

## **CATEGORIA 3**

### **Prática de Fiscalização e ATO na Execução de Túnel de Baixa Cobertura.**

#### **Estudo, Segmento e Desafio**

**Aryane Lya Alves Guimarães**

**Flávio Caloni**

**Valmir Santos de Castro**

**Davide Agnella**

### **INTRODUÇÃO**

Este artigo visa demonstrar a prática conjunta de fiscalização e de ATO (Acompanhamento Técnico de Obra) durante a execução do Túnel Singelo entre a Estação Vila Sônia e VSE Edmundo Lins da Linha 4 Amarela, do Metrô – SP. Este túnel, apresenta região com baixa cobertura inserido em área de influência de “solos moles”.

Considerando as baixas coberturas com interceptação de solos aluvionares pela seção de escavação do túnel e a passagem abaixo do córrego Itararé, o Túnel Singelo representa um dos maiores desafios para a execução dos tuneis dessa obra.

A atuação conjunta das equipes de fiscalização do Metrô e ATO, buscando conhecimento sobre o comportamento geotécnico do maciço em escavação e atuação

de eventuais contramedidas durante a realização da obra foi de fundamental importância para o sucesso da realização do Túnel Singelo. No detalhe o acompanhamento sistemático do sistema de instrumentação, geologia de escavação e dados hidrogeológicos nos avanços, permitiram as equipes envolvidas manter o controle sobre a qualidade e segurança das atividades de obra, ponto de primária importância em uma obra metroviária subterrânea.

O artigo foi dividido em 2 partes. A primeira apresenta uma breve descrição do trecho em questão, com a apresentação do perfil geológico encontrado, peculiaridades, método construtivo adotado e detalhamento da drenagem e tratamentos utilizados. A segunda parte apresenta o resultado da atuação conjunta da fiscalização METRO e equipe de ATO onde é feito o controle de recalques, análise do mapeamento geológico encontrado e análise da instrumentação instalada.

## **DIAGNÓSTICO**

### Descrição

As escavações subterrâneas nas obras da Fase 2 da Linha 4 Amarela, sob fiscalização do Metrô de São Paulo, são executadas pelo método NATM. O método construtivo NATM, já consagrado pelo Metrô de São Paulo em seus projetos em todas as linhas é um método de escavação de forma segura e eficaz.

Dentro dos conceitos básicos do NATM consistem a mobilização das tensões de resistência do maciço; manutenção da qualidade do maciço pela limitação do avanço e

aplicação imediata do revestimento; avanço e parcialização da seção de escavação, fechamento provisório e utilização do suporte adequado no momento certo; a utilização de enfilagem, cambotas e telas; geometria mínima da seção escavada e, preferencialmente, seção arredondada; fechamento do arco invertido; minimização das pressões neutras por meio de drenagem do maciço; caracterização minuciosa geológico geotécnica do maciço, instrumentação e interpretação das leituras de campo; estabilização das deformações. (fonte: DE Mello, V.; BOSCOV, P. & CAMPANHÃ, 1998. .)

Dentre as frentes de escavação, túneis, que compõem a obra, destaca-se o Túnel Singelo com seção de escavação inferior às demais frentes de obra, porém apresentando algumas peculiaridades construtivas. Esse túnel está em cota mais elevada do que as demais frentes de túneis de via, apresentando baixa cobertura. O Túnel Singelo será nosso objeto de estudo neste artigo.

O Túnel Singelo encontra-se localizado no trecho entre a Estação Vila Sônia e VSE Edmundo Lins da Linha 4 – Amarela, tendo comprimento de aproximadamente 499 m, composto de seção de escavação em seção plena 41,13 m<sup>2</sup>, entre os KM 0,1+58,183 a 0,2+36,186 e, parcializado em calota 29,23 m<sup>2</sup> e bancada 11,90 m<sup>2</sup>, entre os trechos 0,0+72,183 a 0,1+58,183 e 0,2+36,183 a 0,5+70,50. Totalizando assim um volume de mais de 20 mil m<sup>3</sup> de solo a ser escavado e transportado.



Figura 1 - Localização Túnel Singelo

As escavações são feitas de forma controlada pois a estrutura de suporte (cambota e telas com concreto projetado) é colocada logo após a escavação do maciço e a frente e calota resulta tratada em avanço (colunas de CCPh's e pregagens), minimizando assim os riscos pertinentes as escavações inseridas em áreas densamente urbanizadas.

Além da baixa cobertura, o túnel singelo atribui outros desafios a obra, associados a passagem do Córrego Itararé, e a interceptação dos horizontes de solos aluvionares atribuídos à bacia de deposição deste córrego.

#### Modelo Geológico

A seção de escavação do túnel singelo, assim como as demais frentes de escavação, está inserida em solo residual evoluído de rochas gnáissicas e migmatíticas do Complexo Embu. Difere-se das demais pela baixa cobertura, portanto prevalecendo a ocorrência de solos residuais maduros, enquanto que as demais frentes, com maior cobertura, se inserem em solos residuais jovens, pedologicamente menos evoluídos, com ocorrências de saprólito em contatos difusos.

As principais características físicas dos solos residuais herdados de rochas do complexo Embu, são as feições preservadas da rocha geradora e o modelo estrutural-geológico, com fraturas preservadas, conferindo ao material comportamento de meio descontínuo e características de mecânica de rochas com parâmetros de resistência de solo.

São horizontes variegados, ricos em granulometrias arenosas, porém com matriz silto-argilosa, comum as alterações de rochas gnáissicas. Este aspecto físico confere baixa permeabilidade aos horizontes de alteração, com percolações instaladas nas fraturas preservadas. Portanto os solos de alteração do Complexo Embu apresentam modelo de percolação típico de aquíferos fissurais.

Tratando-se do túnel singelo, a escavação se insere sobre o predomínio de horizontes residuais mais evoluídos, residual maduro, de meio contínuo, onde o comportamento é de mecânica de solos, as texturas da rocha geradora e o modelo estrutural-geológico apresentam menor impacto sobre as escavações.

Uma das características observadas para o horizonte residual maduro é que o nível d'água é oscilante na seção de escavação. O lençol freático se estabelece abaixo deste estado de alteração, nos horizontes menos alterados, portanto o Nível D'água observado é característico de uma zona vadosa, região de alimentação do aquífero fissural estacionado nos horizontes mais profundos.

Ao contrário do que ocorrerem nos horizontes de solo aluvionar, onde os horizontes arenosos constituem reservatórios de água. As areias aluvionares configuram um

aquífero elevado que alimenta as fissuras do solo residual e funciona como zona de recarga do aquífero fissural.

A planície aluvionar do córrego Itararé contemplam depósitos quaternários de horizontes arenosos, de transição argilo arenosa e arenosos, que compreendem as Fácies Aluvionares de fundo, de borda e planície de inundação. Naturalmente o córrego era meandrante, mesmo que instalado sobre um alinhamento estrutural associado a uma falha geológica e possuía uma vasta planície de inundação. Na região de influência com as escavações, a planície aluvionar encontra-se aterrada e ocupada e o córrego foi confinado a um traçado e seus meandros eliminados com aterros, dando lugar as ocupações em suas margens.



Figura 2 - Escavação do Túnel Singelo na região de baixa cobertura

#### Topografia e Perfil geológico

Por mais detalhado que tenha sido o projeto do empreendimento, durante a escavação é comum surgirem situações não detectadas nos trabalhos precedentes,

que exigirão um tratamento adequado, ou até mesmo a reformulação de critérios de classificação e de projeto. (Reis, M & Perez, Rafael R. O. & Rusilo, Luiz Carlos, 2006)

No projeto original a cobertura máxima concebida de projeto básico não previa que a cota do nível do estacionamento da empresa Plásticos Mueller, localizada na Avenida Professor Francisco Morato, 4340, sobre os km 0,3+14 e 0,1+82 do Túnel Singelo, estaria rebaixada em relação à cota da Avenida Professor Francisco Morato, diminuindo ainda mais a cobertura deste túnel de 3,75 m para até 2,80 m atribuindo maior risco ao processo de escavação.

Inicialmente, o projeto executivo contemplava uma área de influência para os solos aluvionares, porém de maneira que não haveria interceptação deste solo com a seção de escavação. Durante as obras, novas investigações revelaram que os horizontes aluvionares interceptariam e exerceriam influencia em maior área nas escavações do túnel singelo.

Foi feito um novo perfil geológico considerando novas sondagens na região onde evidenciou-se a presença deste solo interceptando a cobertura e parte da calota do túnel.

No trecho entre os km 0,3+14 a 0,2+85 deste túnel foram tomados cuidados adicionais à escavação devido à baixa cobertura diminuindo o avanço de 80 cm para 60 cm, executando de forma mais cautelosa além da adoção de reforço adicional de tela neste trecho.

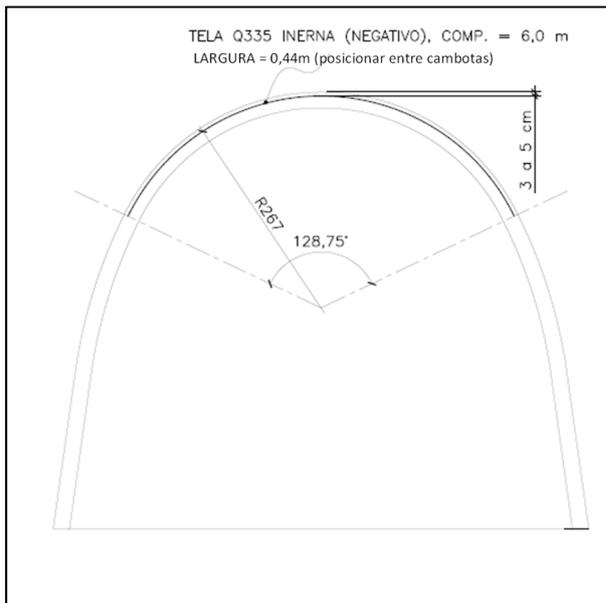


Figura 3 - Reforço adicional de tela na região de baixa cobertura

#### Tratamentos CCPH e Pregagem de Frente

O tratamento CCP-H destina-se a estabilização do topo da calota antes de iniciar a escavação.

A colunas de solo-cimento – cimento formadas com a técnica jet grouting apresentam elevada variabilidade no que se refere a: propriedades mecânicas e de resistência; diâmetros obtidos no campo; e integridade estrutural (continuidade da coluna).

Métodos de projeto tradicionais baseiam - se em critérios empíricos, e frequentemente resultam espessuras de tratamento de solo mais elevadas do que necessário, com margem de segurança desconhecida.



Figura 4 - Tratamento de teto e frente na região de baixa cobertura

A monitoração dos parâmetros de execução, e a medição dos diâmetros de coluna obtidos no campo, permite fazer o ajuste fino dos procedimentos de execução, e adaptá-los para as condições locais do subsolo. Em consequência, pode - se obter um nível de qualidade mais elevado para o pré-suporte do túnel (Humes & Kochen, 1991).

O tratamento CCPH são executados conforme previsto em projeto, no entorno da calota do túnel, com ângulo e comprimentos adequados.

Os furos são realizados com perfuratriz com sistema perfuro-injetora.

A injeção de calda de cimento é controlada e de acordo com volume teórico do furo.

Em inclinações acima da horizontal, o preenchimento é iniciado pela mangueira posicionada junto ao tubo de aço até que a calda atinja as perfurações no extremo final do tubo e retorne pelo interior do mesmo.

Uma vez estabelecida esta comunicação, está assegurada a comunicação hidráulica dos extremos da perfuração.

A segunda etapa consiste em fechar o duto de retorno da calda de cimento e com isto promover, de maneira controlada, a elevação da pressão da calda de cimento injetada no maciço.

A pressão, que na etapa inicial de preenchimento fica em torno de 3 bar, é aumentada até atingir de 6 a 8 bar, mantida neste nível por um breve intervalo de tempo, ou seja, com volumes baixos (20 a 30 litros) e com isto garantir o total preenchimento do espaço anelar entre tubo e a parede do maciço.

Resulta dessa operação, um furo muito bem preenchido de calda com o tubo metálico centrado.

Especialmente formam uma estrutura tronco-cônica de enfilagens injetadas, porém não ocorre necessariamente a formação de arco contínuo, pois os tubos ficam afastados uns dos outros, preenchidos de solo “in situ”.

Nas situações onde o maciço apresenta muitas fraturas, é importante que a injeção de preenchimento seja feita lentamente para garantir a penetração profunda da calda de cimento.

(fonte: ITTC28 – Instrução de Trabalho e Ficha de Serviço: Tratamento de Túnel em Solo)

Foram também utilizadas a critério do ATO pregagens de frente com CCPH f 20 cm e barras de fibra de vidro a fim de manter a integridade da frente a ser escavada, prevenindo assim possibilidade de ruptura dos blocos formados devido a

descontinuidades do solo nos planos existentes passíveis de deslocamentos. A inserção da fibra é conferida resistência à tração à estrutura do solo.

A atuação conjunta da fiscalização por parte do Metro e ATO, logo no início das escavações, detectou que pregagens de frente convencionais, com injeção somente de bainha, criavam drenos e lixiviava material, acelerando ao processo de deslocamento. Com base nesta observação foram adotadas as colunas de CCPH como pregagem de frente, mostrando-se mais eficientes no quesito estabilização de frente. Sistema de Drenagem

O rebaixamento do lençol freático é fundamental para a execução de escavação segura, tendo a função de aliviar a pressão d'água sobre o túnel e frente de escavação.

No Túnel Singelo a drenagem externa contava com poços de rebaixamento ligados a partir de 20 m da seção de escavação, a fim de rebaixar previamente o lençol freático. Para prover maior eficácia ao sistema de rebaixamento, adotou-se, ao longo de toda a escavação, sistemas de rebaixamento interno constituídos de drenos do tipo DHP acoplados ao bombeamento a vácuo.

O projeto executivo prevê a possível adoção de drenagem interna, com a utilização de drenos DHP's. Estes foram estabelecidos considerando os mapeamentos de frente de escavação e as novas sondagens executadas, de maneira a interceptar o padrão de faturamento do maciço, o set principal de fraturas pelo qual percolam as águas. Visto que as águas subterrâneas compõem um sistema principal de aquíferos fissurais de forma oblíqua e sub-vertical, estes drenos foram colocados de maneira a interceptar esse fluxo de água.

A adoção dos sistemas de rebaixamento interno e externo se somaram para garantir boas condições de escavação, livres de percolações de água que pudessem acelerar o processo de deslocamentos de blocos.

Os tratamentos de contorno e frente disponibilizados somados a uma condição bem drenada do túnel diminuiram muito os riscos durante a escavação, situação evidenciada durante a escavação deste túnel.

Lindeiros

A área do estacionamento da empresa Plásticos Mueller localizada sobre o túnel (entre Km 0,3+14 e 0,2+85 do Túnel Singelo) teve que ser isolada sistematicamente por precaução devido a calda de cimento que poderia vazar durante a execução destes tratamentos.

Neste mesmo imóvel (influência a partir do KM 0,2+70 ao 0,2+46 deste túnel) existe uma caixa d'água de 45 m de altura e 1.000.000 L que foi instrumentada e acompanhada diariamente durante as atividades, sem alguma movimentação.



Figura 5 - Caixa D'água localizada na Plásticos Mueller

Na madrugada do dia 28 de agosto de 2017 foi constatada rachaduras por soerguimento no piso do estacionamento do imóvel (na região limite com antiga Helfont e alinhamento predial na Av. prof. Fco. Morato). O fenômeno se deve à pressão, seguida de vazamento de material aplicado (calda de solo/cimento) proveniente no condicionamento do maciço, executado conforme projeto a partir da calota 312 do Túnel Singelo.

Conforme processo de condicionamento por colunas CCP-h (Jet Grouting), foram injetadas durante a madrugada as colunas 1D e 1E, localizadas à direita e à esquerda respectivamente da coluna do eixo do túnel.

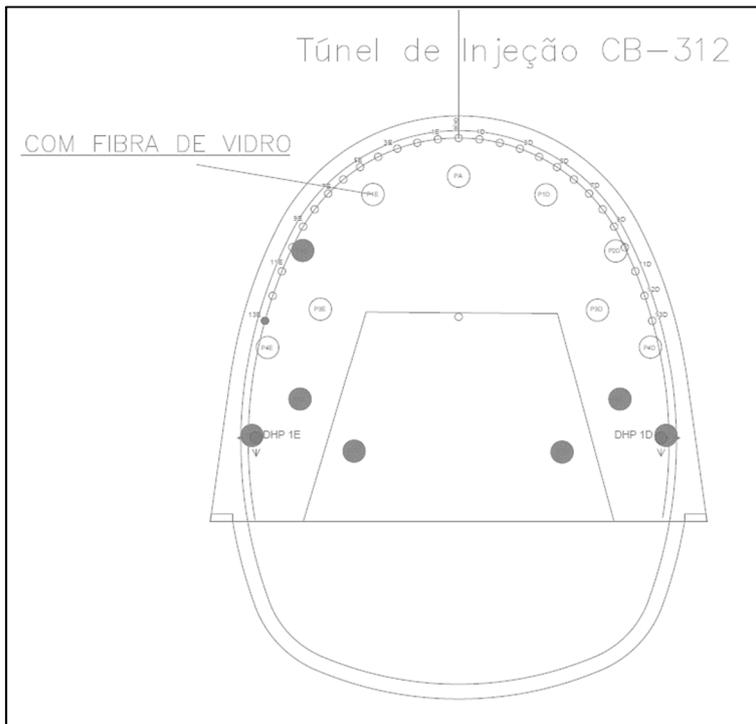


Figura 6 - Localização tratamentos de calota e pregagens

A extremidade das colunas chega à 9,21m da seção de instrumentação KM 2.0+60,934, sendo que o processo causou o alteamento dos tassômetros (marco profundo) e marcos superficiais laterais ao túnel.



Figura 7 - Local da Ocorrência - área do estacionamento afetada

A seção de tratamentos CCPH encontra-se na seção 2.0+82, estando a aproximadamente 22 metros da seção de tratamentos afetada. O limite do tratamento encontra-se na seção 2.0+70 estando a 9,2 m aproximadamente da área afetada.

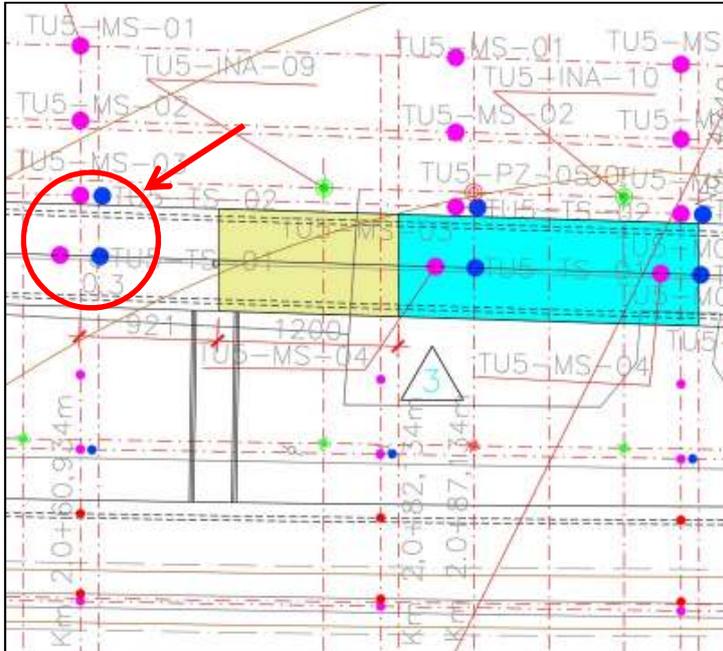


Figura 8 - Localização da frente de escavação em relação à área afetada.



Figura 9 - Isolamento área de estacionamento a fim de evitar danos ao lindeiro.



Figura 10 - Localização da ocorrência de vazamento superfície terreno empresa Plásticos Mueller (fonte: google)

## 5º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

A atuação conjunta ATO/ Fiscalização

Conforme instrução complementar emitida pela Companhia do Metropolitano de São Paulo

“O Acompanhamento técnico de obra (ATO) é de fundamental importância para a verificação e validação das premissas técnicas adotadas no projeto executivo de estruturas subterrâneas. Em função das condições locais, o ATO poderá promover ajustes necessários ao projeto executivo, uma vez que as condições de implantação nunca são totalmente previsíveis devido a possibilidade de variação do maciço escavado, o que pode influenciar significativamente as premissas e hipóteses adotadas no projeto.” (fonte: IC-4.00.00.00/6G3-601)

Segundo (Murakami, 2001) a presença de equipe de o Acompanhamento Técnico de Obras é na obra de um túnel, avaliando e adaptando o projeto existente para as condições físicas e financeiras reais, buscando o melhor desempenho possível em termos de deformações do maciço e aproveitando ao máximo as capacidades de resistência das estruturas. Outra função vital do ATO é realizar a avaliação contínua do desempenho do maciço e da estrutura na prevenção da formação de mecanismos de colapso que podem resultar em graves acidentes.

Desta forma foram feitos ajustes necessários ao projeto quanto a conformação do túnel, os tratamentos do solo melhorando as condições de escavação e diminuição dos recalques na região de baixa cobertura para o Túnel Singelo.

### 3.1.1. Alteração AIP para maior estabilidade do Túnel Singelo

Atendendo ao conceito do NATM de garantir melhor estabilidade e preferência por seções arredondadas a conformação do AIP foi alterada a critério do ATO.

Vejamos a conformação original de projeto na figura abaixo:

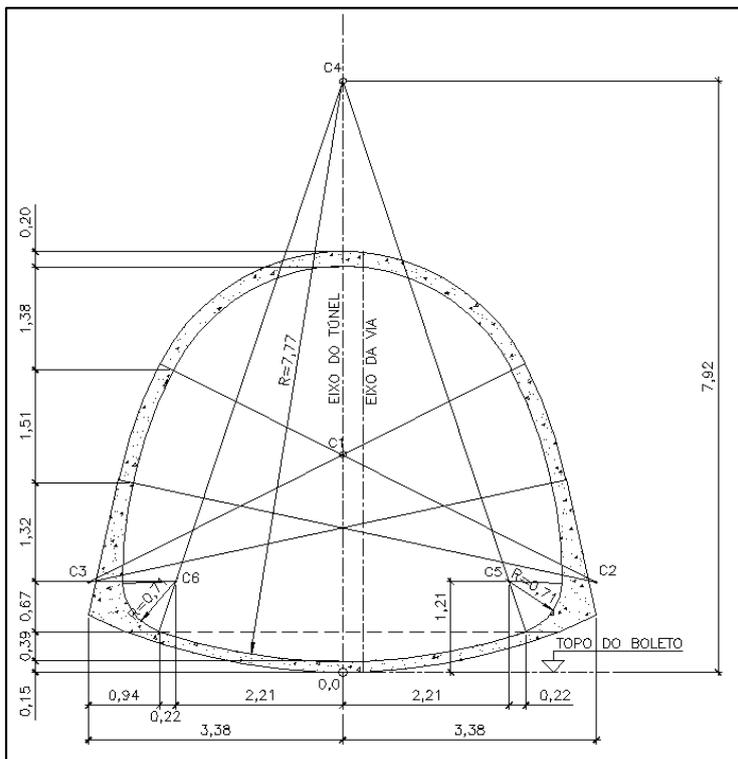


Figura 11 - Projeto original AIP

Vejamos o arco invertido provisório alterado para melhorar a estabilidade do túnel singelo conforme indicado abaixo:

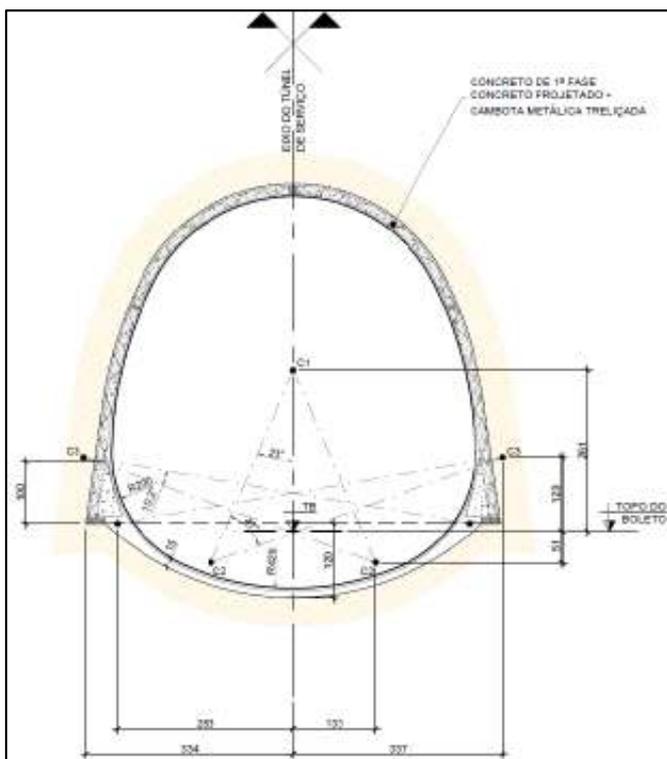


Figura 12 - Alteração conformidade do AIP

### 3.1.2. Peculiaridades geológicas e construtivas

O túnel singelo representa a seção de escavação subterrânea com menor cobertura em toda a obra. Por sua posição topograficamente mais elevada do que as demais, insere-se em uma região do maciço com maior grau de alteração e evolução pedológica em função do perfil de alteração e seus horizontes classificatórios.

O túnel singelo apresenta algumas peculiaridades que agregam maior dificuldade as escavações, com destaque a baixa cobertura. A seção de escavação atravessará o córrego Itararé, no entanto, antes desta travessia há influência da planície aluvionar, com perfis de

solos aluvionares interferindo nas escavações, compondo a principal peculiaridade enfrentada na obra.

O Modelo Geológico apresentado em perfil longitudinal, projeto executivo, (Figura 13) ilustrava as ocorrências destes solos aluvionares sem exercer influência direta as escavações. Os horizontes basais da planície aluvionar não interceptavam a seção de escavação, a qual, segundo o perfil de projeto estava inserida somente em solo residual.

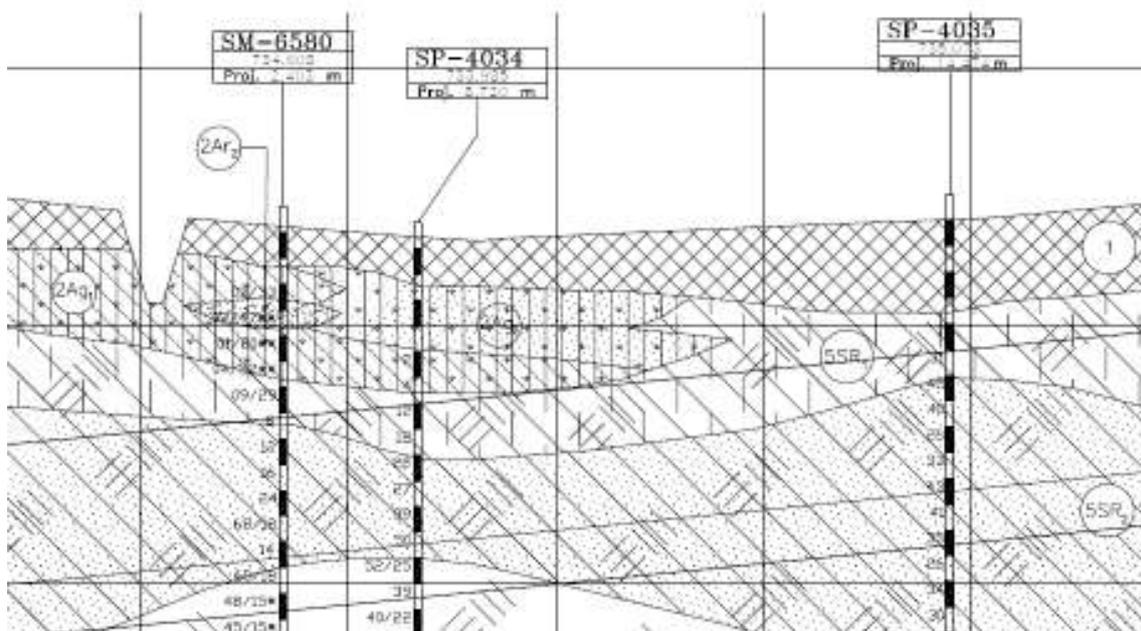


Figura 13 - Trecho do Perfil Geológico do Projeto Executivo, originalmente apresentando a Ocorrência dos Solos Aluvionares e sua Abrangência.

Ocorrência dos Solos Aluvionares e sua Abrangência.

Com as escavações já iniciadas e aproximando-se da topografia plana, onde se insere o leito do córrego Itararé, houve a necessidade de detalhar e conhecer com maior controle as ocorrências dos solos aluvionares. Para tal foram programadas e realizadas algumas

sondagens adicionais, as quais auxiliaram na revisão do perfil geológico, como subsidio ao mapeamento da zona de influência destes horizontes aluvionares.

A partir do perfil revisado (Figura 14) foi possível identificar a influência de horizontes arenosos, aluvionares, exercendo influência direta sobre a seção de escavação, interceptando a geratriz superior da seção.

Estabeleceu-se então a região de interferência das areias aluvionares em relação a seção de escavação, o que permitiu a detecção previa dos horizontes arenosos e possibilitou maior controle sobre o método construtivo aplicado a nova condição. A nova campanha de investigação foi fundamental para estabelecer a região de proximidade com as areias basais da planície aluvionar.

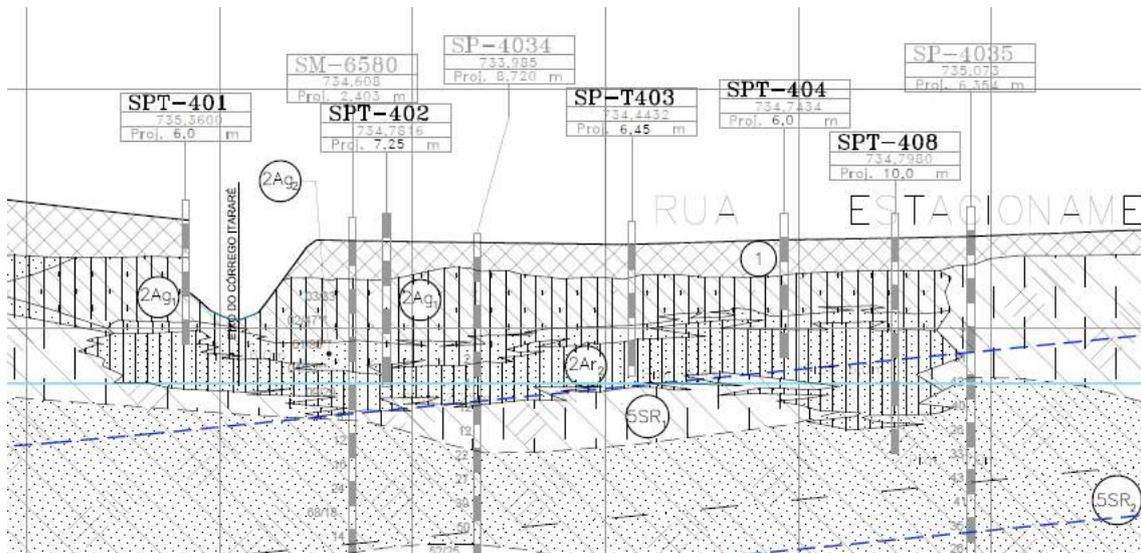


Figura 14 - Projeto Executivo Revisado a partir da nova Campanha de Investigações, Maior Abrangência dos solos Aluvionares e a Interferência na Seção de Escavação.

Abrangência dos solos Aluvionares e a Interferência na Seção de Escavação.

As perfurações para as campanhas de tratamento de frente ofereceram o suporte necessário para confirmar a veracidade da revisão feita sobre o perfil geológico do projeto executivo e, desta forma, estabelecer de maneira correta e interceptação dos solos aluvionares.

Por meio da detecção previa desses horizontes, o padrão de instalação dos drenos, do tipo DHP, instalados para o sistema de rebaixamento interno, foram realocados em função do aquífero elevado, esperado para as areias basais. Foram instalados drenos a meia seção, com inclinação ascendente buscando o horizonte arenoso. A manobra foi bem-sucedida, com boa vazão destes drenos, livrando a frente de percolações e possíveis deslocamentos arenosos.

Com base nas novas sondagens, foram traçadas algumas seções transversais para analisar a influência dos horizontes aluvionares em relação ao eixo ortogonal a seção de escavação. Dentre as seções desenhadas, destaca-se a apresentada na Figura 15, a qual ilustrou a interferência do depósito de aluvião sobre a geratriz superior de escavação no túnel singelo.

A interferência ocorre sobre duas condições peculiares, sendo um delas o ponto de mais baixa cobertura no túnel singelo. Associado a esta condição, detectou-se que, neste ponto, os depósitos aluvionares apresentam maior espessura. A maior profundida, visível nas ilustrações em questão, detectada na campanha de investigação, está associada a antiga calha do córrego, anterior a sua canalização.

A interceptação dos solos aluvionares foi registrada por meio do mapeamento de frente de escavação (Figura 16). As escavações prosseguiram sob influência das areias aluvionares em

boas condições de estabilidade, com a atuação do rebaixamento interno. A interceptação e deu nas escavações da cambota 223.

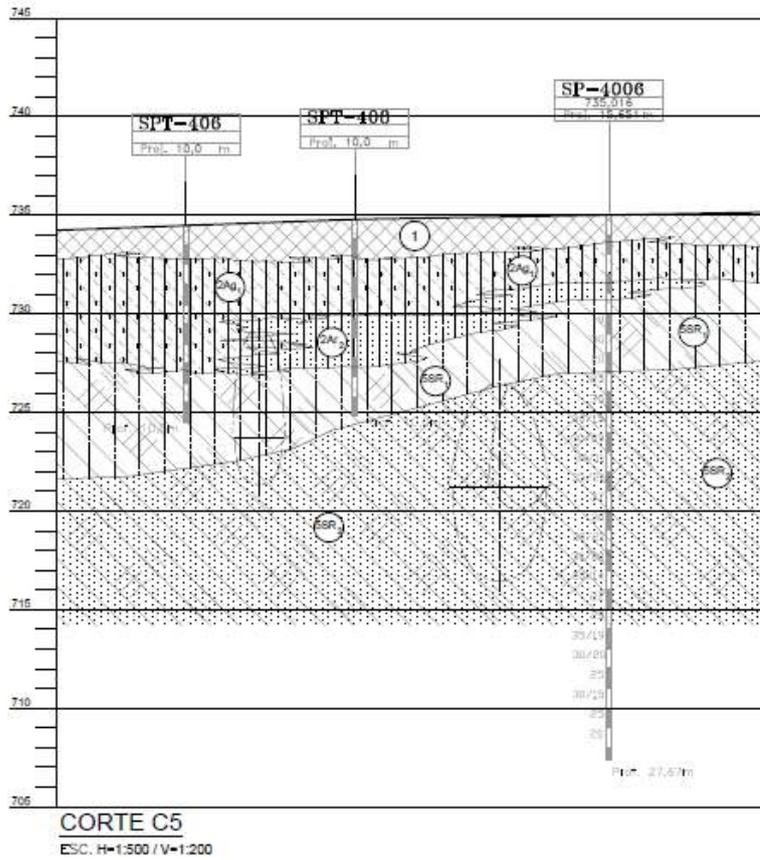


Figura 15 - Seção Transversal indicando a Interferência dos Solos Aluvionares sobre a Seção de Escavação do túnel singelo.

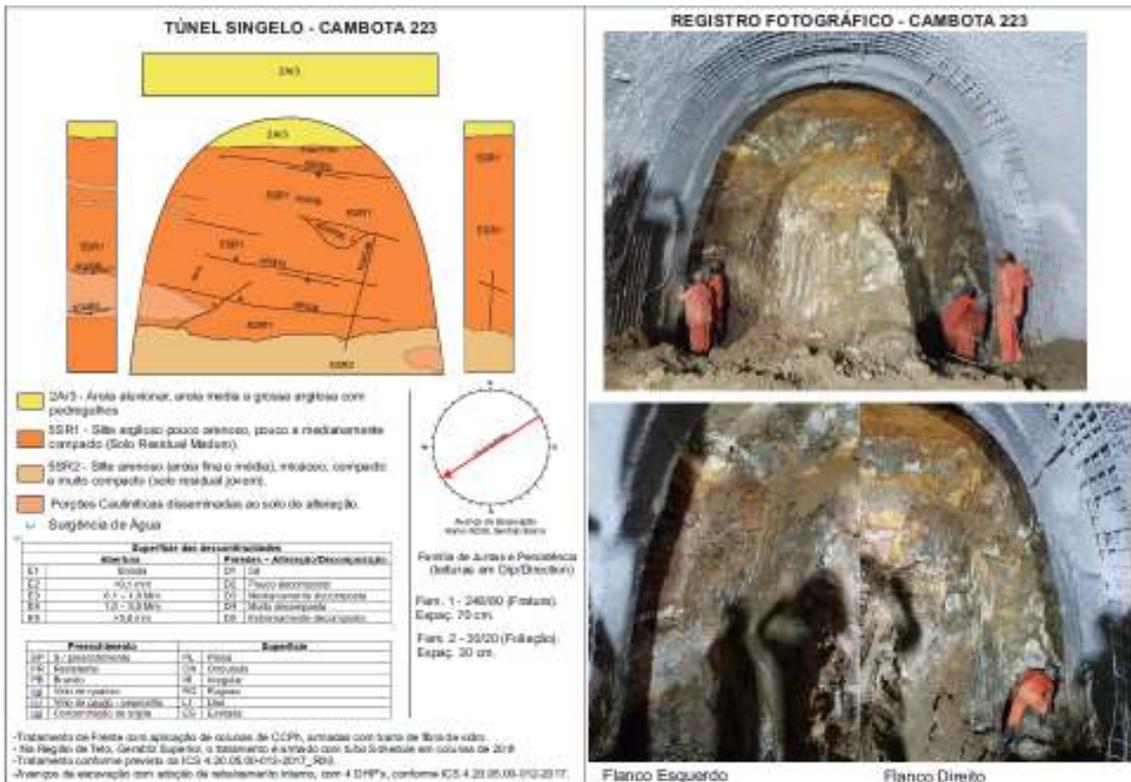


Figura 16 - Mapeamento Geológico da Frente, Cambota 223, com Interferência das Areias Aluvionares na Geratriz Superior da Seção de Escavação.

### 3.1.3. Controle de recalques e análise da instrumentação.

Os recalques neste imóvel ocorreram durante a escavação do Túnel de Ligação e Túnel Singelo devido à execução dos tratamentos CCPHs.

Observa-se que na Seção 2.0+60 os marcos superficiais subiram MS-04: 24,19 cm e o MS-03: 1,04 cm. Mostrando-se muito maior do que o esperado.

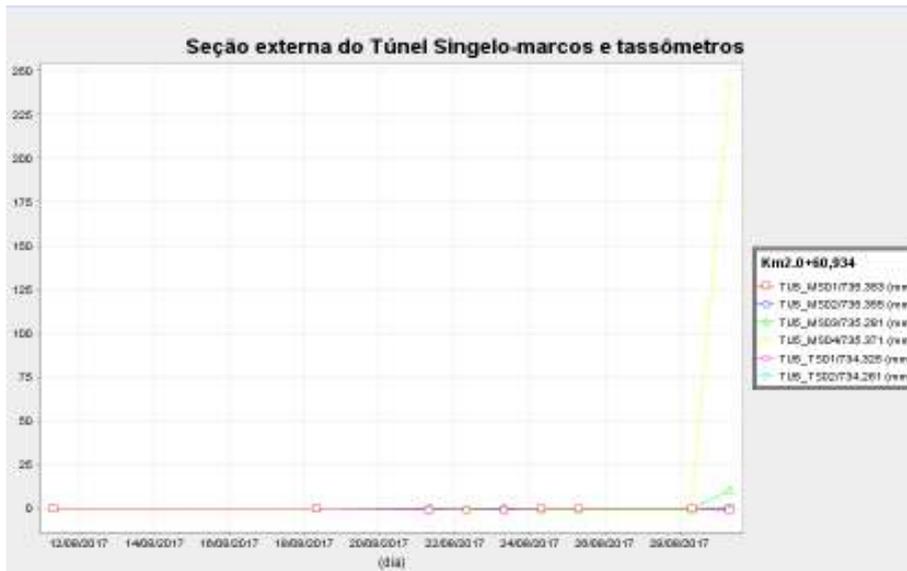


Figura 17 - Gráfico Seção de Instrumentação KM 2.0+60,934

A seção anterior de instrumentação (Figura 18) apresenta recalques acumulados de até 25 mm desde sua instalação e representa a condição normal esperada para o andamento dos condicionamentos e escavação do túnel.

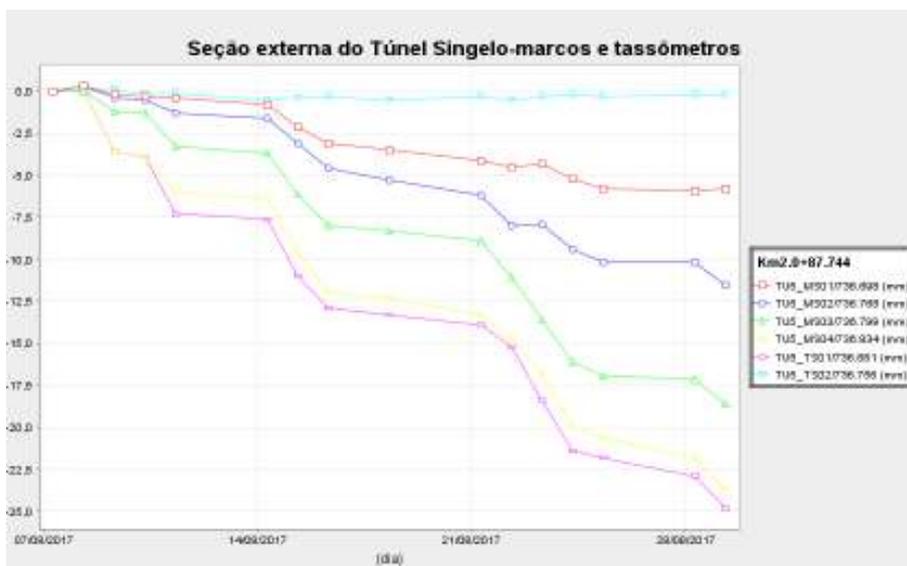


Figura 18 - Gráfico Seção de Instrumentação KM 2.0+87,744

Após a implementação de nova configuração de tratamentos verificam-se menos recalques conforme observamos nas figuras 19 e 20 destacadas abaixo.

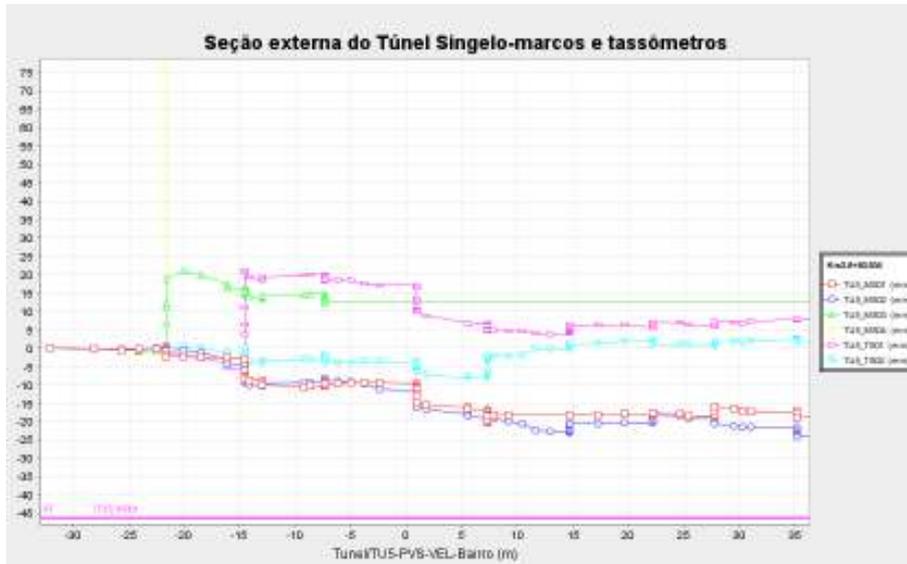


Figura 19 - Instrumentação Seção 2.0+60,934 Avanços x Recalques



Figura 20 - Seção 2.0+40,934 (Região Baixa Cobertura)

Observa-se também no gráfico 3 – Recalques X Avanços que durante a injeção de calda de cimento ocorrem recalques acumulados, mas controlados conforme procedimento do processo de tratamento.

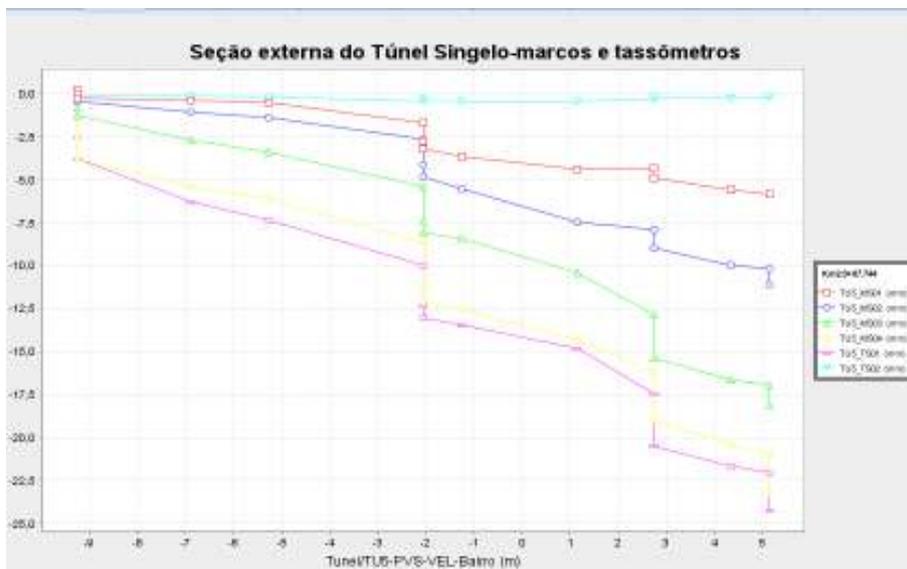
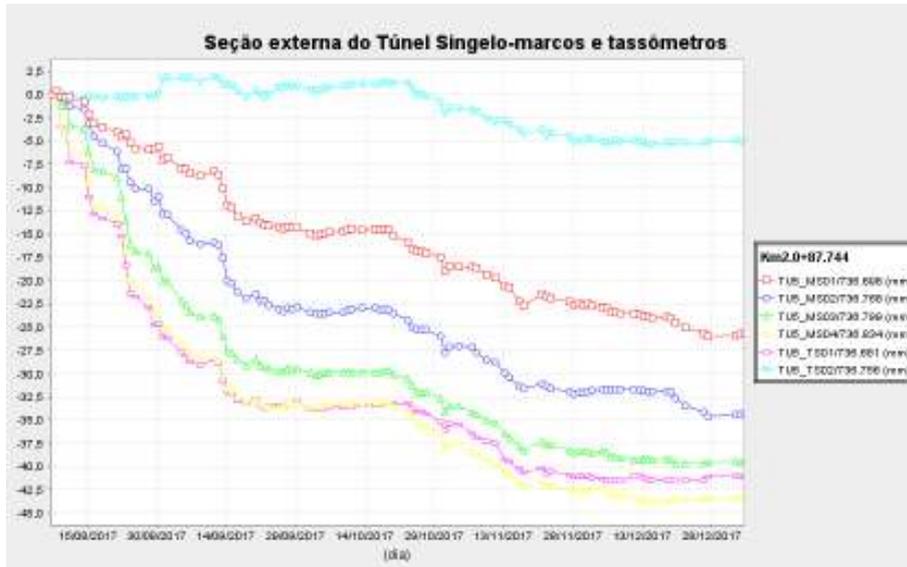


Figura 21 - Gráfico Seção de Instrumentação KM 2.0+87,744 (Recalques x Avanço)



Figura 22 - Vazamentos CCPH na região de baixa cobertura isolada

#### 3.1.4. Tratamentos na região de baixa cobertura

Na região de baixa cobertura devido o comportamento das colunas especificadas em projetos observado durante a execução houve a necessidade de alteração do modelo especificado, minimizando assim os recalques devido à escavação.

Ao invés de somente colunas CCPH f 50 cm no tratamento de contorno como preconizado em projeto foram utilizadas colunas CCPH f 50 cm alternadas com colunas CCPH  $\varnothing$  20 cm com a inclusão de tubo schedule 40 – 2 ½” no tratamento de contorno a fim de diminuir a pressão deste robusto tratamento.

Para o tratamento de frente foram utilizadas colunas CCPH de f 30 cm com 4 barras de fibra de vidro cada.

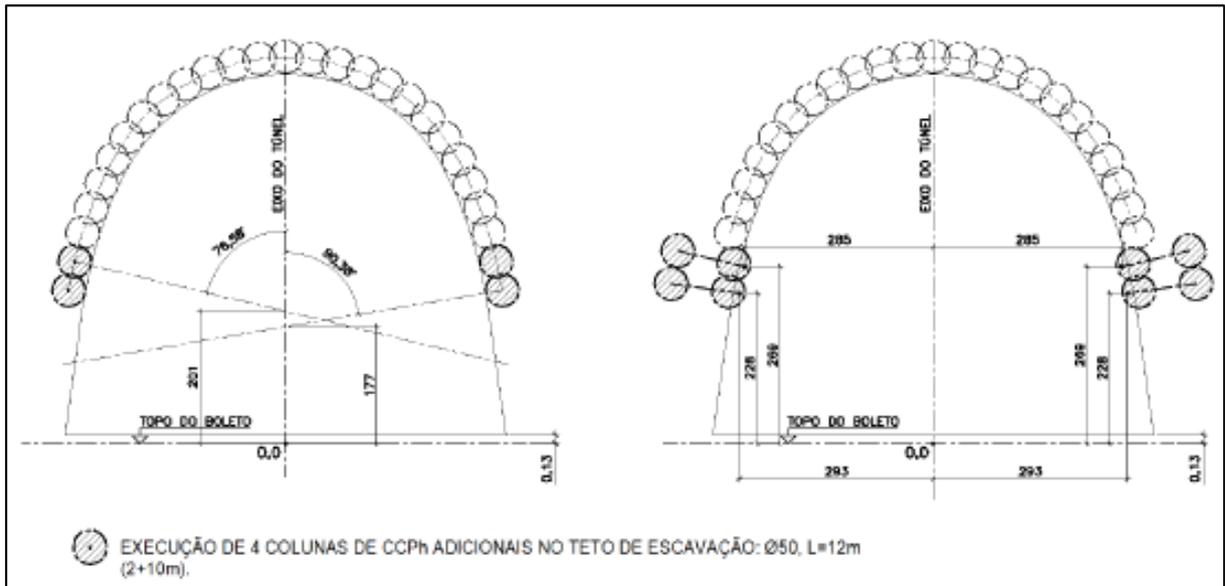


Figura 23- Tratamento de teto executado fora da área de baixa cobertura

O novo tratamento possibilitou uma redução na quantidade de calda de injeção devido à diminuição do diâmetro das colunas CCP-h além de melhoria no suporte com a colocação de tubos schedule. Desta forma otimizou-se o efeito longitudinal e obteve-se menor arqueamento da seção.

Após a ocorrência, houve consenso entre fiscalização e ATO os quais, considerando a situação de baixa cobertura, proporião uma mudança do método construtivo. As colunas seriam mais próximas entre si, com execução mais espaçada e diminuição de sua espessura e pressão de execução. As escavações prosseguiram com cambotas espaçadas em 0,6 metro. Desta forma foi possível mitigar a ocorrência de soerguimento do terreno e vazamento de calda.

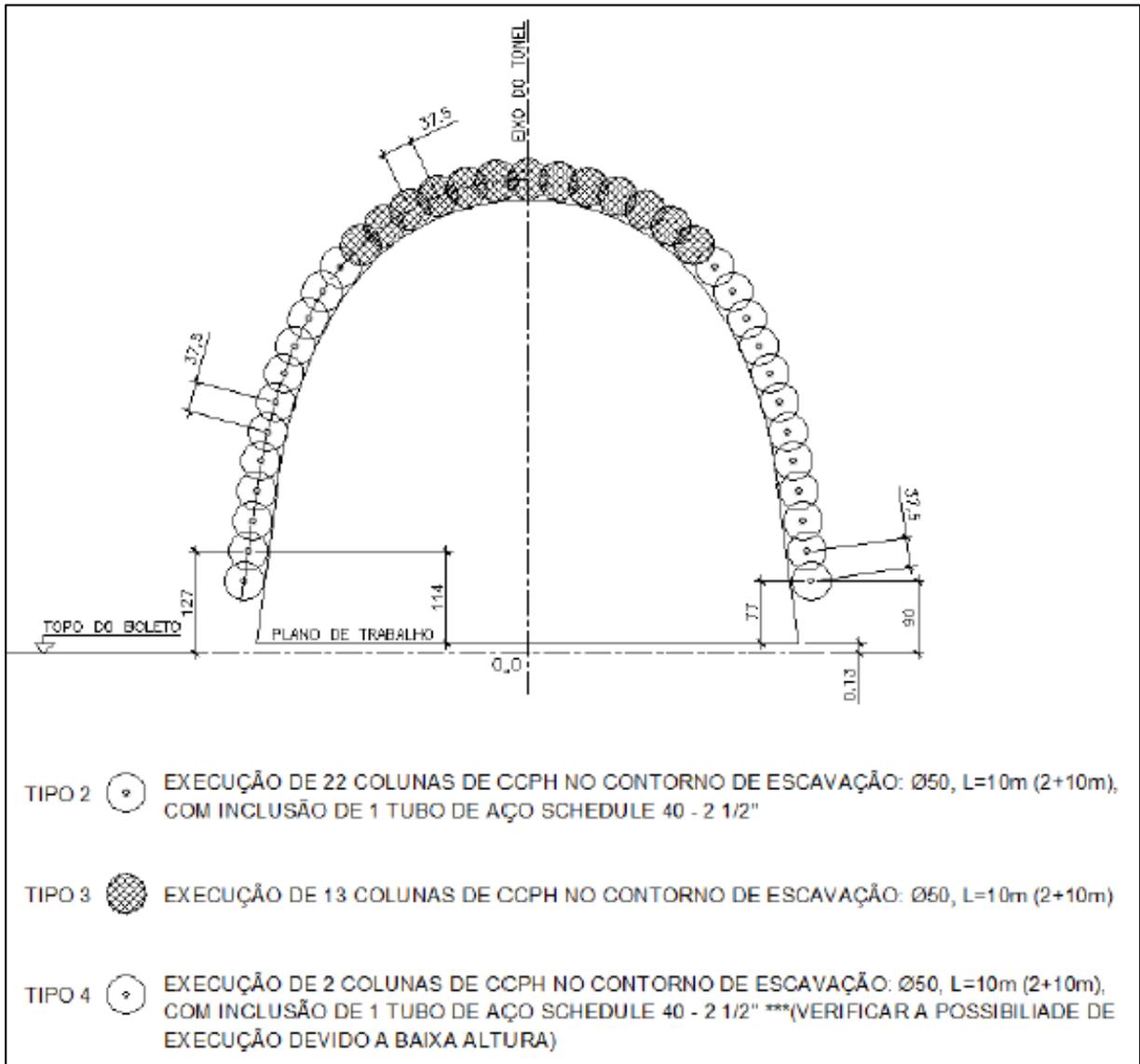


Figura 24 - Tratamento de teto a partir CB. 303

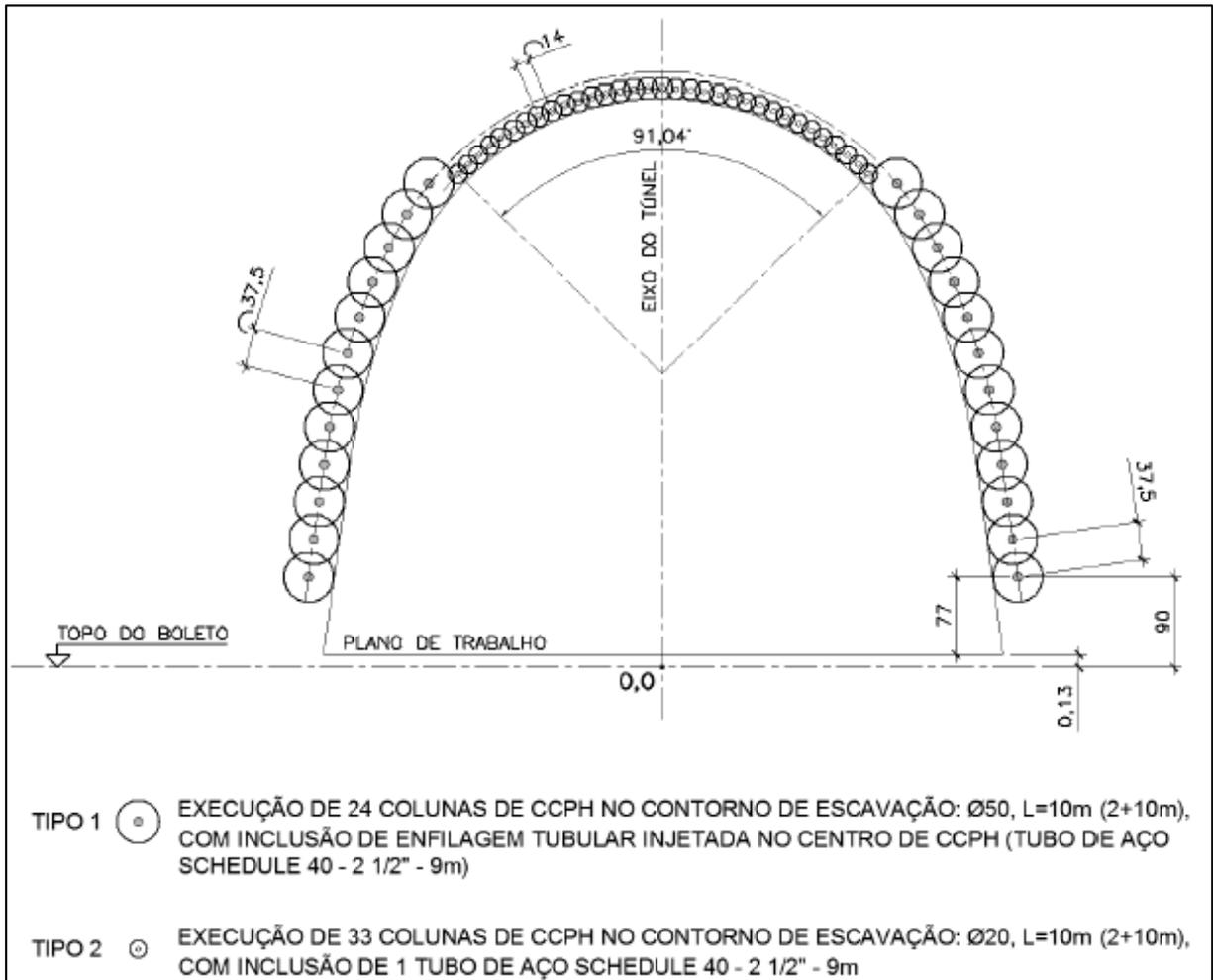


Figura 25 - Tratamento de teto a partir CB. 294

## CONCLUSÕES

A atuação conjunta entre as equipes de fiscalização do Metrô e ATO, analisando avanços de escavação, método construtivo, soluções previstas em projeto ou adotadas em obras, foram fundamentais para obter êxito nas escavações do túnel singular, até o momento.

O acompanhamento revelou a situação de baixa cobertura não prevista em projeto e a maior interferência dos solos aluvionares. Ainda, em função do acompanhamento junto as escavações, foi possível definir soluções associadas ao tipo de tratamento aplicado.

As escavações revelaram-se estáveis, mesmo quando sob interferência dos solos aluvionares e o tratamento perfeitamente adequado ao tipo de seção e de material escavado.

As instrumentações foram fundamentais ao acompanhamento das obras, possibilitando atuar quando necessário, provocando maior controle do método construtivo para mitigar riscos aos imóveis lindeiros e a própria escavação.

Dentro dos riscos implícitos as escavações do túnel singelo se relacionam a baixa cobertura, interferência dos solos moles e planície aluvionar do córrego Itararé e, principalmente, a travessia do próprio córrego. A campanha de investigação realizada já na fase de escavações permitiu delinear com maior rigor a planície aluvionar e sua interferência com a seção do túnel singelo. Bem como a detecção previa da perda de cobertura, já durante a fase de escavações, a qual não era ostentada em projeto, corroborou para a tomada de decisões e mudanças do método construtivo.

A detecção previa destes riscos e as análises para melhor conhecê-los, foi de fundamental importância para a atuação da fiscalização e do ATO junto ao consórcio construtor, agindo de maneira a propor soluções mitigadoras dos riscos intrínsecos a própria escavação e aos imóveis e entorno lindeiro. O acompanhamento sistemático das escavações, instrumentações e campanhas de tratamento corroboraram para o controle de todo o processo de produção, sempre em função da mitigação dos riscos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Humes, C. & Kochen R - “Propriedades de Colunas Jet Grouting Obtidas a Partir de Campos de Prova”, 2º Seminário de engenharia de Fundações Especiais (SEFE), São Paulo, Brasil, 1991.

- DE Mello, V.; Boscov, P. & Campanhã C.- Túneis em Terrenos Pouco Consistentes. Manual Técnico. São Paulo: CBPO, 1998.

Reis, M & Perez, R. O. Rafael & Rusilo, Luiz Carlos - Alguns Conceitos Técnicos para Escavação de Túneis por NATM - New Austrian Tunneling Method - Empregados na Extensão da Linha 2 Verde do Metrô de São Paulo., 2006.

Murakami, Claudio A. – Noções Básicas para o Acompanhamento Técnico de Obras de Túneis, 2001