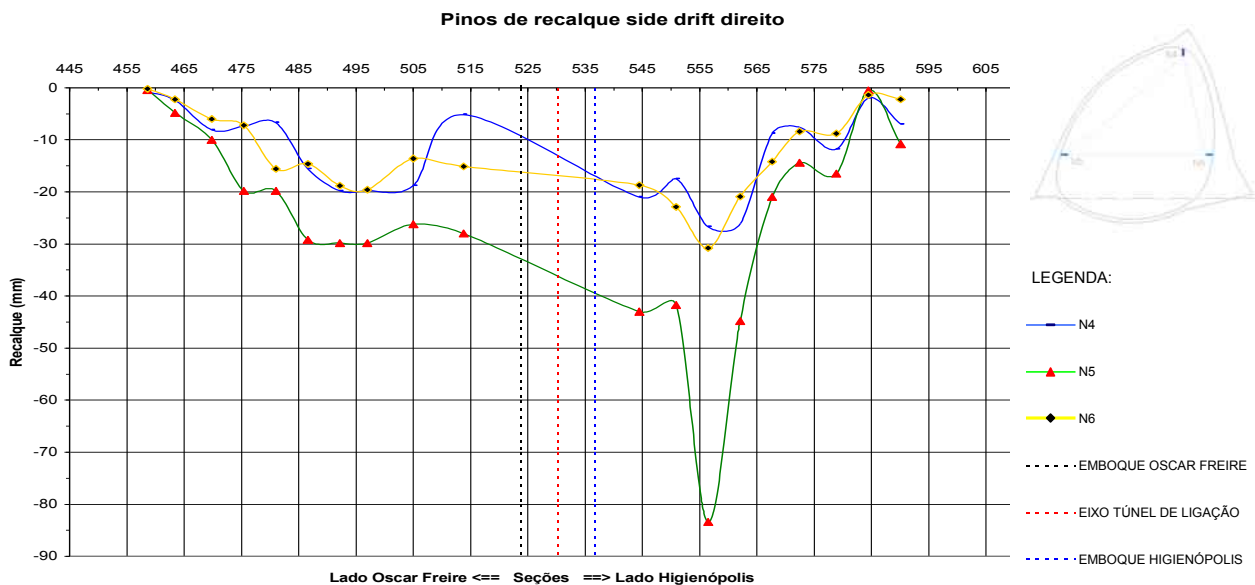


Figura 5 – Recalques medidos nos pinos instalados no revestimento primário dos *side drifts* do lado direito do Corpo da Estação.

A reinterpretação da geologia local realizada durante a fase de escavação, com a inclusão dos dados dos mapeamentos das escavações realizados pela equipe de ATO, permitiu inferir que o comportamento do solo verificado no lado Higienópolis da estação deveu-se, por um lado, à ocorrência de solos mais arenosos e permeáveis, e por outro à presença nesta região de uma camada de solos mais argilosos e impermeáveis logo abaixo do nível em que foram escavados os *side drifts*. Isto propiciou o represamento do lençol freático e a conseqüente saturação, afogamento e degradação dos solos arenosos (ver Figura 3).

Os recalques internos, medidos nos pinos do revestimento primário, refletiram-se também em recalques externos, medidos nos marcos superficiais, os quais superaram os valores de referência da instrumentação para esta fase da escavação em um trecho de aproximadamente 35 m, ou cerca de 50% da extensão do lado Higienópolis da estação, conforme é mostrado no gráfico da Figura 6. Nesta figura também são apresentados os valores (em %) de perda de solo, conforme definida por Peck (1969), associada a estes recalques. A perda de solo foi calculada através de ajuste dos valores de recalques medidos em cada seção de instrumentação a uma curva de Gauss, admitindo uma extensão da bacia de recalques de 40 m para cada lado do eixo do túnel da estação, conforme recomendado por Cording (2005) [1]. Um exemplo de ajuste dos dados de instrumentação para cálculo da perda de solo é mostrado na Figura 7.

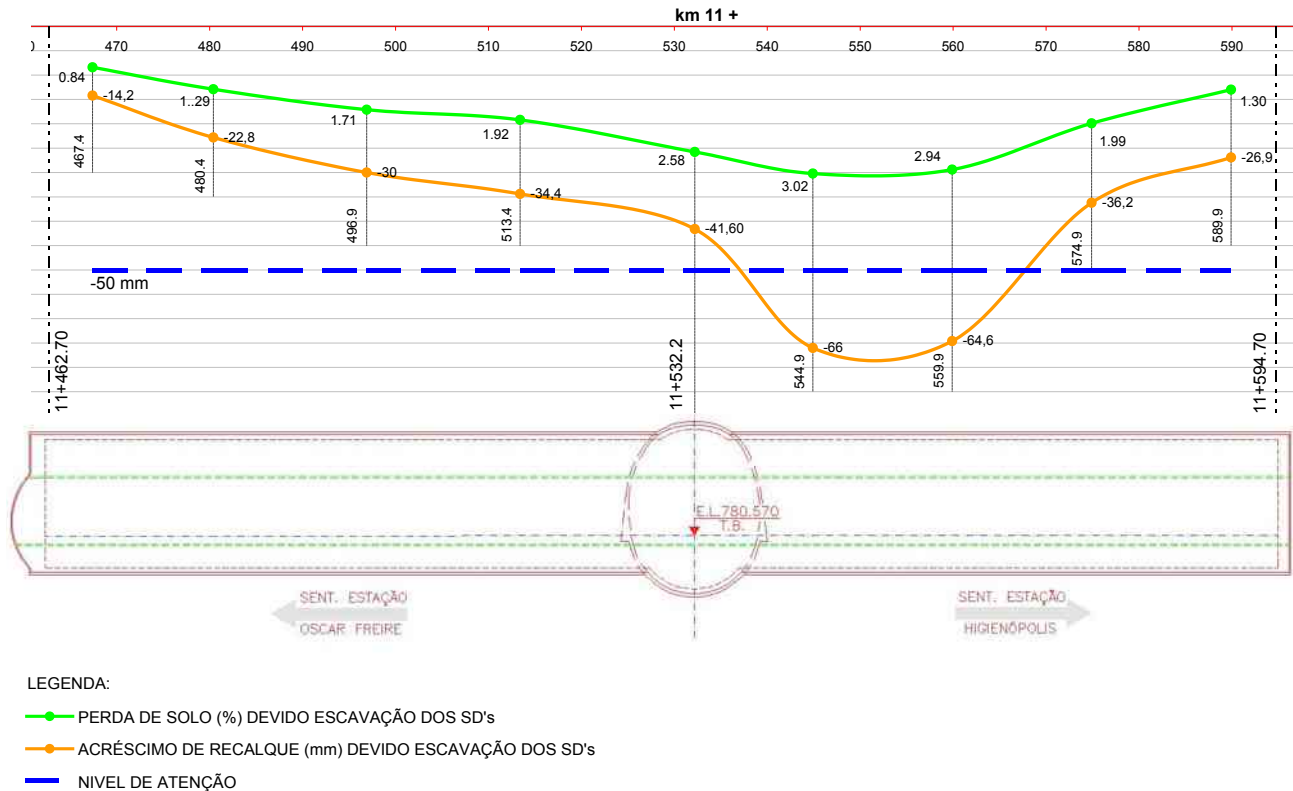
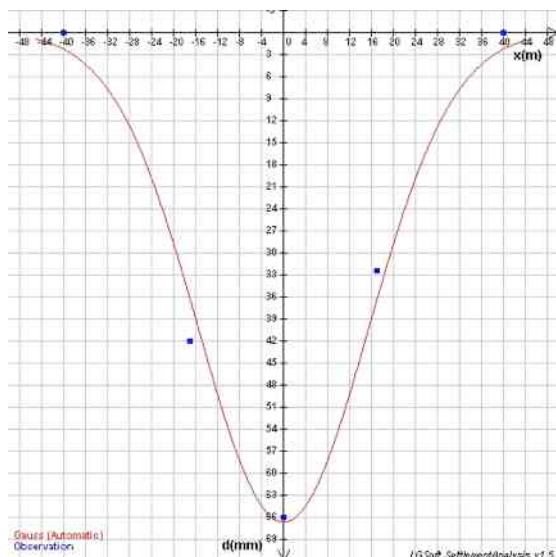


Figura 6 – Acréscimos de recalques superficiais devidos à escavação dos *side drifts* e correspondentes valores de perda de solo. As linhas horizontais representam os valores de referência da instrumentação.



- Volume da Seção Escavada: 85.52m<sup>3</sup>/m
- Volume da Bacia: 2.58m<sup>3</sup>/m
- Perda de Solo Equivalente: 3.02%
- Equação da Curva:  

$$\rho(x) = 66.73 \cdot \exp(-(|x|^2 / (2 \cdot 15.43^2)))$$

Figura 7 - Ajuste das medidas de recalques superficiais na seção 6 de instrumentação à curva de Gauss para cálculo da perda de solo específica.

Na figura 8 a seguir são apresentadas as iso-linhas de recalques correspondentes à situação verificada ao final da escavação dos *side drifts*. Observa-se um nítido deslocamento do centro da bacia de recalques para o lado Higienópolis, em consonância com as condições geotécnicas do terreno encontradas durante esta fase da escavação.

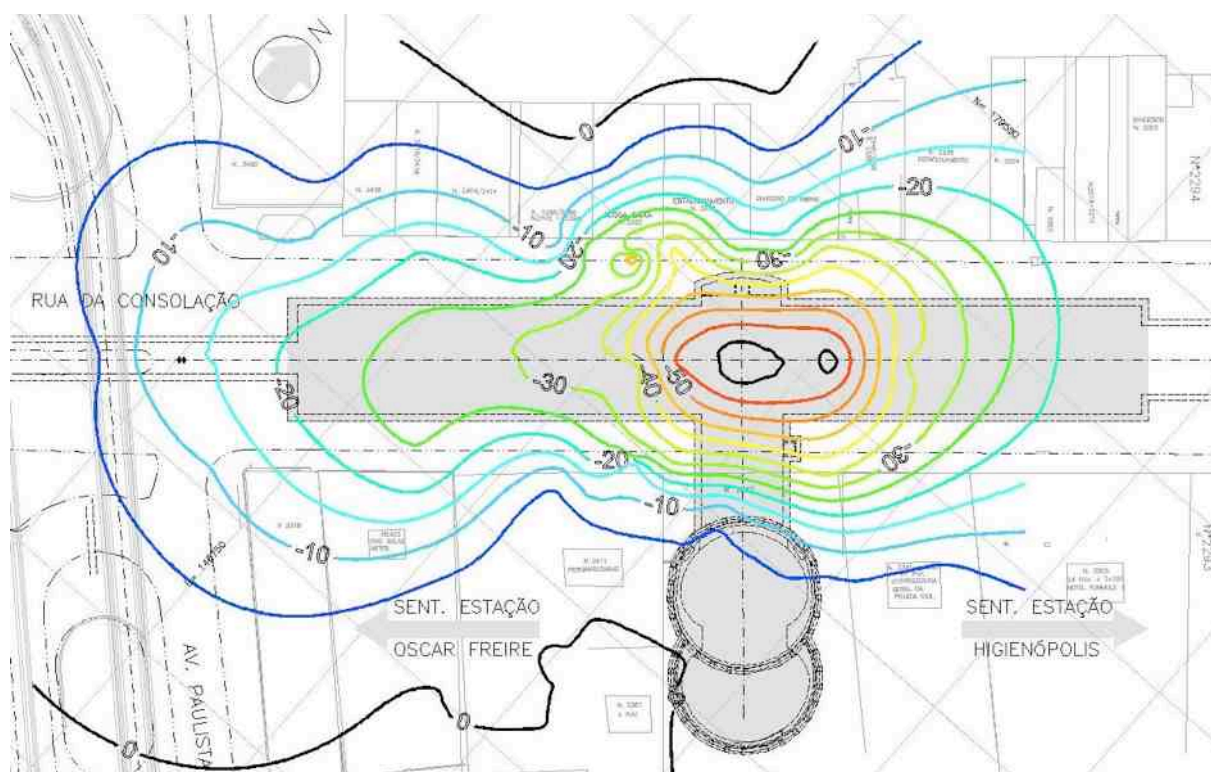


Figura 8 – Iso-linhas de recalques ao final da escavação dos *side drifts* do Corpo da Estação. Notar que estão representados os acréscimos de recalques devidos somente a esta fase de escavação, tendo sido descontados os valores registrados durante a escavação do Túnel de Ligação.

#### **Retroanálise da escavação dos *side drifts***

Os valores relativamente altos de perdas de solo (entre 2,5 e 3%) verificados na área afetada pelo fenômeno de degradação dos solos arenosos descrito anteriormente motivaram a realização de uma retroanálise numérica da fase de escavação dos *side drifts*. A retroanálise foi efetuada tomando por base os valores de recalques medidos pela instrumentação com o intuito de reavaliar a segurança da escavação para as fases subsequentes de escavação da calota, rebaixo e arco invertido definitivo e também para revisar os valores de referência da instrumentação na região afetada, conforme recomendado por Grasso (1994) [3].

O efeito da degradação do solo foi considerado nos cálculos através de uma redução dos parâmetros de coesão e deformabilidade do modelo numérico na região dos apoios das paredes do túnel. Estes parâmetros foram reduzidos para 1/6 e 1/3 dos valores originalmente adotados, respectivamente. Além dos recalques resultantes da análise numérica, decorrentes da redistribuição de tensões devida à escavação do túnel, foram considerados os recalques em consequência do rebaixamento do nível freático causado pela escavação, estimados com base em método empírico, de maneira a obter valores totais de recalques comparáveis aos medidos em campo durante a fase de escavação dos *side drifts*.

Desta forma verificou-se que a escavação ainda apresentava níveis de segurança satisfatórios e foram definidos novos valores de referência da instrumentação, de forma diferenciada para as regiões com e sem ocorrência de degradação do solo durante a fase de escavação dos *side drifts*. A delimitação destas regiões do maciço foi realizada com base em análise dos dados de instrumentação e na reinterpretação da geologia local.

#### **Fases de escavação da calota, rebaixo e arco invertido definitivo**

Após a reavaliação da segurança da escavação e da resposta do terreno para as fases posteriores da escavação, procedeu-se à escavação da calota do corpo da estação, primeiramente no sentido da estação Higienópolis e, com defasagem de cerca de duas semanas, no sentido oposto, da estação Oscar Freire. Durante esta fase de escavação os tratamentos aplicados ao terreno consistiram em enfilagens na abóbada com tubos de aço inseridos em colunas de CCPH e drenagem através de drenos subhorizontais a vácuo (DHPv's). As enfilagens foram empregadas em dois lances iniciais a partir do túnel de ligação, em ambos os sentidos da escavação. Após isto, em função das características favoráveis apresentadas pelo maciço em ambas as frentes, optou-se por avançar a escavação apenas com a aplicação sistemática de DHPv's.



A decisão de suprimir outros tratamentos foi embasada pela realização de medidas *in situ* de sucção na frente de escavação por meio de tensiômetro, através das quais a eficácia da drenagem aplicada pôde ser aferida de forma objetiva. Em 16 medidas realizadas verificou-se sempre a condição favorável de não-saturação do solo na frente do túnel, com valores de sucção entre 4 e 18 kPa.

A escavação da calota foi concluída sem incidentes dignos de registro, passando-se em seguida à execução do rebaixo da seção, com a demolição parcial do revestimento primário dos *side drifts*. Após o rebaixamento do plano de trabalho foi iniciada, a partir das extremidades do corpo da estação, a escavação do arco invertido definitivo (AID), realizada em avanços de 3 m, com imediata aplicação de concreto projetado com tela metálica sobre a área escavada.

Uma medida relativamente simples, a manutenção de um reaterro de aproximadamente 2,0 m de altura no interior dos *side drifts* durante as fases de escavação da calota, rebaixo e AID, proporcionou um ganho importante de segurança, através do acréscimo de confinamento dos apoios das paredes do túnel, verificado através das simulações numéricas realizadas.



Figura 9 - Tensiômetro instalado na frente de escavação da calota para medida de sucção.

As escavações do túnel do Corpo da Estação foram concluídas após oito meses de trabalho, sem registro de problemas relacionados às deformações do terreno (recalques excessivos ou danos às edificações vizinhas). Na Figura 10 a seguir são apresentadas as iso-linhas de recalques totais para a situação após a conclusão da escavação.

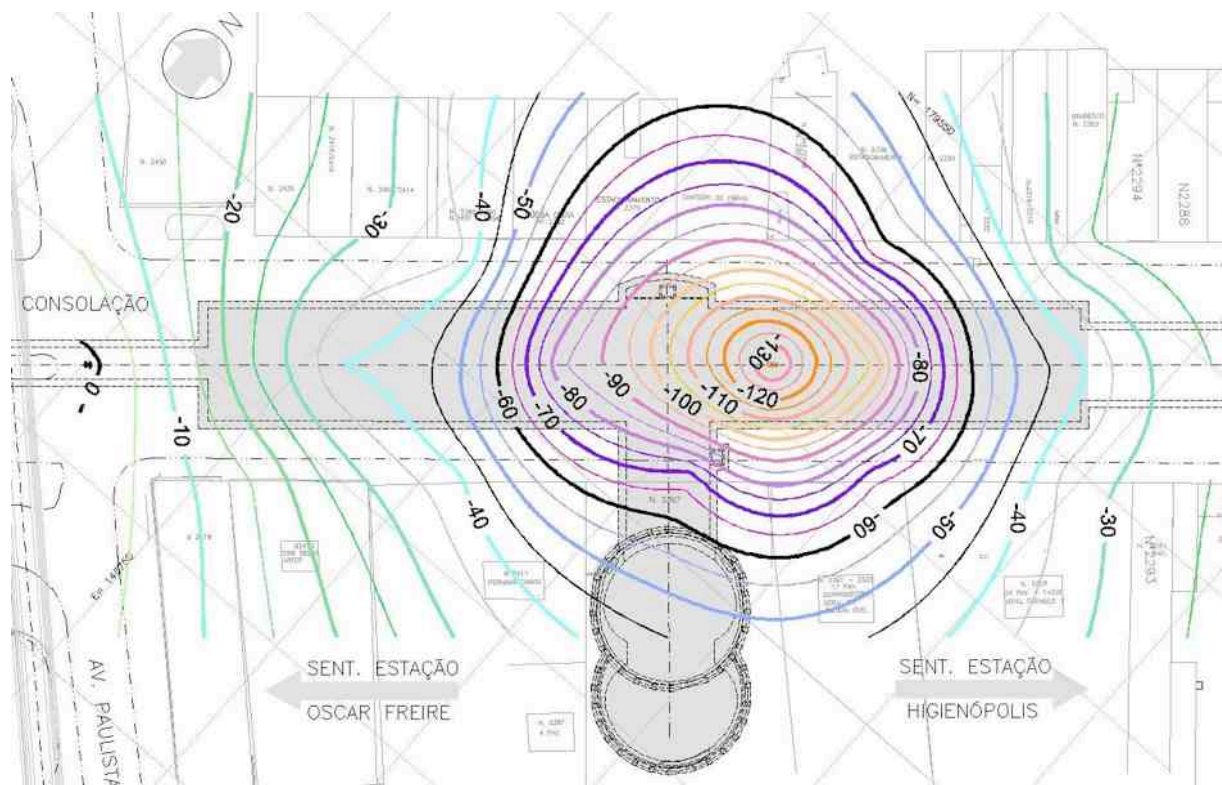


Figura 10 – Iso-linhas de recalques ao final da escavação do Corpo da Estação. Nesta figura estão representados os valores dos recalques totais acumulados em todas as fases de escavação.



## OBSERVAÇÕES E CONCLUSÕES

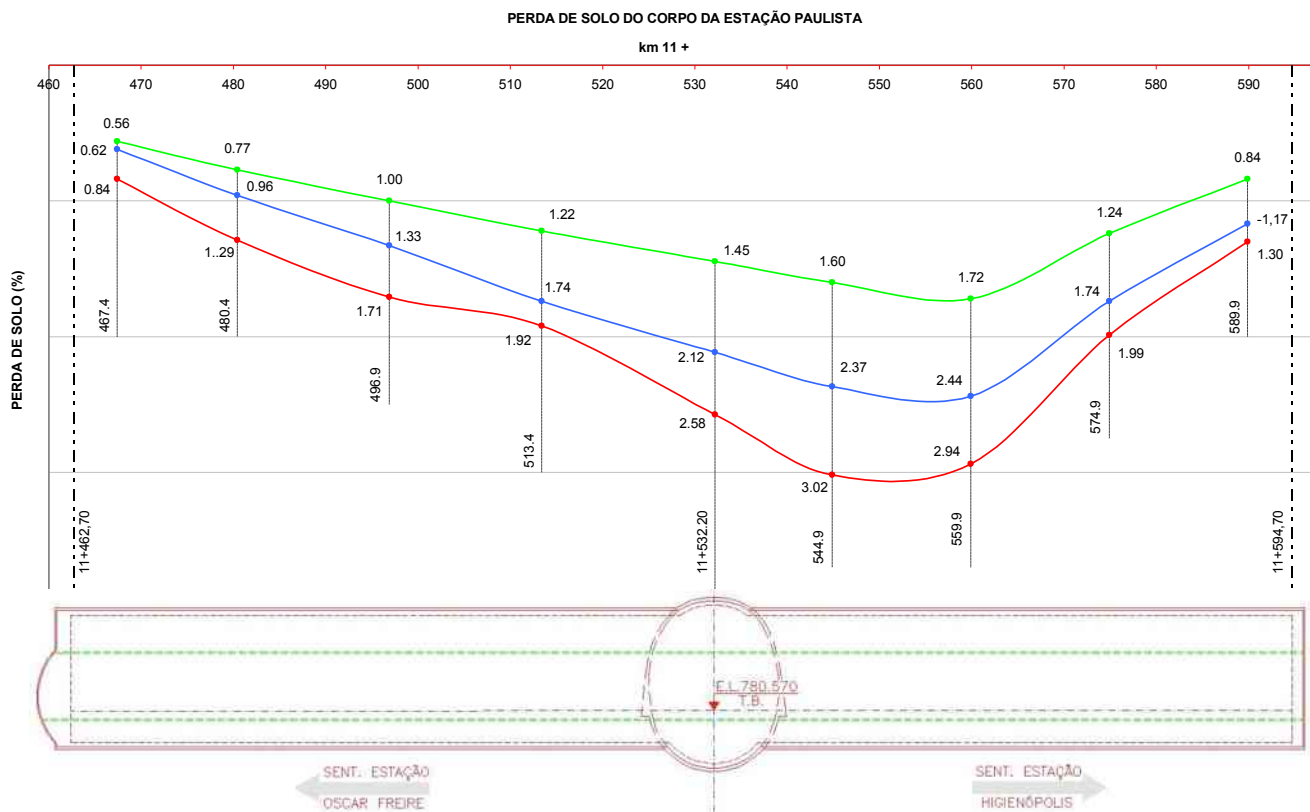


Figura 11 – Evolução dos valores de perda de solo nas diversas fases de escavação.

O gráfico da Figura 11 mostra a evolução dos valores de perda de solo verificados nas diversas seções de instrumentação com o avanço da escavação do túnel do Corpo da Estação. Observa-se a diminuição progressiva destes valores a partir da conclusão da fase de escavação dos *side drifts*, na qual se registraram valores relativamente elevados (em torno de 3%), até a situação final, após o término da escavação do túnel, onde o valor máximo estabilizou-se em torno de 1,7%. Em relação a este fato fazem-se os seguintes comentários:

- O principal fator responsável pelos incrementos acentuados dos recalques nas fases iniciais foi, provavelmente, a degradação do solo por efeito da saturação ocorrido no lado Higienópolis da estação, o que fica evidenciado pela forma assimétrica assumida pela bacia de recalques resultante da escavação.
- É comum no caso de túneis com seções parcializadas registrarem-se valores de perdas de solo mais elevados durante as fases iniciais da escavação. Isto pode ser explicado em parte devido à sobreposição de efeitos das escavações dos *side drifts*, ou seja, em função de sua proximidade, ambas as escavações transferem carga para o pilar de solo remanescente entre as galerias, amplificando os efeitos que a escavação de cada galeria teria isoladamente.
- Outro fator contribuinte para este comportamento é o fato de que a maior parte do efeito de drenagem local do lençol freático ocorre logo no início da escavação, acelerando os recalques devidos ao adensamento dos solos sujeitos à drenagem. O gráfico da Figura 12 mostra que este comportamento foi registrado no caso da estação Paulista.
- No caso da estação Paulista, verificou-se, principalmente na região afetada pela degradação, que os recalques medidos na superfície resultaram menores que aqueles medidos em profundidade, nos tassômetros instalados logo acima da geratriz superior do túnel. Isto contradiz o perfil teórico de deformações crescentes com a profundidade até o contorno da escavação, que reflete apenas as deformações resultantes da redistribuição de tensões. Esta inversão da tendência teórica evidencia a ocorrência de recalques significativos nas camadas de terreno acima do túnel. No caso em questão, presume-se que tais recalques devam-se parte ao adensamento das camadas superiores de solo sujeitas à drenagem e, considerando a existência da camada de argila porosa sobrejacente ao túnel (3 Ag<sub>p1</sub>, argila porosa da Paulista, ver Figura 3), parte ao colapso da macroestrutura desta argila sob efeito das tensões de cisalhamento induzidas pela escavação, de forma similar ao relatado por Farias *et al* (1998) [2] no caso de obras do Metrô de Brasília em terrenos porosos.

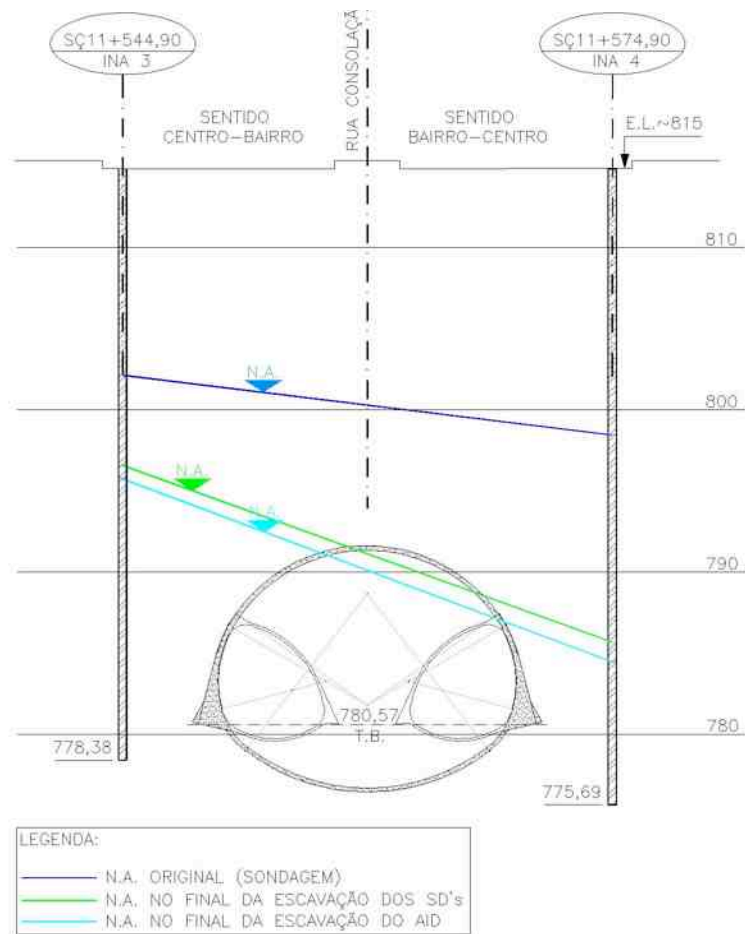
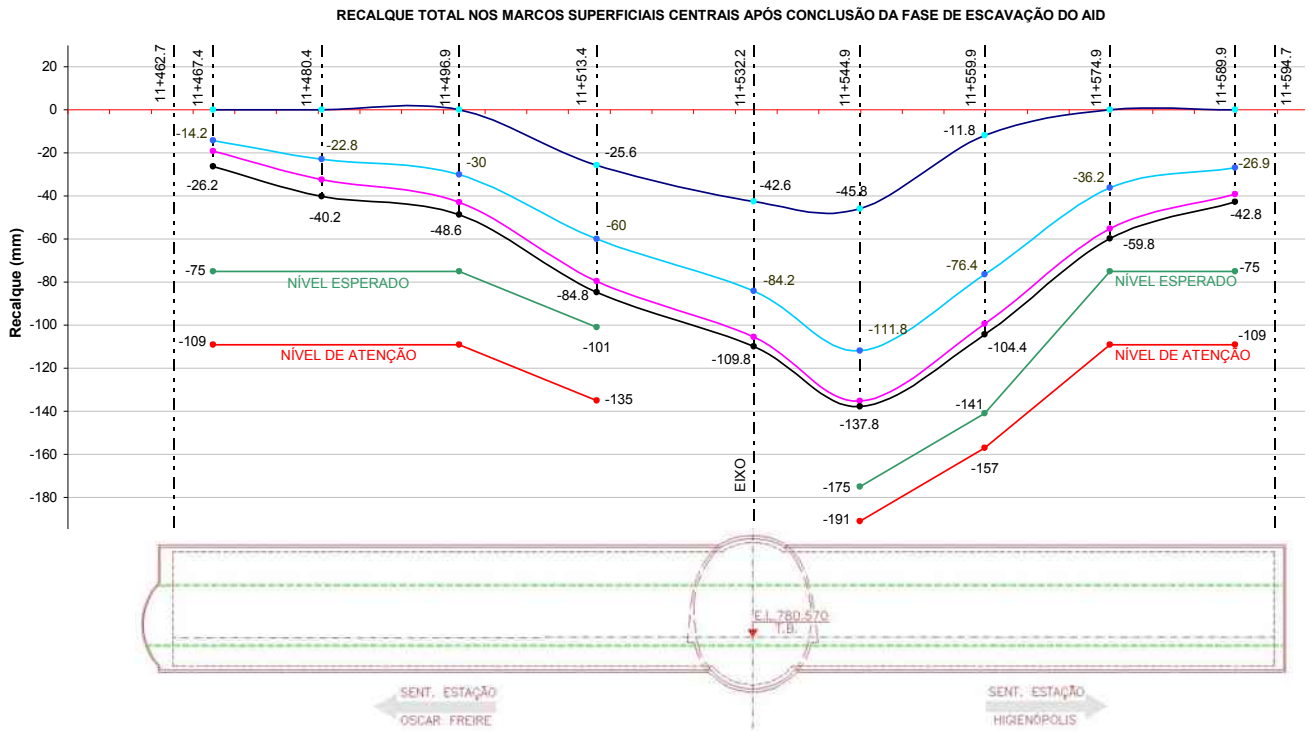


Figura 12 – Evolução dos níveis freáticos medidos em sondagens anteriores ao início da obra e durante as fases de escavação.

O gráfico da Figura 13 a seguir mostra a situação dos recalques absolutos medidos na superfície no eixo do túnel ao final das diversas fases de escavação. O gráfico evidencia a assimetria verificada no comportamento do terreno entre os dois lados do Corpo da Estação, relacionada às características distintas dos solos e às condições de drenagem, influenciadas pela morfologia das camadas geológicas, conforme exposto anteriormente.

- Verifica-se que os acréscimos importantes de recalques verificados durante a fase de escavação dos *side drifts*, relacionados à degradação dos solos no lado Higienópolis, puderam ser controlados de forma satisfatória através da aplicação sistemática de drenagem através de DHPV's.
- Nas fases posteriores à escavação dos *side drifts* o desempenho da escavação pode ser considerado satisfatório, com acréscimos homogêneos de recalques abaixo dos níveis esperados, sem registro de danos à infraestrutura existente na superfície ou às construções vizinhas, nem de acidentes relacionados a instabilidades do terreno. A interação estreita nas tomadas de decisões entre as equipes de projeto e do Acompanhamento Técnico da Obra (ATO) também contribuiu, na visão dos autores, para a manutenção de níveis adequados de segurança da obra e das edificações vizinhas.



**LEGENDA:**

- INÍCIO DA ESCAVAÇÃO DOS SD's
- CONCLUSÃO DA FASE DE ESCAVAÇÃO DOS SD's
- CONCLUSÃO DA FASE DE ESCAVAÇÃO DA CALOTA
- CONCLUSÃO DA FASE DE ESCAVAÇÃO DO AID

Figura 13 – Recalques superficiais totais medidos no eixo do túnel ao final de cada fase de escavação e valores de referência da instrumentação para a fase final de escavação do AID.



## FOTOGRAFIAS DA ESCAVAÇÃO DO TÚNEL DO CORPO DA ESTAÇÃO



Figura 14 – Fase de escavação dos *side drifts* – Vista do Túnel de Ligação para o lado Oscar Freire.



Figura 15 – Fase de escavação da Calota – Detalhe da execução de DHPv's com comprimento de 15,0m.



Figura 16 – Fase de escavação do AID – Detalhe da escavação do nicho lateral



Figura 17 – Seção Plena – Vista do Corpo da Estação (lado Higienópolis) após conclusão da escavação

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Companhia do Metropolitano de São Paulo pela disponibilização dos dados analisados no presente trabalho e pela autorização para divulgação do mesmo.

## BIBLIOGRAFIA

CORDING, E. J. (2005) – *Assessing movement and damage due to underground construction*. In: *Underground Construction in Urban Environments*, ASCE Specialty Seminar, New York, EUA.

FARIAS, M. M.; LUNA, S. C. P.; ASSIS, A. P. (1998) – *Collapse criteria for tunnelling in porous clay*. In: *Tunnels and Metropolises*, Negro Jr. e Ferreira, A. (editors), International Tunnelling Symposium, São Paulo, Brasil.

GRASSO, P.; BRINO, L.; RABAJOLI, G.; ASTORE, G.; PELIZZA, S. (1994) – *Metodologia per la previsione ed il controllo delle subsidenze. Un'applicazione: la bretella di Voltri*. *Gallerie e Grandi Opere Sotterranee* 43, pp.12-25.