

A CONSTRUÇÃO DE DOIS TÚNEIS DO METRÔ – RJ SOB EDIFÍCIO DE 7 ANDARES EM COPACABANA - UM DESAFIO À ENGENHARIA DE TÚNEIS

Autores

Giorgio Guatteri¹; José Ricardo Lopes²; Clóvis Primo³; Vera Maria Brautigam⁴; Luis Eduardo Sózio⁵; Akira Koshima⁶ & Luiz Guilherme de Mello⁷

RESUMO:

O Metrô do Rio de Janeiro está estendendo em 750m a linha 1, da Estação Cardeal Arcoverde ao coração de Copacabana, com a construção da Estação Siqueira Campos e Zonas de Manobras. As obras subterrâneas em dois túneis independentes, porém justapostos, cruzam rochas e solo arenoso de grande complexidade hidro-geológica e atravessam uma área densamente povoada.

Um dos maiores desafios foi a passagem dos túneis em NATM, previamente tratado com jet grouting horizontal, conformando uma câmara cônica, em 360°, em torno da seção de escavação, com um septo horizontal em cada módulo de avanço, com cobertura da ordem de 6m sob as fundações diretas de um edifício cinquentenário, de 7 andares, em fundação direta, apoiando no sedimento arenoso (areia de praia). A obra nesse trecho foi concluída com sucesso absoluto, dentro das expectativas iniciais do projeto, sendo de aplicação fundamental o “preventer” no tratamento do maciço.

ABSTRACT:

The Rio de Janeiro’s Metro is building a 750m extension of Line 1, from Cardeal Arcoverde Station to the heart of Copacabana, district with the implementation of Siqueira Campos Station and train parking tunnel. The underground project, which includes the execution of two single interconnected tunnels, crosses a great variation of hydro-geological stratas, from sound rock to sandy soils, and has been performed in a highly dense populated area.

One of the major tasks was to drive the tunnels, performed with the NATM system, with an 6.0m thick overburden underneath a fifty years old seven storey building with direct foundations placed on a layer of beach sand. The tunnel was performed by means of horizontal jet grouting treatment, forming a 360° conical chamber around the excavation section, and with a jet grouted horizontal bulkhead for each stage of excavation. The project was successfully completed within the original expectations foreseen at design stage, being fundamental for the final result, the application of the “preventer” during the consolidation treatment.

PALAVRAS CHAVES: Túnel em sedimento arenoso saturado, câmara em CCPH em 360° com septo e travessia sob edifícios

INTRODUÇÃO

Notadamente na execução de túneis em solos difíceis, o jet grouting horizontal, tipo CCPH, tem tido ampla aplicação. No Brasil, desde sua primeira aplicação em 1987, tem se mostrado bastante versátil e tem sido adotado freqüentemente nas obras onde a segurança não pode ser relegada ou nos locais onde a adoção de outras técnicas se mostra inviável. Se aplica ao tratamento de maciços cujas características geomecânicas não oferecem estabilidade para a escavação do túnel, o que pode ocorrer tanto em solos arenosos, siltosos, argilosos ou combinação destes, e esteja ou não em presença de água. Está normalmente associado à execução de túneis em NATM e as colunas devem estar dispostas lado a lado de modo a formar um pré-revestimento que acompanha externamente a seção de escavação.

Por sua localização, características geológicas, presença de água no maciço e, sendo constituído por dois túneis justapostos com diâmetro de 6,0 metros, as obras de expansão do Metropolitano do Rio de Janeiro, na região de Copacabana tem exigido a adoção de técnicas já conhecidas porém de forma inovadora. No que se refere ao CCPH, a diversidade da matriz geológica que compõe a seção de escavação exigiu a elaboração de projetos distintos. As seções típicas podem ser assim distinguidas:

1 - Diretor presidente – Novatecna S/A

2 - Engenheiro – Novatecna S/A

3 - Gerente contrato – Construtora Andrade Gutierrez S/A

4 – Engenheira - RioTrilhos (Metrô RJ)

5 – Engenheiro – Promom Engenharia S/A

6 - Gerente técnico – Novatecna S/A

7 – Consultor – Vecttor Engenharia S/C Ltda.

- seção de escavação com o terço inferior em rocha gnáissica e o restante em solo residual
- seção de escavação totalmente em solo residual (SPT 30 a 50 golpes), com presença de edificações
- seção de escavação em solo sedimentar marinho arenoso com presença de lentes de argila sob edificações, ruas e avenidas.

OS PROJETOS EM CCPH

Foram dois os projetos em CCPH executados. Um deles visava principalmente a proteção da abóbada e as laterais da escavação (figura 1), enquanto o outro beneficia o solo em toda sua envoltória (360°) formando câmaras cilíndricas vedadas, uma vez que previu a execução de um septo à frente (figura 2). São eles:

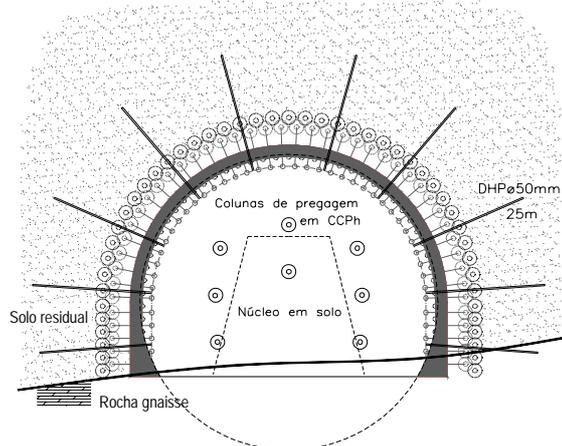


Fig. 1-Projeto para proteção de abóbada e laterais-Corte transversal-Frente 1

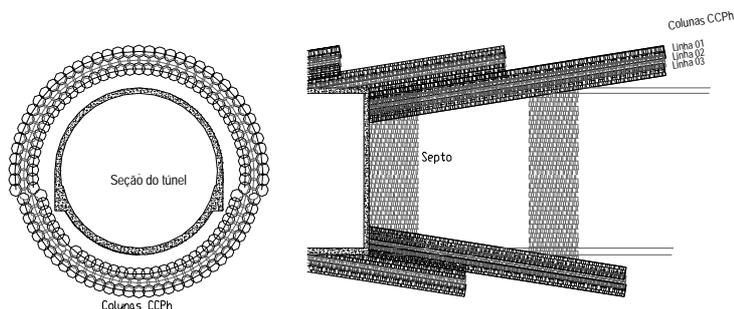


Fig. 2 – Envoltória em 360 graus. O corte longitudinal mostra o septo.

Proteção da abóbada e laterais:

Foi adotado no trecho onde a escavação do túnel encontrava a rocha no terço inferior da seção. Sendo desnecessária a melhoria das características do maciço nesta região, somente a abóbada e as laterais do túnel foram tratados. O projeto previu dois arcos concêntricos, cada um composto por colunas com 12,0 metros de comprimento e diâmetro nominal de 0,30 metros. Foram executados em uma extensão de aproximadamente 72,0 metros em cada uma das vias da Frente 1 (partindo da Estação Cardeal Arcoverde no sentido Estação Siqueira Campos). Cada avanço de 7,20 metros por lance correspondeu à colocação de 9 cambotas e uma extensão de 4,8m ficou preservada, oferecendo a proteção necessária para o lance subsequente.

Proteção em câmaras cilíndricas com septo:

Constituído por 3 arcos de colunas secantes e concêntricos, cada um composto por colunas de diâmetro nominal de 0,50m e 12,0 metros de comprimento na parte superior, 10,5 metros na parte inferior mais um septo com 2,0 metros de espessura, executados 6,4 metros à frente em toda seção. Permitiu avanços correspondentes à colocação de 8 cambotas (6,4 metros).

Este último foi adotado em 3 trechos de diferentes características geológicas. Foram estes os fatores considerados:

Frente 1 (PP110 a PP140):

Após os 72,0 metros de túnel em direção à Frente 2 (partindo da Siqueira Campos no sentido Cardeal Arcoverde), devido à geomorfia local, houve uma redução para cerca de 6,0 metros da espessura de cobertura existente acima dos túneis, juntamente com um mergulho do peito de rocha que acompanhava horizontalmente a seção do túnel no seu terço inferior. Este mergulho de rocha levou consigo a camada de solo residual jovem, substituindo-o por um residual maduro com significativa piora em suas características geomecânicas, concomitante à passagem sob um edifício de 7 pavimentos em fundação direta. A condição do solo na parte inferior permitiu, mesmo sob a edificação, uma redução no tratamento conforme mostra a figura 3. Também as características mais adequadas do maciço na região dos PP130, P140 e PP150, permitiu a eliminação de linhas de tratamento no arco superior e inferior (fig. 3).

Frente 2 e Frente 4:

A Frente 2 teve seu emboque pelo shaft (Ø 15,0m) escavado em um dos extremos da estação Siqueira Campos e seguiu ao encontro da Frente 1 como mostra a figura 3. A Frente 4, no outro extremo da estação (travessia sob Av. Figueiredo de Magalhães e sob edifício de 11 pavimentos), teve seu emboque por um shaft de igual diâmetro e sentido Ipanema. Ambos emboques confirmaram as sondagens; as seções estavam em solo sedimentar marinho constituído por areias de granulometria variada altamente permeável e também por sedimentos argilosos orgânicos marinhos. O lençol freático estava em uma cota próxima à superfície e no caso da Frente 4 existia uma camada de argila marinha, próximo à geratriz superior, que aumentava de espessura até invadir totalmente a metade superior da seção já no último lance de tratamento. Na Frente 2 o emboque encontrou uma camada de argila marinha no terço inferior da seção. Ambas frentes passaram sob avenidas de fluxo intenso e edificações. Os tratamentos próximos ao encontro com a Frente 1, PP180 e PP170, foram reduzidos devido às boas características do maciço, conforme mostra a figura 3.

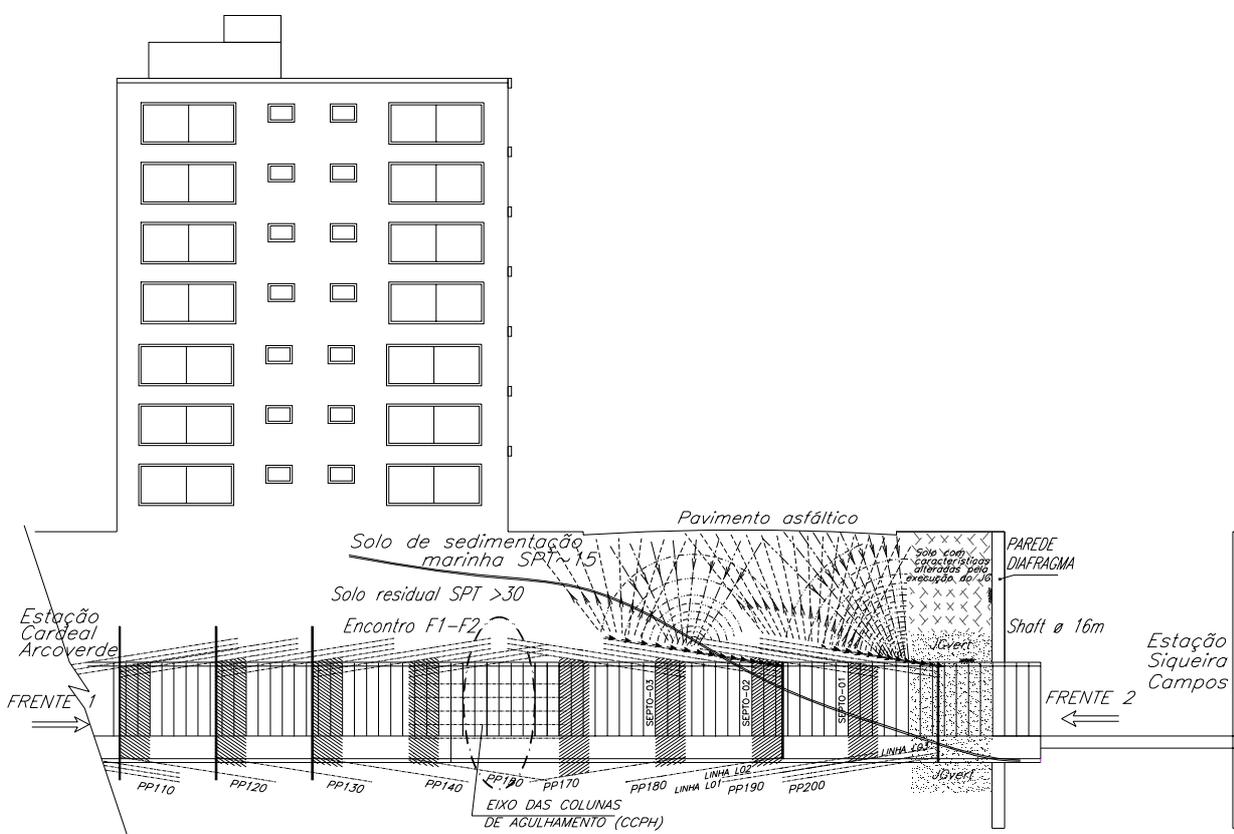


Fig. 3 – Corte longitudinal Frente 1 e Frente 2.

DRENAGEM SUB-HORIZONTAL

Os drenos empregados foram do tipo micro-ranhurado (Ø50mm), introduzidos no solo após a perfuração nos comprimentos especificados. Após executados, a eficiência foi melhorada com a conexão de uma bomba de vácuo. Nos solos residuais com tratamento apenas na envoltória, foram executados drenos exteriores à seção a ser escavada, com abertura superior ao tratamento e profundidade de 25,0m (fig. 1). Nos trechos de tratamento em câmara fechada, foram adotados drenos curtos que não ultrapassaram o septo. Serviram como elementos de verificação da estanqueidade da câmara e seus volumes mostraram a qualidade do tratamento. Nas frentes em câmara em solos residuais não foi constatada a presença de água no interior da câmara e, nos solos sedimentares a drenagem não revelou volumes significativos.

MONITORAMENTO DOS RECALQUES

O monitoramento do maciço, pavimentos, interferências e edificações foi objeto de um detalhado estudo realizado pela Projetista. O imediato comportamento do maciço frente os serviços mostrou-se fundamental. Uma equipe, *pari passu* à

execução do tratamento, efetuou leituras durante a execução das colunas. Uma outra, a cada 8 horas, informou o comportamento cumulativo do conjunto de colunas executadas no período. As orientações executivas eram, eventualmente, revistas e ajustadas. Ao fim deste documento estão anexados uma planta (fig. 6) e um gráfico (fig. 7) mostrando o comportamento de alguns pontos.

Tipos:

Para monitorar o comportamento do maciço durante a execução dos tratamentos e escavação, foram adotados: marcos superficiais, pinos e tassômetros.

Disposição

Os pinos colocados nos pilares monitoraram as movimentações ocorridas nas fundações dos edifícios. Os marcos superficiais foram colocados nos passeios, pisos interiores às edificações e nos pavimentos (abaixo do asfalto em 50cm). Os tassômetros, com profundidades de até 2,5 metros ficaram dispostos, quando possível, no eixo do túnel e nas projeções de suas laterais, em linhas distanciadas de aproximadamente 5,0 metros ao longo deste eixo. Alguns deles puderam ser instalados internamente às edificações.

COMPORTAMENTO DO MACIÇO E ESTRUTURAS DIANTE DO TRATAMENTO

É de fundamental importância que os cuidados operacionais durante a execução do CCPH assegurem que o maciço sofra poucos efeitos. Como pode-se observar, a execução inadequada do CCPH pode, ou induzir tensões provocando elevações ou provocar um desconfinamento e remoção de matéria, provocando recalques. Sempre que o maciço sofre movimentações, ele carrega consigo todas as estruturas próximas ou que estejam nele apoiados, inclusive edificações. No presente caso, estes possuem fundação direta impondo pouca resistência às movimentações do maciço onde se apoiam. Especial enfoque é dado aos cuidados operacionais necessários para a boa execução do CCPH, para que edifícios e estruturas possam ser preservados, como efetivamente foram, e como as diferentes geologias influíram na metodologia executiva, desde a perfuração até a injeção.

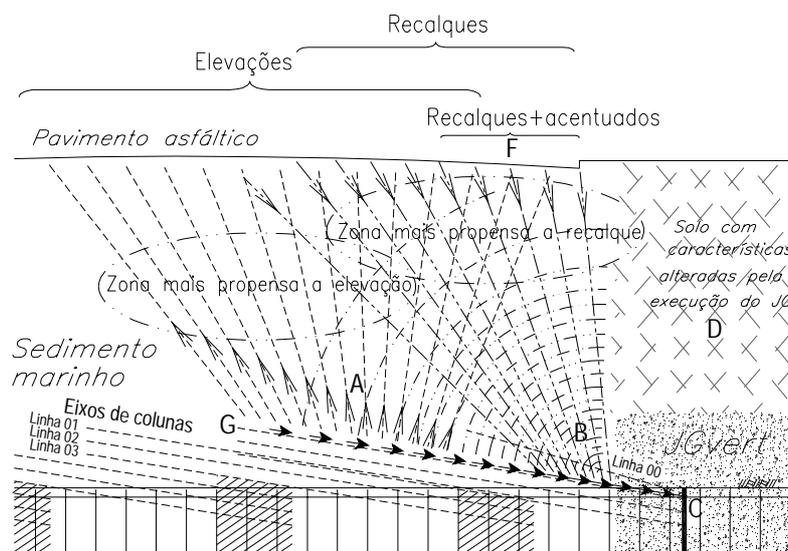


Fig. 4 - Efeitos no maciço decorrentes de uma coluna CCPH - primeiro lance.

Perfuração:

É o primeiro contato com o maciço permitindo a análise e classificação do solo pois somente água é utilizada para a limpeza e o arrefecimento da ferramenta de corte que vai à frente (tricone). As particularidades do maciço exigiram a utilização de uma válvula para controle de saída de material decorrente da perfuração e injeção. Denominada *preventer* (abreviação de *blow up preventer*) é similar a um dispositivo que, em perfurações de poços de petróleo, é utilizado para evitar fuga de gases e explosões. Um registro permite o controle de vazão do material expulso durante toda a execução da coluna (perfuração e injeção) e o domínio da boa técnica executiva passa pelo seu adequado manuseio. Na figura 4, o *preventer* é encaixado na perfuração do projetado (C).

Execução do CCPH em sedimento arenoso:

Solos não coesivos e não compactos em maciços com lençol freático elevado quando submetidos a tratamento com CCPH tendem ao recalque. O primeiro lance de tratamento, imediatamente após o tratamento vertical em JG é o mais sensível pois a distribuição da perda de material durante a perfuração fica localizada junto à parede em JG.

A figura 4 detalha o primeiro lance de tratamento em CCPH. Concluída a perfuração, o excedente de calda de cimento injetada tem de sair pela perfuração no projetado (C). A desagregação do solo ao longo da haste dificulta a saída de refluxo e, tende a manter um excedente de calda no solo traduzindo-se em uma pressão induzida. Esta, quando não é suficiente para restabelecer a saída do refluxo pelo projetado e supera a resistência do maciço, inicia um levantamento. Manobras devem ser efetuadas para restabelecer a saída do refluxo. Já na região próxima ao ponto de perfuração no

projetado (B), o material tende a escoar sob influência da água do lençol freático. Se este solo não coesivo estiver com o lençol freático muito acima, esta fuga poderá ser descontrolada provocando um recalque na superfície. Na figura 4, o tratamento do emboque do túnel com JG alterou as características do maciço (D) e concentrou a região de perda de material traduzindo-se em um recalque mais acentuado (F). O fechamento da válvula preventer (em C) impede que haja um descontrole na saída de material do maciço e sua abertura evita que sejam induzidas tensões no maciço decorrentes da retenção excessiva de refluxo. A busca da igualdade “material introduzido = material expelido” permite que o maciço sofra menos intensamente os efeitos do tratamento. Esta igualdade por si só não é suficiente se ela não estiver bem distribuída ao longo de toda a coluna. A instrumentação *pari passu* se mostra de fundamental importância pois revela o comportamento do maciço face aos procedimentos operacionais adotados. Com a prática, a sensibilidade melhora e os resultados se revelam nas leituras. É claro que as colunas superiores, mais inclinadas em relação à horizontal são as que exigem maiores cuidados. À medida que se percorre a lateral em direção à geratriz inferior, as inclinações vão diminuindo e a fuga de material tende a ser menor. As respostas na superfície são afetadas em função de vários fatores: profundidade do túnel, comprimento de perfuração, parâmetros adotados, constituição do maciço e abertura do tratamento são dignos de menção.

A figura 5 detalha os tratamentos subsequentes, que devem ser analisados sob outra ótica. Nestes, o anteparo formado pelo JG vertical deixa de existir, sendo substituído por uma proteção subhorizontal e, desta forma, a dissipação dos efeitos sobre o maciço foi mais ampla e manifestando-se com números mais modestos nas leituras. O comprimento de coluna exposta é bem inferior ao primeiro lance e há portanto uma maior proximidade dos efeitos das regiões A e B permitindo que o equilíbrio “material introduzido = material expelido” seja alcançado. O ponto de saída de material do maciço (B) está mais a montante e portanto não haverá um gradiente hidráulico tão significativo em C.

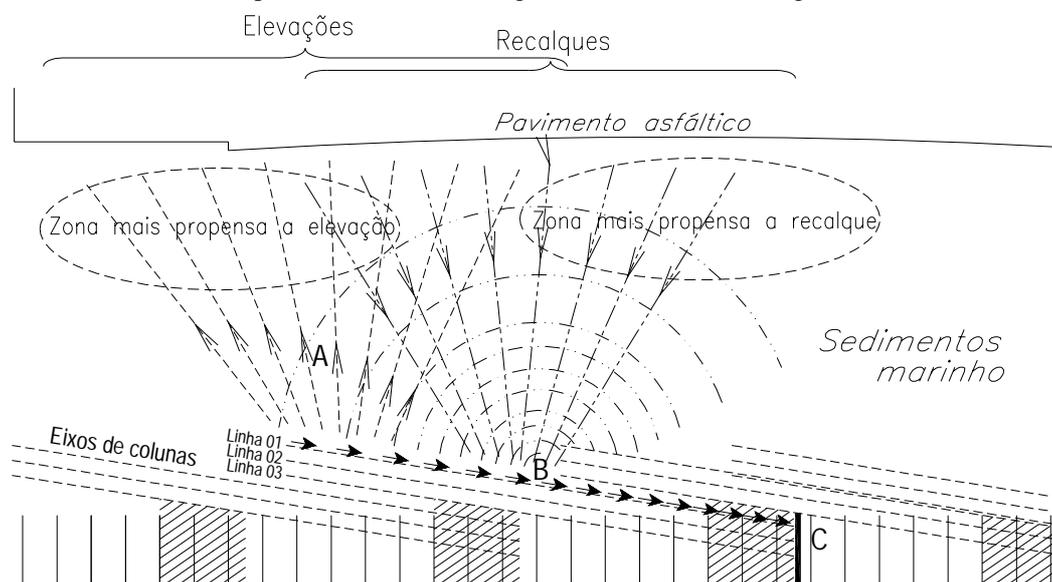


Fig. 5 – Efeitos no maciço decorrentes de uma coluna CCPH - lances subsequentes.

Também a distância entre A e B é menor, sobrepondo a influência de elevações e recalques, ajudando a interação e minimização destes efeitos que se contrapõem. Por outro lado, a distância entre B e C é maior, tendo efeito distinto quando a perfuração dá-se em solo arenoso ou argiloso. Neste último, o incremento do comprimento BC exige um maior esforço para expulsão de refluxo. Isto pode induzir tensões no maciço que superam a tensão de indução a elevações; faz-se necessária a adoção de perfurações com maior diâmetro e mudança nos procedimentos operacionais. Já nos pontos onde a perfuração encontra solo arenoso, o incremento do comprimento BC representa um controle mais fácil pois o aumento na perda de carga do “duto” de perfuração ajuda a quebrar o gradiente hidráulico em C; como se sabe, para solos arenosos um gradiente hidráulico elevado exige um cuidado especial para não induzir a perdas excessivas de material e *piping*.

Execução do CCPH em sedimento argiloso:

Solos coesivos, como argilas orgânicas marinhas, sob influência de um tratamento com CCPH tendem a apresentar elevações. Este comportamento é decorrente da dificuldade de expulsar o solo desagregado durante a perfuração e injeção. As argilas se decompõem em nódulos de tamanhos proporcionais à coesão e quando atingem dimensões superiores ao espaço anelar (furo e haste) aberto pelo tricone, representam uma barreira para a saída do refluxo. Se a pressão induzida por esta retenção superar a capacidade de resistência, haverá clacagem. É de fundamental importância o domínio da técnica para evitar que estruturas vizinhas sejam prejudicadas pois este fenômeno pode se propagar por muitos metros. Durante a escavação pôde-se observar o comportamento do solo argiloso sob efeito de tensão induzida: há lentes de calda de cimento da ordem de alguns milímetros entremeada por camada de argila revelando o sentido de deposição das partículas ou então o plano de menor resistência. Várias colunas podem ser executadas sem que isto ocorra. Se, em um determinado momento, a pressão induzida superar o limite de resistência do maciço, dando início ao processo, é aconselhável a paralisação do trabalho por algumas horas, permitindo que o solo-cimento inicie a pega e interrompa o processo cumulativo. Ainda que cada coluna contribua com poucos milímetros (1mm a 3mm), a continuidade do processo poderá ter efeitos danosos. É interessante notar que a reologia deste fenômeno é lenta e os efeitos demoram a se manifestar totalmente na superfície ou

estruturas (entre outros, profundidade, características do solo, volume de tratamento, parâmetros de execução de colunas, são fatores que influem).

Na Frente 4, o solo argiloso presente no maciço não constituía sua principal matriz. De início, era uma camada horizontal de 50cm, quase tangente à geratriz superior e, ao longo dos 25,2m de tratamento, “invadiu” a metade da seção e atingiu 3,0 metros de espessura (50% da seção). Em vista da forma como as colunas são posicionadas, muitas delas iniciavam a perfuração em argila e após alguns metros atingiam o solo de sedimentos não coesivo (areia). Exigiram cuidados adicionais e procedimentos que ora atendiam a solos arenosos e ora atendiam a solos argilosos. Alterou-se a seqüência executiva visando minimizar os efeitos sobre o maciço; executou-se colunas nos pontos arenosos em revezamento aos pontos argilosos, permitindo um “descanso” do maciço.

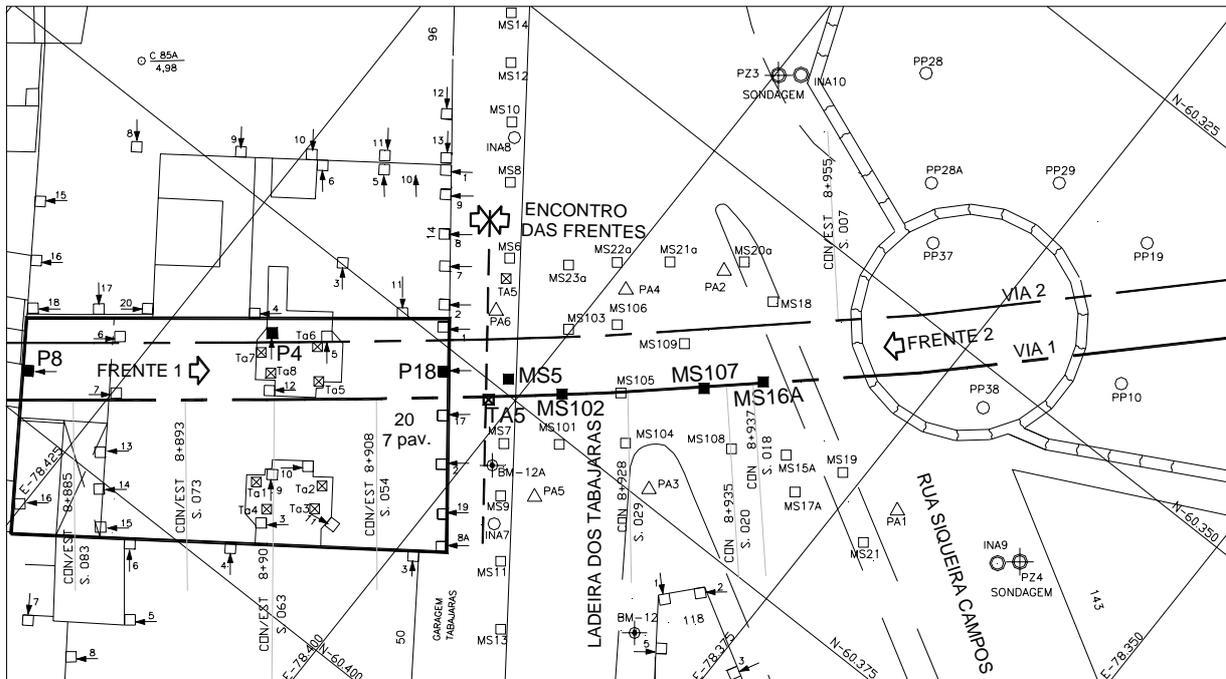


Fig. 6 - Planta da instrumentação na região do encontro das frentes 1, 2.

Execução do CCPH em solos residuais:

Os trechos (Frente 1) em solo residual jovem (rocha matriz gnaiss) possuem SPT em torno de 50 golpes na seção do túnel e o residual maduro não inferior a 30 golpes. Estes solos se comportaram favoravelmente à execução do tratamento inclusive nos pontos de pouca cobertura. Sua elevada resistência e constituição não favorecem a clacagem. Também o produto de desagregação durante a perfuração e injeção é fluido não apresentando dificuldade para sua saída. A baixa permeabilidade contribuiu e os tratamentos não afetaram significativamente quaisquer dos elementos de monitoramento. Constatou-se que os benefícios alcançados com o tratamento neste tipo de solo, além de excelentes, não induziram nem recalques nem elevações.

Efeitos da sobreposição dos tratamentos sobre o maciço:

Deve-se considerar a sobreposição dos tratamentos e os números finais da instrumentação, parciais e acumulados. Os gráficos de recalques (figura 7) e a distribuição dos pontos de monitoramento (figura 6) permitiram concluir que os pontos, dispostos em planta, a uma distância igual ou superior à profundidade do tratamento pouca ou nenhuma influência sofreram. Os pontos efetivamente sofreram deslocamentos, pela ação de 2 lances contíguos de tratamento; a partir de então, os valores envolvidos foram pouco significativos. Esta importante constatação pode ser observada nos gráficos da figura 7. Outra observação de extrema importância explicitada nestes gráficos é a total ausência de alterações nas leituras durante as escavações, etapa que envolve grande parte dos riscos

Comportamento das estruturas:

As edificações acima do túnel no trecho em questão possuem fundação direta, inclusive o edifício com 7 pavimentos. Todos os tratamentos foram executados sem que houvesse nenhuma perturbação nestas edificações; mesmos nos lances onde a cobertura era pouco superior a 6 metros (com a extremidade das colunas a pouco mais de 4 metros das fundações).

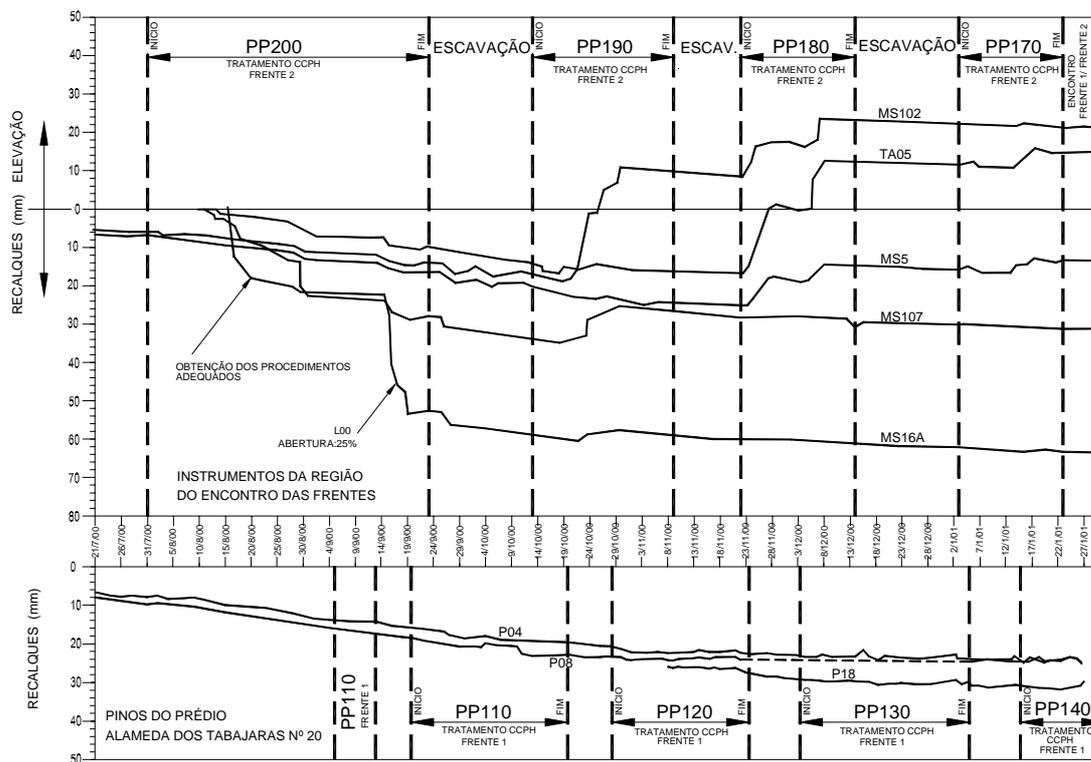


Fig. 7 – Gráfico dos recalques observados..

Exceção deve ser feita nos últimos lances de encontro da Frente 1 com Frente 2, indicada na figura 3. A intensidade e sobreposição dos efeitos dos tratamentos ocasionou uma pequena elevação (inferior a 3 mm). Este efeito porém foi dissipado em uma ampla área e as curvas de isorecalques não revelaram recalques diferenciais elevados.

REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

A execução do PP200:

Este primeiro lance da Frente 2 (figura 3), encontrou uma seção do maciço composta por sedimentos arenosos grosseiros na parte superior e argila marinha em uma pequena porção da parte inferior; a interface argila/sedimentos arenosos tinha uma inclinação de 45 graus e ocupava cerca de 1/4 da seção. Previa-se a possibilidade do rebaixamento porém, durante este tratamento, as condições do lençol freático não foram modificadas.

A execução das primeiras colunas mostrou perdas de material mas acreditou-se que o volume retido durante a injeção seria suficiente para repô-las pois os marcos superficiais na região F da figura 4 não revelavam recalques. O processo porém é complexo e o material arenoso expulso próximo ao ponto B, devido ao elevado gradiente hidráulico e ausência de coesão trouxe consigo as partículas da região em um efeito *piping*, impedindo a reposição adequada. O prosseguimento deste lance de tratamento foi ajustado. Alcançou-se o equilíbrio com aberturas menos frequentes do preventer. As colunas do septo, que estão mais protegidas pela envoltória foram facilmente executadas, bem como as da parte inferior da envoltória. As figuras 6 e 7 mostram o comportamento de alguns pontos de instrumentação durante a execução deste lance. A maior dificuldade aconteceu durante a execução da linha L00 (figura 4). Presente exclusivamente neste tratamento, esta linha possuía maior abertura para que a escavação das primeiras cambotas não expusesse o solo. A inclinação de 25% dificultou o controle de fuga de material e os procedimentos tiveram de ser revistos (vide comportamento do marco superficial ms16a, figuras 6 e 7).

A execução de poços de rebaixamento e seus benefícios:

Tecnicamente, os ajustes operacionais das colunas do PP200 atenderam ao projeto: as colunas se formaram perfeitamente, as resistências foram excelentes, a instrumentação revelou um domínio na técnica executiva sem dificuldades durante a escavação. O gradiente hidráulico exigia que o tamponamento das colunas tivesse que aguardar cerca de 50 minutos para que o solo-cimento pudesse iniciar a “pega” sem risco de expulsão de material. Visando a facilidade e conseqüente ganho de tempo, foram executados 6 poços de rebaixamento que proporcionaram um significativo abatimento no lençol freático, permitindo que os lances subsequentes pudessem ser executados com significativa redução no prazo. Esta experiência foi estendida à Frente 4 com os necessários ajustes, pois o maciço possui uma geologia distinta.

CONCLUSÃO

A adoção da solução de projeto com criação de uma câmara selada - CCPH em 360° com septo frontal - e o ajuste da solução de projeto no dia a dia pelo ATO, em estreita integração com a equipe da Construtora e Empresa especializada em tratamento de túneis, permitiu o ajuste fino do projeto às condições locais. A travessia dos dois túneis (Via1 e Via2) sob os edifícios (7 e 11 pavimentos) que representavam o grande desafio foi um absoluto sucesso. Os recalques na região das edificações (Frente 1 – PP 100 a PP 150) variaram entre 25mm e 30mm. Destes, os devido à drenagem e adensamento do maciço foram uniformes e da ordem de 20mm. O restante pode ser atribuído ao efeito de drenagem do próprio túnel e ao tratamento.

Nas condições geológicas expostas, com certeza, houve um emprego inovador da técnica CCPH. Sua execução permitiu que se pudesse conhecer ainda mais os complexos mecanismos de comportamento de maciços sob as mais diversas situações. Todos os modelos aqui mostrados só puderam ser criados depois da coleta, observação e análise detalhada da resposta do solo para cada tipo de procedimento adotado e eventuais procedimentos experimentais não incorporados na rotina, também foram muito valiosos para sugerir novos rumos. A instrumentação contínua durante a execução do CCPH mostrou-se de fundamental importância para ajustes na sequência, velocidade e procedimentos executivos. Seguramente, a busca de resultados foi fundamental e credenciam a utilização da técnica em futuros empreendimentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as seguintes entidades que tornaram possível preparar e publicar a presente matéria: Rio Trilhos; Construtora Andrade Gutierrez S.A.; Promom Engenharia S.A.; Vecttor Projetos S/C Ltda.; Tecnosolo Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais S.A.; Novatecna Consolidações e Construções S.A.

BIBLIOGRAFIA

Guatteri, G; Mosiici, P.; Doro Altan V.; Koshima A. (1998) – Brazilian Experience in Jet Grouting Treatments in Difficult Tunnels and Metropolises, Proceedings of The World Tunnel Congress 98, São Paulo, vol 2, 1021 a 1026.

Sowers G.B. , Sowers, G. F. (1972) – Introducción a La Mecánica de Suelos y Cimentaciones, 1972

Guatteri, G; Koshima, A.; Lopes, J.R.; Pieroni, M.R. (2002) - Jet Grouting Horizontal em 360° e Septo em Túnel em Areia sob o Rio Tamandatef - 4° TURB, São Paulo.