

CONCEPÇÃO E EXECUÇÃO DOS TRATAMENTOS DO TÚNEL 3 / 4, EMBOQUE SANTOS, DA NOVA PISTA DA RODOVIA DOS IMIGRANTES – PISTA DESCENDENTE.

Giorgio Guatteri¹; Rogério Martinati²; Luís Augusto da Silva Moreira³; Akira Koshima⁴
& Geol. Mário J. Motidome⁵

RESUMO

A pista descendente da rodovia dos Imigrantes abrange 8,2km de escavações subterrâneas, divididas em apenas três túneis na região da Serra do Mar. No trecho dos emboques as escavações atravessaram solos residuais pouco coesivos, com freqüentes estruturas reliquias. Neste cenário, a proteção sistemática da coroa com enfilagens tubulares e da frente com agulhamento frontal do maciço permitiu assegurar a estabilidade das escavações mesmo em situações geológicas adversas, resultando em um progresso constante da frente de trabalho. No detalhamento da solução adotada, uma análise global de custo x benefício indicou que a escavação em lances sucessivos de câmara cônica de 10,4 m de extensão, protegida e estabilizada por enfilagens tubulares metálicas e pregagens, era a melhor solução para atender as necessidades da obra, principalmente em seu planejamento.

Para a fundação da abóbada o maciço foi reforçado com micro-estacas injetadas, ligadas aos apoios alargados, eliminando-se o arco invertido provisório e permitindo maior flexibilidade ao planejamento das escavações.

No emboque Santos do Túnel TD-3/4, onde o maciço alterado se mostrou muito mais extenso que o previsto, manteve-se um ritmo médio de escavação da meia seção superior de 40m/mês, com avanços típicos de 1,20m.

ABSTRACT

The descending track of Imigrantes Highway includes an 8,2 Km long stretch of tunnels, divided into three sectors only, along the “Serra do Mar” region. At the mouths areas, the excavation was driven through poorly cohesive residual soils, with frequent presence of the original rock structure. In this scenario, the crown protection by means of peripheral and midsection forepoles, played a fundamental role for the excavation stability, ??????

During the detailing phase of the design, a global analysis of costs vs. benefits, showed that the excavation executed in subsequent advances with conical chamber of 10,4 meters of length, protected and stabilised by metallic tubular forepoles and frontal nails would be the best solution especially in view of the working programme needs.

As foundation of the upper half section crown, micropiles were used as foundation elements connected to enlarged supporting elements, in such way to avoid the temporary invert and allowing a more flexible planning of excavation activities.

At the Tunnel 3-4 mouth (Santos side), where the weathered rock strata encountered was larger than the expected, the average excavation time for the upper half section recorded was 40 m per month, with 1,2 m typical advances.

Palavras-Chaves – Túneis em saprólito; Enfilagem tubular em câmara cônica, Metodologia Construtiva

INTRODUÇÃO

A construção da pista descendente da Rodovia dos Imigrantes é uma das obras mais complexas de engenharia rodoviária da América do Sul, com extensão de 20,23km ao longo da escarpa da Serra do Mar, dos quais 8,23 km foram implantados em trechos subterrâneos, subdivididos em três túneis TD1, TD2 e TD 3/4, com extensões de 3145m, 2080m e 3006 m, respectivamente.

O presente trabalho contempla um dos emboques destes túneis, considerado o mais longo e complexo dos 6 emboques. Trata-se do túnel TD 3/4 no seu emboque Santos, cuja escavação atravessou solos residuais, saprolitos e rochas alteradas até atingir o maciço rochoso. Esse trecho, com recobrimento entre 10 e 100 m, foi escavado em seção parcializada - calota e rebaixo - com instalação de cambotas metálicas e aplicação de concreto projetado além de dispositivos auxiliares de escavação.

Neste contexto de intercalações de horizontes geológicos, onde materiais de diferentes características físicas estão dispostos ao longo do bandamento do maciço, com maior e menor grau de alteração, ocorrem instabilizações de blocos condicionados pelo intenso sistema de fraturamento, o que torna necessário avançar com uma estabilização prévia de teto e frente, em leques sucessivos de tratamento. Entre o trecho inicial, de solo residual e rocha muito alterada, até atingir a transição constituída de bandas de rocha alterada entremeadas por faixas de rocha de melhor qualidade, foram escavados 340 metros.

1-Diretor Presidente - Novatecna S/A

2-Engenheiro Geotécnico – Consórcio Imigrantes/ATO

3-Geólogo - Novatecna S/A

4-Gerente Técnico - Novatecna S/A

5-Geólogo – Consórcio Imigrantes/ATO

A partir desta progressiva, o trecho de transição propriamente dito foi bastante extenso, marcado pela alternância entre bandas de rocha pouco alterada a sã, tipicamente de 0,5 a 2,0 metros de espessura, e faixas de rochas mais alteradas, com espessuras de 3,0 a 8,0 metros. Entre o trecho inicial e o maciço rochoso foram tratados 575 metros de túnel, muito acima do previsto em projeto.

A solução inicial do projeto previa para a região dos emboques um tratamento composto por leques de enfilagens de colunas de solo-cimento justapostas e agulhamentos de frente utilizando-se da aplicação da tecnologia de “jet-grouting” horizontal (CCPH). Já para o maciço algo mais resistente, composto por solos residuais, saprolitos e rocha alterada, o projeto inicial previa a execução de leques de enfilagens injetadas armadas com tubo “schedule” e pregagens de frente armadas com tubos de fibra de vidro. Também eram previstos escavações em câmara cilíndrica, avanços de 7,2m por lance e uso sistemático de arco invertido provisório (AIP) na meia seção.

A equipe liderada pela Assistência Técnica à Obra (ATO) do Consórcio Construtor, juntamente com a Subempreiteira de Serviços Especializados em Túneis, debruçou no estudo prévio de otimização da solução inicial e com apoio da Projetista concluiu que a solução de maior rentabilidade na análise global custo x benefício era a de se executar a escavação em câmara cônica, com avanço de 10,4m por lance, aproveitando integralmente a perfuração da enfilagem de 13m e pregagens frontais de 15m. Uma proposição importante desta otimização foi a de substituir a solução do AIP na meia seção por apoios alargados (sapatas) com execução de reforços e melhoria do maciço por micro-estacas na região de fundação e rebaixo, propiciando maior agilidade ao avanço da calota e flexibilidade no planejamento do rebaixo e do revestimento do túnel. Essa solução permitiu o desenvolvimento de atividades do rebaixo simultaneamente com a execução do tratamento da calota do túnel, otimizando o aproveitamento da equipe e equipamentos de escavação.

A execução das primeiras enfilagens de CCPH mostrou que não era possível a formação de colunas adequadas de solo-cimento, uma vez que todo o cimento bombeado para a criação da coluna refluía de forma muito líquida pela boca do furo, o que demonstrava tratar-se de um material resistente e de baixa erodibilidade ao jato de calda de cimento, indicando a necessidade de uso de armadura. Desta maneira, foi proposto um tratamento mais adequado aos materiais encontrados, que consistia na execução de um leque de enfilagens tubulares injetadas, como proteção mecânica contra a queda de materiais da abóboda do túnel (“Umbrella Method”) e uma malha de tubos de fibra de vidro disposta na frente de avanço de maneira a preservar o maciço, limitando o relaxamento em sentido da cavidade escavada e a dimensão dos deslocamentos. Tanto as enfilagens quanto os tubos de pregagem da frente foram instalados em furos de 4” e fixados ao maciço por injeção simples de calda de cimento utilizando pela primeira vez no Brasil um posicionador (sonda perfo-injetora para tratamento horizontal de túneis) com dois mastros independentes (figura 1). Foram executados 54 lances de tratamento por enfilagens tubulares até que se atingisse o maciço rochoso, totalizando cerca de 64.530m de perfurações entre enfilagens, pregagens, drenos horizontais profundos, estacas injetadas, ancoragens radiais e ponteiros filtrantes de rebaixamento.



Figura. 1 – Sonda perfo-injetora.

CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

A frente Santos do Túnel 3/4 apresentou um longo trecho em solos residuais e saprolitos, claramente derivados de rochas metassedimentares (ver figura 02). Trata-se de solos essencialmente silto-argilosos, que exibem uma estrutura bandada, com alternância entre bandas silto-argilas, micáceas (provável alteração de biotita quartzo xisto), bandas argilas ocre a amareladas (provável alteração de material cálcio-silicático) e bandas eventuais de material arenoso micáceo (provável alteração de bandas quartzíticas). Foram mapeados também trechos extremamente cisalhados que resultaram em material essencialmente micáceo (provavelmente clorita e/ou sericita). Com o avanço das escavações os saprolitos gradativamente se apresentaram mais silto-arenosos, ainda micáceos o que levou a interpretação de maior contribuição de gnaisses. De forma não sistemática ocorreram passagens de material quartzo-feldspático, totalmente caulinizado ou ainda veios fragmentados de quartzo. Diques de diabásio com até 6m de espessura foram interceptados localizadamente.

Do ponto de vista estrutural, o bandamento, que é paralelo a uma intensa foliação (xistosidade), é a estrutura que condicionava a maior estruturação e segmentação do maciço rochoso. Tratava-se da alternância de bandas com espessura de 5cm a 50cm. Essa estrutura orienta-se segundo N48E com mergulho de cerca de 55° para NW, com variações de 10 graus seja na direção como no ângulo de mergulho. Dessa forma, a escavação interceptou o bandamento de forma praticamente ortogonal, porém com o mergulho das bandas no sentido da escavação. Essa geometria, como se discute adiante favorece a instabilização de blocos na frente de escavação.

Dois sistemas adicionais de descontinuidades foram observados, o primeiro apresenta orientação de direção N70E 75SE e um segundo sistema, igualmente importante, apresenta orientação sub-paralela ao eixo do túnel com direção N05W com 35° de mergulho para NE.

A intersecção de todos os sistemas de descontinuidades, em conjunto com o desconfinamento causado pela escavação permite a possibilidade de tombamento de blocos a partir da frente de escavação. Deste modo apesar da foliação ser favorável à estabilidade por deslizamento, sua orientação é desfavorável para o tombamento de blocos. Portanto, a pregagem da frente exerceu um importante papel para a segurança e a trabalhabilidade das frentes de escavação, restringindo a desarticulação do maciço e seu relaxamento gradual.

O bandamento condiciona ainda a maior ou menor alteração da rocha, assim, parte da frente pode mostrar solo residual, enquanto outra banda pode apresentar uma rocha alterada a muito alterada.

No geral as frentes mostraram-se secas, com gotejamentos ou surgências pontuais. Em função das atividades de rebaixo e de remoção da rampa para a execução do segundo rebaixo, a escavação evidenciou ainda mais a presença do lençol freático. A análise dos dados da instrumentação, principalmente nos trechos de maciço de pior qualidade, sugeriu que o fluxo água em direção à escavação auxiliava na relaxação do maciço e dessa forma contribuiu para piorar significativamente sua qualidade. Assim, foi instalado em alguns trechos o rebaixamento do lençol freático por ponteiros filtrantes à vácuo durante o período de escavação dos rebaixos.

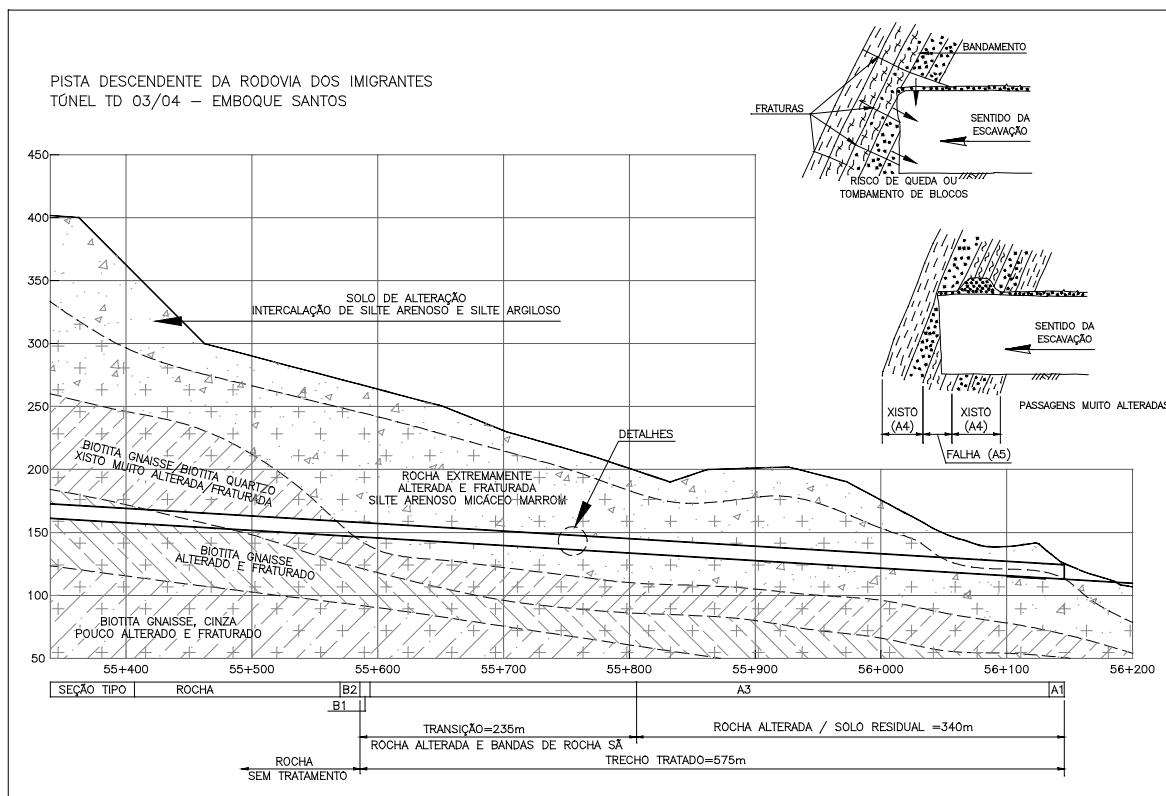


Figura .2 – Perfil geológico-geotécnico

METODOLOGIA EXECUTIVA

A metodologia executiva dos túneis em solo e rocha alterada é iniciada pela escavação a frio, pois não há a utilização de explosivos e sim, a demolição e desagregação do maciço através de ferramentas e equipamentos adequados, como rompedores pneumáticos, martelos hidráulicos de grande capacidade (“picão”), escavadeiras e carregadeiras. A seção de projeto previa a parcialização da escavação em calota e rebaixo, utilização de cambotas metálicas treliçadas espaçadas entre 0,80 e 1,20 m, concreto projetado de 30 cm de espessura e tratamento prévio de frente e da porção situada acima da geratriz superior do túnel, formando uma coroa de proteção para a escavação.

O projeto inicial do revestimento primário definiu quatro tipos de seção até atingir o maciço rochoso, denominadas A1, A3, B1 e B2, com as seguintes características gerais: Seção A1 – seção utilizada na região dos emboques em solos residuais e saprolíticos, com escavação parcializada calota e rebaixo, fechamento de AIP, cambotas metálicas, concreto projetado, e tratamento de calota e frente. Seção A3 – seção utilizada em solos saprolíticos e rocha muito alterada com metodologia similar, a menos da espessura do revestimento final, que passou de 50 cm para 35 cm. Seção B1 – seção de transição para maciços mais competentes formados por rochas alteradas, sem necessidade de tratamento de frente e fechamento do AIP. Seção B2 – Trata-se de uma seção mista, onde somente o camboteamento da meia seção superior é necessário, sendo o rebaixo executado com concreto projetado, tela e chumbadores.

As seções A1, A3 e B1 foram adequadas pelo ATO à nova otimização de tratamento e metodologia executiva, conforme já mencionado. O tratamento do teto foi executado com enfilagens armadas com tubo “schedule” 40, $\phi=2\frac{1}{2}$, com 13 metros de comprimento, espaçadas entre 0,35 e 0,45 m, em lances de câmara cônica de 10,40 m, conforme figura 3. O objetivo deste tratamento foi o de estabelecer uma proteção mecânica dada pelas características físicas do tubo de armação, pelo espaçamento entre tubos e pela profundidade dos avanços, já que neste material se pretende limitar o desprendimento de blocos da superfície escavada até a atuação do concreto projetado, permitindo avanços maiores. Para os casos onde o maciço apresentou baixa resistência, bastante alterado e fraturado, foi possível associar uma injeção de consolidação através de válvulas manchetes dispostas ao longo dos tubos, ou consolidação prévia através da técnica de “bulbo contínuo”. [1]

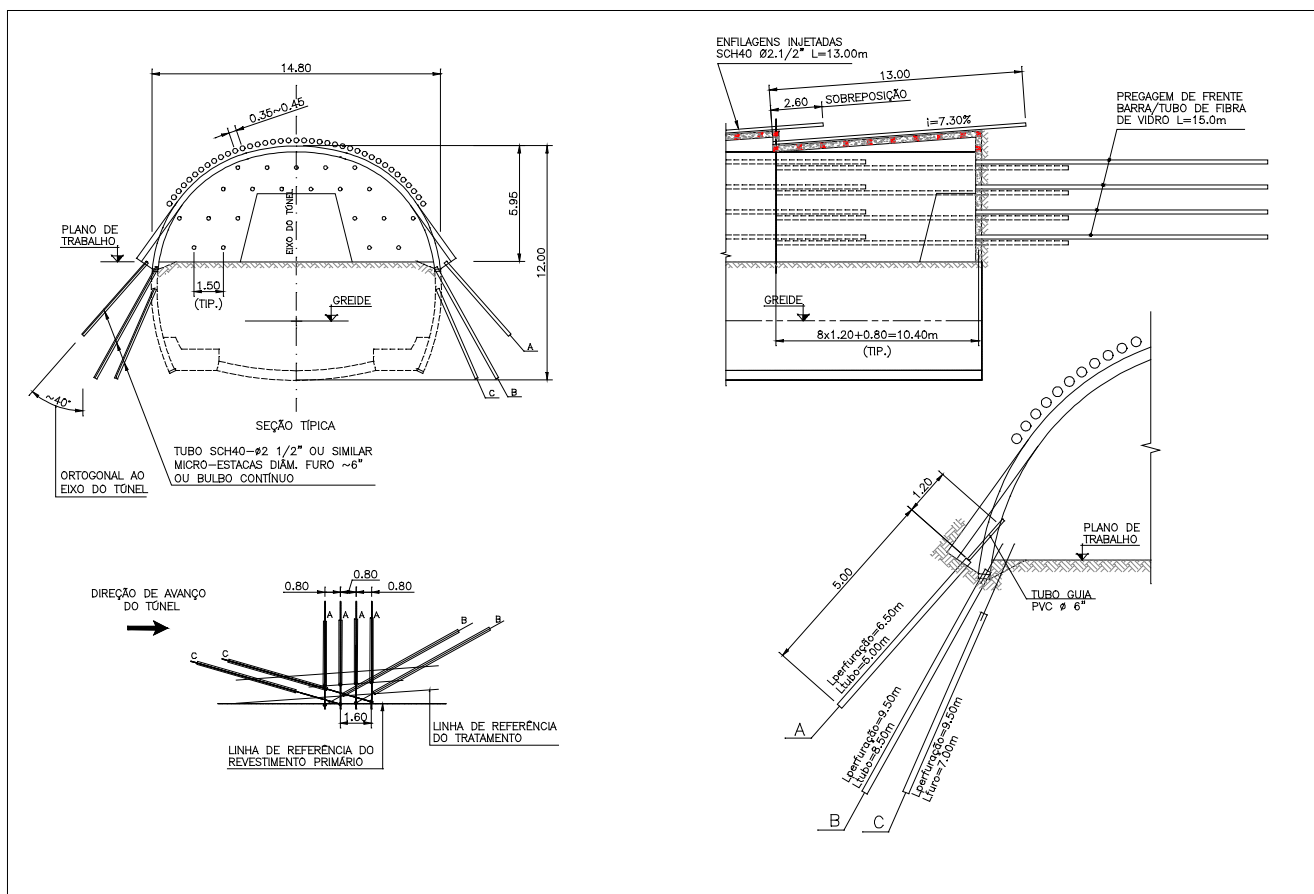


Figura. 3 – Dispositivos auxiliares de tratamento do teto, frente e pé direito.

Ao mesmo tempo em que se tratava a calota, a frente era tratada com a inserção de uma malha de tubos de fibra de vidro de 15 metros de extensão, com espaçamento de 1,5 x 1,5 m, sendo os tubos fixados ao maciço através de injeções simples de calda de cimento.

Com metodologia executiva alternativa proposta pelo ATO e subempreiteira dos Serviços Especializados, o arco invertido provisório (AIP), que tem a função de equilibrar os esforços provenientes da meia seção escavada, foi substituído por uma sapata contínua ao longo do apoio da casca com 0,8m de largura. O solo de fundação foi tratado com uma malha de micro-estacas injetadas com o objetivo de assegurar a capacidade de carga necessária ao equilíbrio das cargas. As micro-estacas, formadas por tubos “schedule” 40, de $\phi=2\frac{1}{2}$ ”, com comprimentos variáveis, inseridos em colunas de solo-cimento (“bulbo contínuo”), desempenharam a função de “costurar” o maciço, não permitindo a desarticulação por planos preferenciais. As micro-estacas eram mantidas não mais do que 10 metros recuadas da frente de escavação.

A metodologia alternativa permitiu iniciar o rebaixo da seção sem interferir com a escavação da frente, figura 4. O primeiro rebaixo foi executado em valetas laterais, com avanços de duas cambotas em frentes deslocadas longitudinalmente, deixando-se uma rampa central que era retirada à medida que se avançava, aproveitando para esta escavação o período de paralisação da frente para tratamento. A montante da rampa de acesso o plano de trabalho ficou rebaixado para $\frac{3}{4}$ de seção, e permaneceu neste nível até a execução do arco invertido definitivo (AID).

Em trechos isolados, onde a instrumentação indicou deslocamentos anômalos, principalmente em relação aos dados de convergência, foi instalado um atirantamento radial na altura do pé das cambotas da meia seção (“rim”), auxiliando no equilíbrio das cargas.

O segundo rebaixo foi executado em valas a partir do plano de trabalho do primeiro rebaixo, com avanços de duas cambotas de cada vez até se atingir o limite de 10 metros, quando então era executada a viga de apoio em concreto moldado. Na medida em que se avançava, as valas eram reaterradas pelo próprio material da escavação do lance subsequente, permanecendo o piso do túnel com altura de $\frac{3}{4}$ da seção acabada.

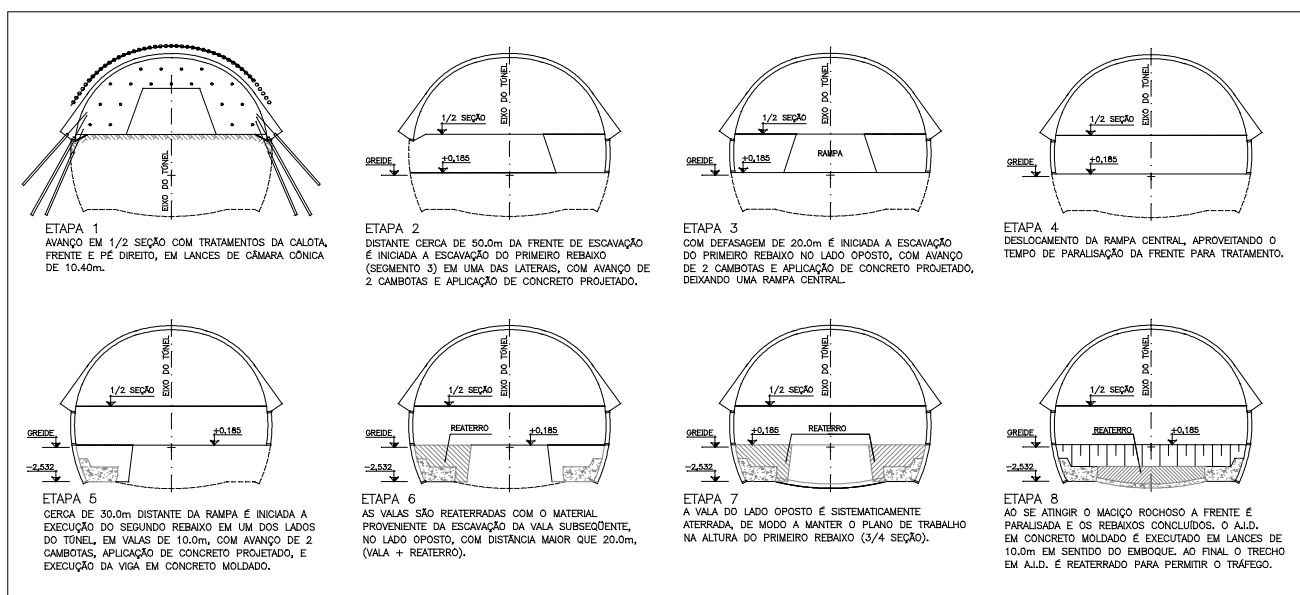


Figura. 4 – Metodologia Construtiva.

Ao final das escavações da frente e dos rebaixos, foi construído o AID em lances de 10 m, período em que a frente ficou paralisação. É importante mencionar que as vigas laterais em concreto moldado restringiram os deslocamentos, fato verificado pelos baixos valores de nivelamento e convergência observados nesta etapa da construção.

Tratando-se ainda de dispositivos auxiliares de escavação, deve-se mencionar a execução eventual de leques de drenos horizontais profundos (DHP's) à gravidade em conjunto com o tratamento de teto e frente, e alguns DHP's na frente de escavação de modo a aliviar eventuais “bolsões” mais permeáveis. Na região do rebaixo, ao longo do túnel foram instaladas localmente ponteiros filtrantes à vácuo espaçados a cada 1,20m. É relevante mencionar que a metodologia de execução do rebaixo em conjunto com o avanço da frente foi auxiliada pelo fato da escavação ser realizada em sentido ascendente, com cerca de 6% de inclinação, o que permitiu drenar as águas por gravidade através de valetas e tubos de descarga.

CARACTERÍSTICAS DOS TRATAMENTOS

Os equipamentos

As perfurações das enfilagens, pregagens e drenos subhorizontais foram executadas com um posicionador inovador no Brasil, montado sobre chassi tipo S-90, mesa giratória sobre esteiras, dotado de dois mastros sobre pistões hidráulicos e telescópicos de movimentos totalmente independentes, enquanto um perfurava o outro instalava as

composições de tubos “schedule”. Ambos os mastros possuem canhão de raio laser que mira o gabarito colocado atrás do posicionador, permitindo uma orientação precisa no posicionamento e inclinação radial dos furos. O mastro maior com 17,0m de comprimento permite a montagem da bateria de hastes para uma perfuração contínua, sem manobras de hastes, mesmo para uma perfuração de 15m da pregagem. É equipado com uma bateria de hastes especiais e martelo hidráulico externo de superfície, tipo Klemm, também pioneira nas obras brasileiras de túneis, que permitiu perfurar tanto em processo rotativo nos materiais menos resistentes, quanto roto-percussivo ao atravessar um maciço de dureza mais elevada, sem a necessidade de trocar as hastes, apenas a ferramenta de corte (tricone ou bits) localizada na extremidade das mesmas, ao toque de um único comando. Visando aumentar a produtividade foram utilizadas também enfilagens autoperfurantes em maciços mais resistentes.

As estacas, tipo micro-estacas injetadas foram executadas por uma máquina perfo-injetora, com chassi tipo S-90, e mesa giratória sobre esteiras. As hastes de perfuração são montadas sobre um mastro móvel, com movimento de 360°, de tamanho compatível para o local de execução, levando-se em consideração a curvatura do arco superior, e o equipamento era dotado de mandril passante, o que permitia uma rápida operação nas manobras de perfuração. Para as micro-estacas com bulbo contínuo a perfuração era executada com um tricone de vídea acoplado ao porta-injetor, por onde o cimento era ejetado para a formação do bulbo (“jet grouting”). Nas micro-estacas simplesmente injetadas em maciço mais resistente, pouco alterado, foi utilizado martelo de fundo acionado por ar comprimido.

O bombeamento da calda de cimento para a execução do bulbo contínuo era realizado através de uma bomba Halliburton, de alta pressão até (50 MPa), movida por motor a diesel. A mistura da calda de cimento era realizada em um conjunto misturador/agitador de alta turbulência.

A frente

O emboque do túnel foi tratado de acordo com o projeto original que previa uma escavação em câmara cilíndrica, com o avanço típico de 7,20 metros e AIP. A partir desse lance inicial a solução otimizada de tratamento foi adotada, com escavação do túnel em câmara cônica. Assim os lances iniciais subsequentes foram adaptados de tal forma que permitisse a transição da câmara cilíndrica para cônica.

Em cada lance, a equipe da ATO do Consórcio Construtor adequava o tratamento e a drenagem às condições encontradas na frente de escavação, orientando-se pelos mapeamentos diários da frente de escavação, pelo comportamento observado através da análise dos dados de instrumentação, pelo mapeamento das velocidades de perfuração de cada furo realizado e pela análise do resultado dos furos exploratórios executados rotineiramente, tipicamente a cada dois lances.

A preparação da frente de escavação para o tratamento era executada de tal forma que o plano de trabalho ficava a uma altura aproximada de 6,0m em relação à geratriz superior do túnel. Toda a frente era selada com tela metálica e uma camada de 10cm de espessura de concreto projetado. Em algumas situações, a equipe de ATO optou em preservar o núcleo em função da baixa qualidade do maciço.

A equipe de topografia, além da marcação dos furos no espelho, locava o gabarito que contém a projeção homotética da frente de perfuração, o que permitiu uma geometria perfeita do tratamento, tanto na orientação como na conicidade com auxílio de raio laser instalado no posicionador. [2]

Em geral, após a liberação da frente de serviço iniciavam-se as perfurações das pregagens de 15m, enquanto era ultimada a instalação do gabarito. Após liberação era feito um planejamento da sequência dos furos entre pregagem e enfilagens que permitisse um trabalho contínuo entre a equipe de perfuração, equipe de instalação dos tubos com auxílio do segundo mastro de serviço do posicionador e a equipe de injeção de calda de cimento dos furos. Simultaneamente era iniciada a execução das micro-estacas em bulbo contínuo, cujo programa mínimo para a liberação da frente era concluir todas as estacas da linha A até a frente, ortogonal ao eixo da sapata e solidária a mesma, através do tubo SCH40, Ø 2 ½” injetado. As demais estacas eram completadas durante a escavação da meia seção do lance e antes do início do rebaixo. Neste programa de final de semana eram ainda concluídos os DHPs (drenos horizontais profundos) e o furo exploratório de prospecção. Todos os furos foram descritos de forma expedita, anotando-se a dureza ao avanço da perfuração, executado lance a lance para melhorar a previsibilidade do comportamento do maciço à ser escavado.

O serviço de tratamento do túnel, invariavelmente ocorria no final de semana entre a sexta-feira, no turno da noite, até o domingo, no turno da noite, pois o programa de escavação deveria, também, ser cumprido pelo Construtor entre a segunda-feira e a sexta-feira da semana. Portanto, era um ciclo completo de avanço de 10,4m a cada semana.

A quantidade média de furos envolvidos no lance de cada tratamento era cerca de 82 furos, totalizando cerca de 940m de perfuração incluindo enfilagens, pregagens, prospecção, DHPs e micro-estacas injetadas.

Como o objetivo do tratamento era o de proteger mecanicamente a escavação e dar velocidade ao processo, tanto as enfilagens quanto as pregagens foram fixadas ao maciço através de injeções simples de calda de cimento. A técnica de injeção adotada foi convencional com uso de duas mangueiras, uma de suspiro mais longo e outro de injeção mais curto, fazendo-se o preenchimento debaixo para cima. Assim que os furos estivessem completamente cheios de calda de cimento, a mangueira de suspiro era estrangulada na sua extremidade e finalmente aplicada a calda sob pressão controlada (máximo de 0,6Mpa) com a finalidade de garantir o preenchimento e uma melhor aderência. O volume típico de consumo de cimento por enfilagem foi de 0,6 saco por metro, com A/C=0,5. Nos casos em que ocorreram um grande fluxo de água na perfuração tanto da pregagem como da enfilagem, era imediatamente instalado um DHP nas proximidades. Em trechos localizados, onde a qualidade do maciço era desfavorável, as enfilagens foram manchetadas

com válvulas a cada metro e o maciço previamente consolidado através de injeções de calda de cimento com pressões e vazões controladas, ou através da técnica da enfilagem de bulbo contínuo.

A execução da drenagem subhorizontal era realizada preferencialmente na etapa final do tratamento de cada lance. Os drenos atingiram em média 13 metros de comprimento, onde eram instalados tubos de PVC micro-ranhurados e selados, e serviram para drenar águas do lençol freático no tardo do tratamento e em “bolsões” permeáveis na frente de escavação. As vazões atingiram valores de até 20 l/min em alguns pontos, com maiores contribuições do lado direito do avanço, exatamente na região onde existe um córrego ao nível da superfície.

A fundação e rebaixo

O tratamento do “pé direito” da meia seção superior foi realizado com o agulhamento do maciço através da inserção de uma malha de micro-estacas injetadas na base de apoio do arco superior (“pata de elefante”), evitando a desestruturação e degeneração gradual do terreno de apoio durante o período de escavação da meia seção, e principalmente na escavação do rebaixo.

As micro-estacas foram executadas entre cambotas, conforme figura 3, e solidarizadas à estrutura de concreto projetado através da própria calda de injeção ou através de produtos cimentícios, tipo “grout”, para melhoria da aderência. Dois foram os processos de execução utilizados, micro-estacas do tipo “bulbo contínuo” e micro-estacas injetadas a baixa pressão, variando conforme o tipo de material encontrado durante as perfurações.

Micro-estacas em “bulbo contínuo” eram utilizadas quando se pretendia tratar o terreno, uma solução adotada em maciços heterogêneos, e onde os materiais menos resistentes permitissem a ação do jato de calda de cimento oriundo da tecnologia do “jet grouting”, criando um bulbo de solo-cimento de diâmetro superior ao da perfuração (até 0,4m). Uma vez concluída a perfuração rotativa ou roto-percussiva de $\phi=4"$ até a cota de projeto, iniciava-se a fase de cimentação do solo até o arrasamento da mesma. Em seguida era introduzida a armadura constituída por um tubo de aço “schedule” 40 de $\phi=2 \frac{1}{2}"$. As micro-estacas injetadas a baixa pressão (0,6 MPa) foram executadas em maciços mais resistentes e homogêneos. Utilizou-se o método similar ao realizado na execução das enfilagens para o tratamento da abóboda do túnel, porém, em se tratando de uma perfuração descendente, as mangueiras de PVC para as injeções de calda de cimento assumiram papéis inversos aos descritos nas enfilagens.

CONCLUSÃO

A experiência brasileira no tratamento de maciços de rochas alteradas é restrita, pois são necessários equipamentos especiais, capazes de perfurar materiais heterogêneos e resistentes em prazo compatível com a execução da obra. O túnel 3/4 emboque Santos atravessou um maciço bandado, com intercalações que gradavam de rocha pouco alterada a solos com estruturas reliquias da rocha-mãe, onde o tratamento foi fundamental na estabilidade de teto e frente, restringindo a queda de blocos que se isolavam do maciço através dos planos de fratura. A metodologia utilizada prescindiu da consolidação do maciço, a menos de alguns trechos onde ocorreram anomalias geológicas que requereram tratamento para a melhoria na qualidade do maciço com injeções de calda de cimento através de válvulas manchetes instaladas ao longo dos tubos “schedule” ou através da técnica de bulbo contínuo. A produção atingida foi da ordem de 40 m/mês, sendo necessários em média dois dias e meio para o tratamento da frente e teto.

A despeito do monitoramento da qualidade do maciço à frente da escavação, é importante mencionar que todos os furos das enfilagens e das pregagens, além dos próprios furos exploratórios, eram acompanhados pelo pessoal da execução e por técnico especializado do ATO, que mapeavam indiretamente a presença de solo, rocha alterada ou rocha dura, em função da maior ou menor dificuldade de avanço da ferramenta de corte correlacionada ao tempo de perfuração. Este procedimento permitiu adequar o tratamento a cada lance, modificando o número e espaçamento entre furos, o avanço típico da escavação, e a necessidade ou não de consolidação prévia, trazendo maior segurança e menor custo à obra.

A substituição do AIP por sapatas e tratamento do “pé direito” alterou significativamente a metodologia executiva deste túnel, já que foi possível avançar os rebaixos juntamente com o avanço da frente, reduzindo o prazo para a execução do arco invertido definitivo (AID), executado de uma única vez em concreto moldado. As produções típicas de avanço foram de 2,0 m/dia no primeiro rebaixo, 1,5 m /dia no segundo rebaixo com viga executada, em ambas as laterais, e 10 m/dia de AID.

Finalmente, a proteção sistemática do teto e da frente garantiu escavar o trecho de maciço alterado sem quaisquer interrupções por quedas ou instabilidades ocasionadas por condições geológicas adversas. A certeza de manter uma produtividade constante independente das adversidades do maciço trouxe benefícios evidentes ao planejamento da Obra, principalmente considerando que o trecho em solo e rocha alterada foi muito mais extenso do que o previsto inicialmente em projeto.

Agradecimentos

Os autores agradecem as seguintes entidades que tornaram possível preparar e publicar a presente comunicação: Concessionária Ecovias dos Imigrantes S/A – Concessionária; Consórcio Imigrantes – Construtora; Consórcio Ecoenge (Figueiredo Ferraz de Projetos Ltda e Geodata Spa) – Projetista; Maffei Engenharia S/C Ltda – Consultoria; e Novatecna Consolidações e Construções SA – Subempreiteira Especializada em Túneis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Guatterri, G; Koshima A.; Doro Altan V. Enfilajes de Bulbo Continuo en Túneles Escavados En Macizos Terrosos vs. Enfilajes Tradicionales de Tubo “à Manchettes”. XI Congresso Panamericano de Mecânica de Suelos e Ingenieria Geotecnica, Foz Iguaçu 1999, vol 2, p. 581 a 588

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