

ASPECTOS GEOTÉCNICOS RELACIONADOS COM A CONSTRUÇÃO DE UM TÚNEL DE 5,4 KM DE EXTENSÃO, EM N.A.T.M. , AO LONGO DOS SOLOS DA BACIA SEDIMENTAR DE SÃO PAULO.

Luis Rogério Martinati¹ & Mário J. Motidome²

INTRODUÇÃO

O túnel, destinado a conduzir um conjunto de cabos elétricos de 345 kVA, foi construído ao longo da região central de São Paulo, local altamente urbanizado, com inúmeras avenidas e ruas importantes para o tráfego e o comércio daquela região. O túnel de 3,0 m de diâmetro, concluído em 1999 com cerca de 5,4 km, foi escavado numa região entre as principais drenagens do município, no delta formado pelos rios Tamanduateí e Tietê, sempre abaixo do lençol freático. As escavações atravessaram solos da Bacia Sedimentar de São Paulo (BSSP) a uma profundidade média de 15 metros, atingindo de 20 a 30 metros em algumas travessias importantes, como sob o rio Tamanduateí.

Parte das escavações cortaram areias submersas, constituídas por uma errática seqüência de deposição de areias de granulação variada entremeadas por finas camadas de cascalhos. Em outros trechos, as escavações atravessaram trechos extensos de camadas contínuas de argilas cinza esverdeadas da Formação Resende e solos residuais e rochas alteradas provenientes do afloramento do embasamento rochoso.

Durante as escavações, devido à grande extensão e diferença dos maciços encontrados, várias foram as situações adversas em que foi necessário lançar mão de novos estudos sobre a geologia através de investigações adicionais, técnicas de consolidação, esquemas de rebaixamento do lençol freático, e metodologias construtivas alternativas. Este trabalho tem como objetivo apresentar algumas das situações vivenciadas durante o período de construção.

Palavras-Chaves – Solos Sedimentares, Metodologia Construtiva, Rio Tamanduateí.

CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

A área de implantação do túnel é densamente ocupada por casas e edifícios antigos. Trata-se de uma região baixa da cidade, com amplitude topográfica máxima da ordem de 10 metros, e onde as drenagens originais certamente sofreram processos de canalização e retificação. São terrenos sujeitos a inundação, típicas várzeas dos rios Tamanduateí e Tietê, e de seus afluentes.

Foi neste cenário que o túnel de cerca de 3,0 metros de diâmetro e 5,4 km de extensão foi escavado em NATM, com aplicação de concreto projetado e cambotas metálicas, a partir de 18 poços de acesso com profundidades entre 12 e 30 metros. O traçado do túnel se desenvolve basicamente paralelo a linha Norte-Sul do Metrô, partindo da margem direita do rio Tietê na altura da Ponte da Vila Guilherme, prossegue ao longo das avenidas Carlos de Campo e Rodrigues dos Santos até atingir a região do Gasômetro, quando então através das ruas Monsenhor Anacleto e Luis Gama se desenvolve paralelo a av. do Estado até seu cruzamento na altura do bairro do Glicério, onde então segue em direção a ETT Miguel Reale situada na rua Lavapés. Ao longo do traçado ocorreram importantes travessias, como as transposições sob os rios Tietê e Tamanduateí, e sob as avenidas Rangel Pestana e Alcântara Machado (Radial Leste), conforme se verifica na Figura 1.

ASPECTOS GEOLÓGICOS

A Bacia Sedimentar de São Paulo (BSSP) é uma unidade do chamado Rift Continental do Sudeste do Brasil, que é constituído por vários blocos abatidos ou soerguidos, cortados por falhas, onde se instalaram inicialmente os sedimentos Terciários. A área da bacia corresponde a cerca de 5.000 km², situada entre as cotas 718 e 835 m em relação ao nível do mar, com formato irregular, em parte limitada por falhas como as de Taxaquara e Jaguari. Os sedimentos da Bacia são compostos por depósitos Terciários e Quaternários.

Riccomini e Coimbra (1992) propuseram uma sistematização da estratigrafia da BSSP privilegiando a representação de um determinado evento ou ambiente de deposição e praticamente abandonando o conceito de que uma Formação precisaria ser necessariamente composta de um mesmo material. Os sedimentos da Bacia foram relocados para um grupo basal denominado Taubaté, constituído pelas Formações Resende, Tremembé e São Paulo, que seria recoberto de forma discordante pela Formação Itaquaquecetuba, sedimentos quaternários antigos e recentes. No grupo Taubaté, a formação Resende é basal, porém mais para o topo seria contemporânea à Formação Tremembé e parcialmente recoberta pela Formação São Paulo.

O traçado por onde se desenvolve o túnel permitiu cortar a Bacia de São Paulo na direção Norte-Sul numa região baixa da cidade. Os solos atravessados pelas escavações são constituídos basicamente de sedimentos do Terciário da Formação Resende. Entretanto, em alguns pontos, o túnel atravessa sedimentos Quaternários e afloramentos do embasamento rochoso. O nível do lençol freático ao longo de todo o traçado é superficial.

¹ Diretor de Engenharia - martinati@attglobal.net - Núcleo de Projetos e Consultoria - ATO- R.Laplace, 278

² Diretor Geologia - motidome@zaz.com.br - Núcleo de Projetos e Consultoria - ATO

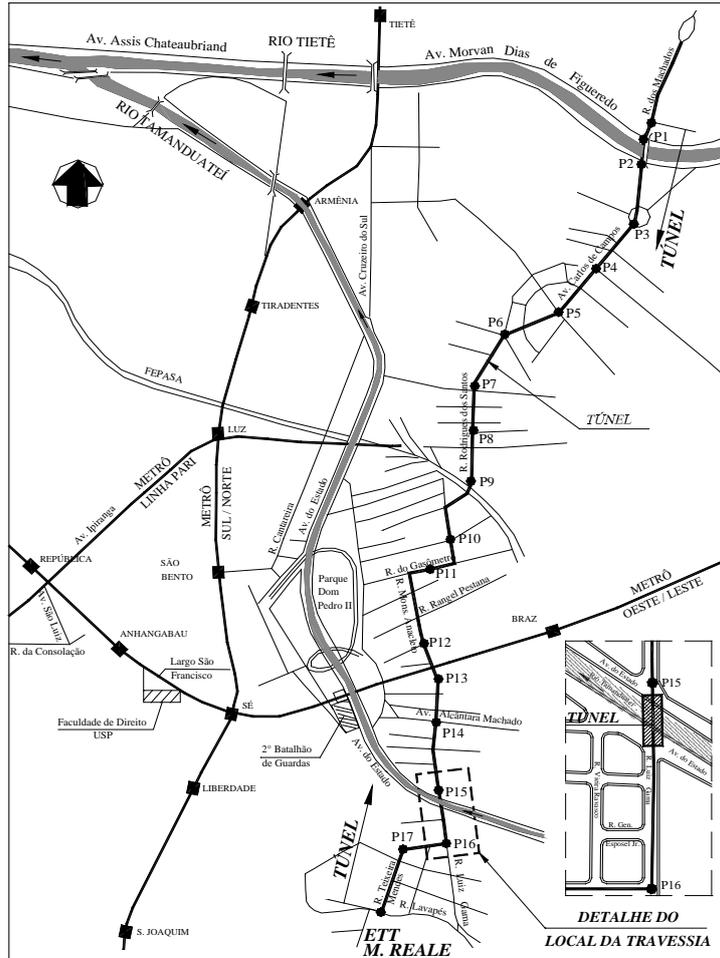


Figura 1 - Planta de Localização da Obra (Martinati et al)

ESTRATIGRAFIA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE AS ESCAVAÇÕES

A execução de poços e túneis ao longo dos sedimentos Quaternários é bastante complexa, fato que exigiu a implantação de sistemas de rebaixamento e tratamento sob as mais diferentes condições.

Os depósitos aluvionares atravessados pelas escavações puderam ser classificados em depósitos recentes, caracterizados por pacotes de argilas orgânicas moles a muito moles e areias finas submersas, de espessuras que variaram de 2,0 a 5,0m, e em depósitos aluvionares antigos, constituído pelo nível de cascalheira usualmente encontrado na base do Quaternário, com espessuras que variaram de 0,5 a 2,0m, e se caracterizavam pela presença de seixos rolados de dimensões centimétricas (0,5 a 2,0 cm) e areias grossas.

Já nos depósitos Terciários, por onde se desenvolveu quase que a totalidade da extensão das escavações, o solo era caracterizado por diferentes tipos de deposição, ora em areias finas e médias, compactas à fofas, ora em areias compactas e argilas fortemente pré-adensadas. As condições de implantação do túnel neste tipo de material são bastante favoráveis, no entanto, os sistemas de rebaixamento enfrentaram dificuldades para captação e abatimento eficiente da linha freática quando nesses maciços ocorriam intercalações erráticas de camadas de diferente permeabilidade.

Uma característica importante observada durante a execução da obra refere-se ao comportamento da camada arenosa superficial do Terciário, logo abaixo dos "terraços de cascalhos" definidos por Ab'saber (1968), sendo que do ponto de vista geotécnico se comportaram de forma mais similar ao nível de cascalhos do que com às areias típicas de origem Terciária. Tal fato dificultou bastante a escavação dos tuneis, exigindo algumas vezes que o greide fosse rebaixado para cotas inferiores ou a frente consolidada e impermeabilizada através de técnicas de jet-grouting ou injeções químicas.

Logo no início da obra, na execução dos primeiros "shafts", as escavações se depararam com espessos depósitos de cascalhos por onde escoam grande parte do aquífero subterrâneo em direção as drenagens. Este nível, com permeabilidade da ordem de 10^{-1} cm/seg, apresenta fluxos incontornáveis quando escavados sem auxílio de dispositivos auxiliares de condicionamento do maciço. É importante ressaltar que o comportamento das camadas superficiais de areia e cascalho é de difícil previsão, uma vez que os resultados de SPT não podem revelar a importância dos pedregulhos; ademais, as informações relativas a algumas obras em outros locais não indicavam permeabilidades tão

elevadas quanto à encontrada. Também as amostras recolhidas das areias finas siltosas não indicavam a susceptibilidade de carregamento sob baixos valores de gradiente hidráulico, como ocorreu em várias regiões.

Com base em recentes estudos geológicos sobre a evolução tectônica do arcabouço estrutural da Bacia de São Paulo - Suguio (1980), Riccomini et al. (1988 e 1989), Cozzolino et al. (1994), e em evidências junto à frente de escavação, pôde-se supor que a presença de camadas de argila descontínuas encontradas durante a escavação estariam associadas a ocorrência de movimentos tectônicos sin e pós-sedimentares, que teriam provocado rupturas e abatimentos de blocos, causando perturbações no maciço. Tal fenômeno explicaria as dificuldades em se escavar alguns trechos, onde repentinamente ocorreu a interrupção das camadas argilosas, o que chegou a provocar carregamentos de material para dentro do túnel, de difícil controle.

DESCRIÇÃO DE ALGUNS TRECHOS E AS SOLUÇÕES DE ENGENHARIA

Margem Esquerda do Rio Tietê

O solo é constituído basicamente pela alternância entre camadas argilo-arenosas e areias finas a médias de origem Terciária. A presença do nível de cascalhos na base do Quaternário e as areias entremeadas por cascalhos finos de origem Terciária próximo ao emboque do túnel do poço P1 exigiram medidas de condicionamento prévio do maciço.

Devido a alta permeabilidade e lençol freático superficial, foram instalados poços profundos com bico injetores e bombas submersas, além de um sistema de ponteiros filtrantes à vácuo até a base do aluvião para captação da água contida na camada de pedregulho com o objetivo de reduzir a realimentação do maciço. A presença de camadas argilosas delgadas, cinza esverdeadas, fissuradas, e distribuídas erradicamente dentro do maciço exigiram a utilização de drenos internos à vácuo para captação local, e onde esta camada se situava próxima a geratriz superior, foram utilizadas enfilagens injetadas com o objetivo de “costurar” o maciço e impedir a queda de blocos junto à frente de escavação. Os avanços foram em geral da ordem de 60 a 80 cm.

Travessia sob o rio Tietê

Próximo a Ponte da Vila Guilherme, na calha do rio Tietê, sob os aluviões recentes encontram-se camadas de argila cinza esverdeada e areias finas argilosas, cinzas, compactas de origem Terciária. Em trechos isolados notou-se a presença de argilas endurecidas e conglomerados litificados, provável resultado de hidrotermalismo no contato com o embasamento rochoso, de grande resistência mecânica, dificultando bastante a escavação e obrigando a utilização de rompedores de alta capacidade. No trecho inicial, da margem esquerda para a direita, o túnel foi escavado no embasamento rochoso (gnaisse micáceo). Inicialmente previa-se a utilização de shield a ar comprimido, entretanto, o reconhecimento mais detalhado do perfil geotécnico somente foi possível após as sondagens especiais efetuadas no leito do rio, o que permitiu adotar método construtivo mais simples, já que foi observada a presença da camada de argila cinza esverdeada, pouco permeável, próximo a calota do túnel. A travessia foi executada pelo processo NATM, com proteção da calota na região da calha do rio através de colunas de CCPh ("Jet-Grouting Horizontal") até a altura da meia seção. A presença de um contato pedregulho/argila exigiu a instalação de drenos à vácuo, cuja eficiência foi indiscutível (vazões médias de 200 l/h por dreno e máximas de até 1,0 m³ /h). Os lances de CCPh foram de 7,0 m com escavação de 5,0 m, em avanços de metro em metro. A frente foi parcializada com avanço da calota e arco provisório. Na Figura 2 está apresentado o perfil geológico-geotécnico e na Figura 3 a metodologia construtiva típica.

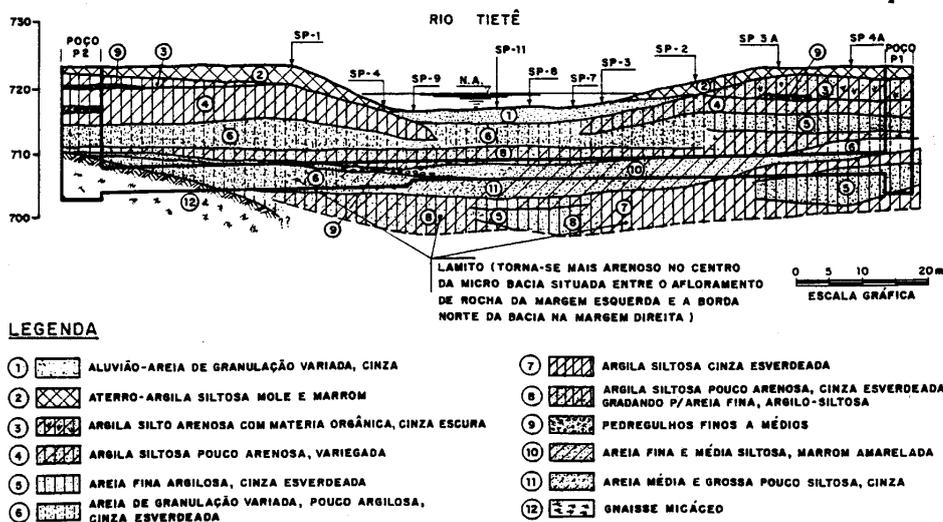


Figura 2. Perfil Geológico - Geotécnico (Apud Cozzolino, Martinati, Buono - 1994)

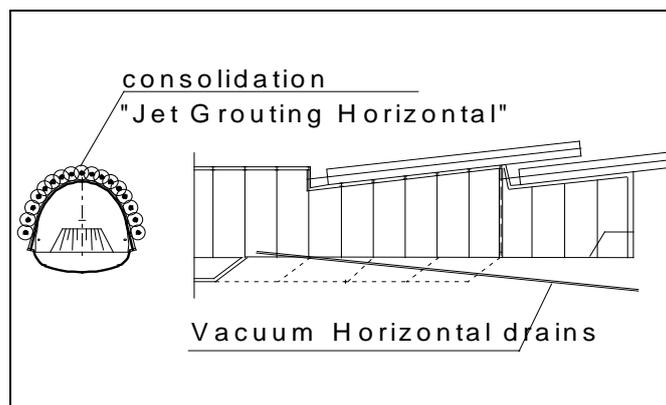


Figura 3. Método Construtivo na Travessia do Rio Tietê.

Afloramentos Rochosos

O túnel atravessou solos saprolíticos a rocha alterada, fissurada, a pouco alterada. Neste trecho, apesar do nível d'água ser superficial, foram utilizados somente alguns Dhp's à vácuo nas regiões onde se notou a presença de bolsões de material mais alterado, e portanto, maiores condutores de água. A utilização de Dhp's em solos de alteração, que por vezes se mostram ineficazes, tiveram também o caráter exploratório da frente de escavação. Apesar das sondagens indicarem material alterado, facilmente escavado com rompedores pneumáticos, durante a escavação foi necessário a utilização de desmorte à fogo parcial ou de seção completa. Ao final deste trecho, nas imediações do poço P4 foi evidenciada uma falha do arcabouço rochoso com contato direto com os sedimentos terciários.

Camadas Contínuas de Argilas Siltosas da Formação Resende

Entre os poços P4 e P6, em ambiente supostamente de deposição em regime de calmaria, verifica-se uma espessa camada de argila siltosa, variiegada, de rija a dura, fissurada, sobre uma camada de areia fina argilosa, compacta a muito compacta, marrom amarelada. Junto ao poço P4, na rua Rio Bonito, a camada de argila é interrompida pela falha, onde se nota a presença de sedimentos conglomerados litificados. Para a escavação deste trecho não foi necessário rebaixamento do lençol freático, já que a continuidade da camada de argila sobre a geratriz superior do túnel garantiu o empoleiramento do NA, o que resultou na escavação em areia "seca". Apesar do maciço ser fissurado, não houve problemas de instabilidade de blocos, quer seja pelo alívio de tensões provocado pelo túnel, quer seja pelo fraturamento pronunciado provocado por recente reativação de falhas. Os avanços foram em geral de 1,0 m e o fechamento do arco invertido foi atrasado em relação à frente devido a boa capacidade de suporte da fundação.

Transição entre as Camadas Argilosas Contínuas e Depósitos Erráticos

Entre os poços P6 e P9, trata-se da transição entre uma região de um ambiente de deposição calma, de comportamento geotécnico homogêneo, para um ambiente de camadas de argila menos espessas, fissuradas, e sem continuidade lateral. As camadas terciárias por onde se desenvolve o túnel são predominantemente areias finas e médias, com algumas porções de areia grossa com cascalhos finos. O rebaixamento do lençol freático foi efetuado por duas linhas de poços profundos com espaçamento entre poços de 5,0 m, e profundidades em torno de 20,0 m. A presença de lentes de argila distribuídas aleatoriamente dentro do maciço provocou o empoleiramento local do lençol freático e dificultou a eficiência do rebaixamento, que não foi capaz de evitar a ocorrência de algumas infiltrações combatidas através de drenos internos. Em pontos isolados houve a necessidade de Dhp's à vácuo, e dispositivos auxiliares como enfilagens cravadas e consolidação do contato areia/argila.

Travessia sob os Trilhos Ferroviários com Baixa Cobertura de Argila

A passagem sob os trilhos da ferrovia se deu sob uma baixa cobertura de argila com lençol freático empoleirado acima da geratriz superior do túnel, conforme se verifica na Figura 4 a seguir. Devido a impossibilidade de se executar poços de rebaixamento a partir da superfície, adotou-se um sistema de Dhp's à vácuo inclinados, instalados a partir da lateral do túnel, de modo a reduzir a pressão hidrostática sobre a camada de argila. Juntamente com este procedimento, o túnel foi escavado com altura reduzida (túnel piloto) para permitir drenar previamente o maciço, e posteriormente foi escavado o trecho superior. O túnel se encontra a cerca de 10 m de profundidade e os recalques superficiais foram da ordem de 0 a 2,0 mm.

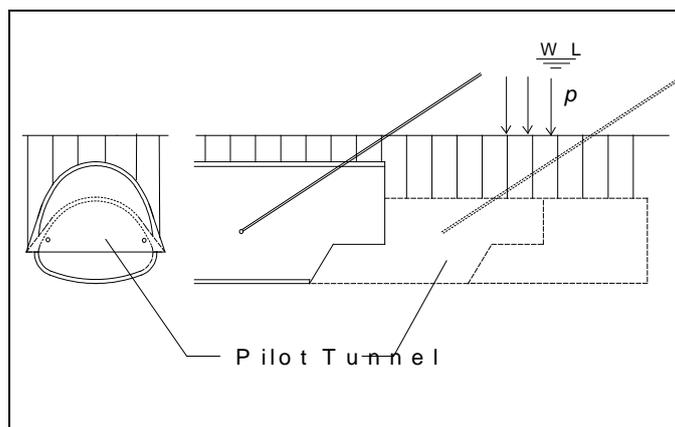


Figura 4. Metodologia Construtiva com Túnel Piloto.

Esessos Depósitos de Areias e Lentes de Argila

A transição para o trecho de predominância de areias de granulação variada, siltosas, compactas a pouco compactas, torna-se evidente a partir da rua do Gasômetro (poço P11), onde é mais rara a presença de lentes de argila. Todo esse trecho foi escavado com auxílio de poços de rebaixamento profundos distribuídos dos dois lados do túnel. O rebaixamento se mostrou eficiente, conferindo ao maciço arenoso uma coesão aparente, o que garantia “stand-up-time” suficiente para o processo. Ensaios de bombeamento e dados de piezometria indicaram valores de permeabilidade da ordem de 5×10^{-3} cm/seg, com vazões iniciais de $4,0 \text{ m}^3/\text{h}/\text{poço}$ e vazões estabilizadas da ordem de $0,5 \text{ m}^3/\text{h}/\text{poço}$. Os poços foram implantados dos dois lados do túnel, com profundidades em torno de 20 m, e espaçados a cada 5,0 m.

A partir do poço P12, os sedimentos Terciários são predominantemente areias finas a médias, siltosas, cinzas, pouco compactas a fofas, de comportamento geotécnico bastante peculiar, já que se comportam como areias limpas, sem coesão, enquanto as partículas finas (siltes) conferem uma maior fluidez ao solo mesmo sob baixos gradientes hidráulicos. Enfrentaram-se problemas graves para a escavação deste trecho devido à presença de caminhos preferenciais de percolação associados à baixa resistência ao carregamento (corridas de areia).

Para viabilizar a escavação do túnel o greide teve que ser rebaixado de modo a atravessar uma porção mais compacta do sedimento Terciário. Foram executadas enfilagens na coroa e frente com consolidação através de injeções químicas e drenagem por dhp’s à vácuo. O avanço foi realizado com arco provisório e avanços de 0,60 m.

Este trecho é fortemente condicionado pelo rio Tamanduateí, fato melhor avaliado por Cozzolino et al (1994), e tem seu regime hidrogeológico comandado pelas variações deste mesmo rio.

Argilas Abruptamente Interrompidas na Frente de Escavação

Entre os poços P14 e P15, ocorrem de lentes argilosas com pouca continuidade lateral. Apesar da instalação de poços profundos e dhp’s à vácuo, a água, através de caminhos preferenciais de percolação, carrega os materiais menos coesos das camadas superiores para o interior do túnel. A hipótese de tectonismo recente na região do rio Tamanduateí poderia explicar a grande dificuldade em se estabelecer um modelo para este tipo de solo, Cozzolino et al (1994) inclusive, justificam os baixos valores de SPT obtidos nas argilas profundas a este fenômeno. Na frente de escavação foram observadas argilas interrompidas e sismitos, registros de movimentos pós e sin sedimentares. As escavações foram auxiliadas por poços profundos, dhp’s à vácuo, e parcializações de seção.

Travessia sob o rio Tamanduateí

O solo é constituído por uma espessa camada de areia fina e média, cinza, e areias argilo-siltosas, amarelas, com índices SPT variando entre 10 e 40 golpes, entremeada por lentes de cascalhos e areias grossas. Camadas de argilas siltosas rijas abruptamente interrompidas foram observadas, corroborando para o fato de que a região também teria sido submetida a movimentos tectônicos sin e pós sedimentares.

A travessia foi construída a partir do poço P15 em direção ao P16, com extensão da ordem de 150 metros e profundidade de cerca de 30 m nas vias marginais e de 10m do fundo do rio. Esta profundidade foi condicionada pela presença dos estações de contenção e suporte da Av. do Estado.

Devido á dificuldade de se intervir a partir da superfície, o túnel foi tratado internamente por técnicas de jet-grouting. Para a proteção da coroa foram executados lances de colunas justapostas de CCPH com escavação em câmara cônica, e para proteção da frente, septos de colunas de CCPH, já que alta permeabilidade das areias e o elevado valor das pressões hidrostáticas não permitiria avançar somente com drenagem interna.

Com relação a presença de areias no entorno da escavação submetidas a elevada pressão hidrostática, o risco de “piping” durante as operações de perfuração e tratamento era elevado. Desta maneira, foram utilizadas pela primeira vez as válvulas tipo “preventer” que tinham como objetivo controlar o volume do refluxo e permitir paralisar os serviços quando fosse necessário. Nas figuras 5 e 6 é possível visualizar a travessia e os métodos executivos adotados.

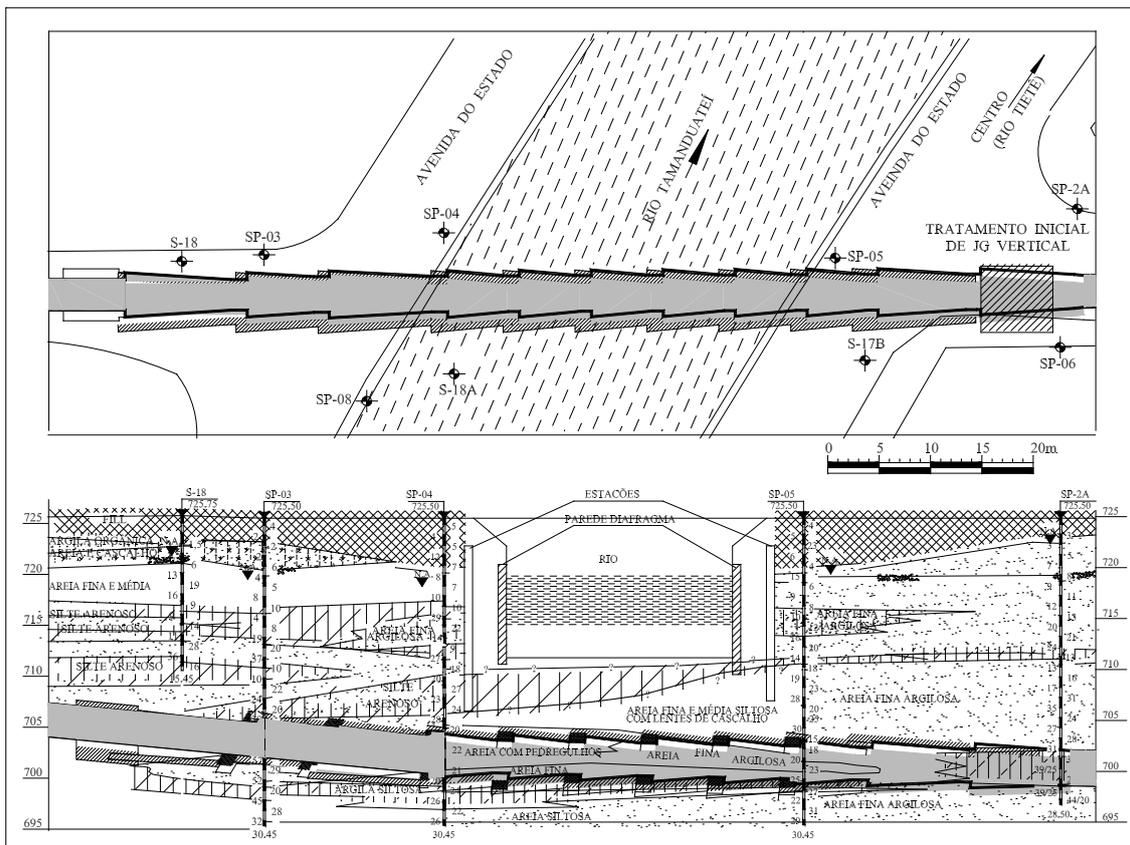


Figura 5. Planta e Perfil Longitudinal na Travessia do Rio Tamanduaé (Apud Guateri et al - 1998)

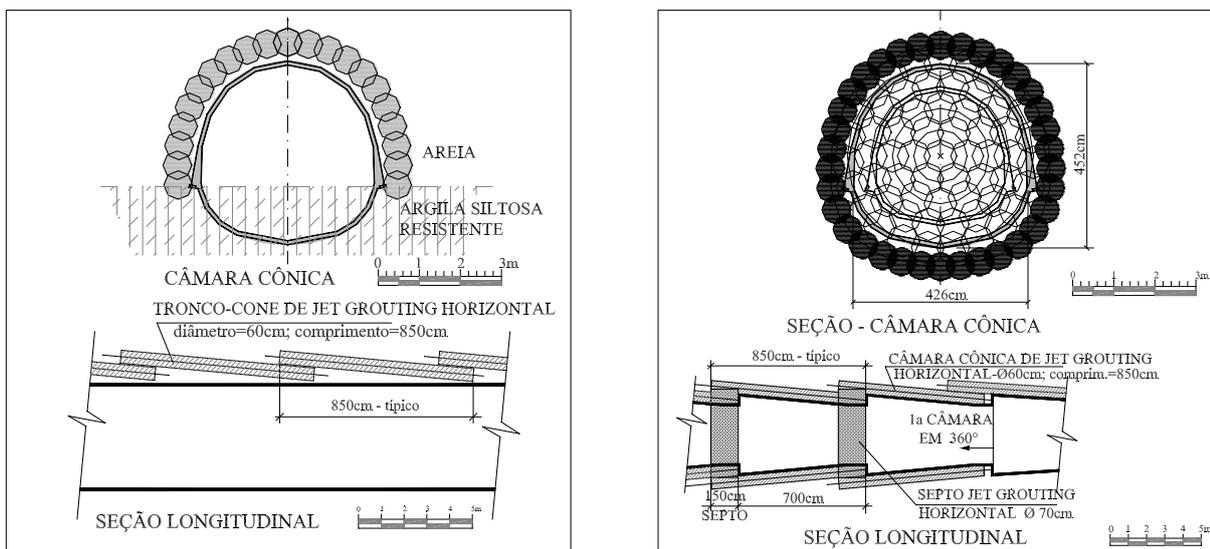


Figura 6. Esquemas Típicos de Tratamento na Travessia do Rio Tamanduaé

Escavação em Areias Isoladas por Camadas Argilosas

Entre P16 e a ETT Miguel Reale, o túnel se desenvolveu em areias siltosas a areias argilosas. Acima da geratriz superior, ocorria uma camada de argila siltosa, dura, que isolava o túnel dos sedimentos Quaternários aluvionares. Onde a camada de argila se mostrava pouco espessa, foram instalados poços de rebaixamento curtos para alívio da pressão hidrostática e drenos à vácuo executados internamente ao túnel. Por se tratar de uma região de várzea, na rua Prof. Demóstenes e na rua Teixeira Mendes, a camada de argila foi erodida por um antigo afluente meandrante

do rio Tamanduateí, encontrando-se nestes locais preenchimentos de sedimentos Quaternários que foram devidamente consolidados antes da escavação.

CASO DE RUPTURAS

Ruptura na Rua Carneiro Leão (P13-P12)

Conforme mencionado, o túnel vinha sendo escavado em uma camada de areia siltosa terciária, entremeada por lentes de cascalhos finos e pedregulhos, cuja permeabilidade elevada se mostrou acima do previsto, pois os pedregulhos de maior diâmetro não são recuperados no amostrador e as amostras indicavam que a matriz fosse predominantemente arenosa. Notou-se no decorrer das escavações que o comportamento das areias do topo do sedimento Terciário se assemelhavam ao dos depósitos aluvionares mais do que das areias típicas encontradas ao longo da bacia.

Basicamente dois fatores contribuíram para a ruptura. O primeiro foi a distância entre a camada de pedregulho na base do Quaternário, muito permeável, da frente de escavação. Como a camada de pedregulho comporta-se como um aquífero com alta permeabilidade, a rede de fluxo que se estabelece nestes casos apresenta gradiente hidráulico desfavorável, conforme apresentado na Figura 7.

Outro fator que contribuiu de maneira marcante para a ocorrência da ruptura foi a presença de caminhos preferenciais de percolação formados por estacas e restos de construções antigas, assim como bolsões de areia fofa, não detectados pelas sondagens, e só verificados durante a escavação. Desta forma, a água comunicou-se diretamente com a escavação do túnel em vez de escoar para os poços de rebaixamento. Associado aos fatores acima, as camadas de areia interceptadas pelo túnel neste trecho são bastante susceptíveis ao carreamento, areias limpas siltosas, o que tornou o problema mais complexo do ponto de vista geotécnico.

Com o objetivo de evitar a repetição do fenômeno acima, e também grandes extensões de consolidação de solo, o greide do túnel foi rebaixado de modo a aumentar a distância entre a escavação e a camada de pedregulho, tornando também menos provável a existência de caminhos preferenciais. O sistema de rebaixamento também foi ampliado com a instalação de poços curtos intercalados aos profundos com o objetivo de reduzir a realimentação do aquífero.

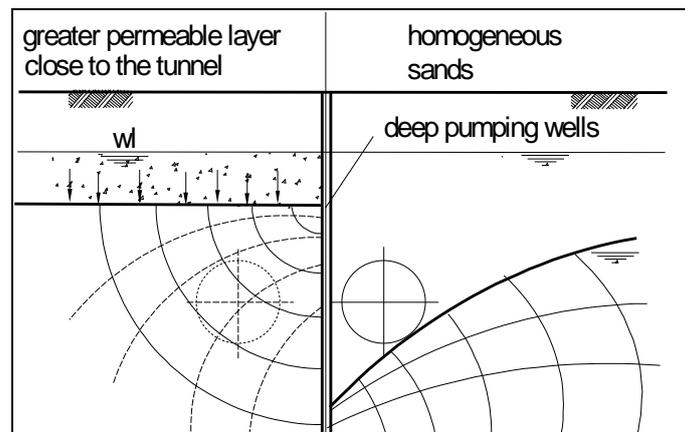


Figura 7 - Comportamentos diferentes de rebaixamento do lençol por poços.

Ruptura na Rua Teixeira Mendes (P17 e P18)

As escavações eram realizadas em areias de granulação variada, pouco siltosas a argilosas, roxa e amarela, protegidas ao nível da coroa por uma espessa camada de argila roxa e vermelha, dura, que contribuía para o isolamento dos sedimentos quaternários, estimada como contínua a partir das sondagens realizadas a cada 20 m ao longo do traçado. O rebaixamento do lençol era composto por um sistema de drenos à vácuo executados internamente e poços curtos, executados a partir da superfície para alívio da carga hidráulica sobre a camada argilosa.

De forma repentina, durante os avanços ocorreu o desmoronamento da lateral esquerda do túnel, trazendo para a seção solos diversos com grande escoamento de água. Realizada uma sondagem no local, pôde-se verificar que a camada de argila estava interrompida.

Após várias tentativas simples de contornar o problema e retomar a escavação, que não foram bem sucedidas, optou-se pela consolidação do maciço através de colunas de “Jet Grouting” verticais. Para evitar que fosse necessário consolidar o maciço adiante, o alinhamento do túnel sofreu um desvio em seu traçado para continuar sob a proteção da camada argilosa. Após esta região, a escavação prosseguiu normalmente com o mesmo esquema de drenos internos e poços curtos para captação do lençol empoleirado sobre a camada de argila. Na figura 8 se tem um perfil esquemático.

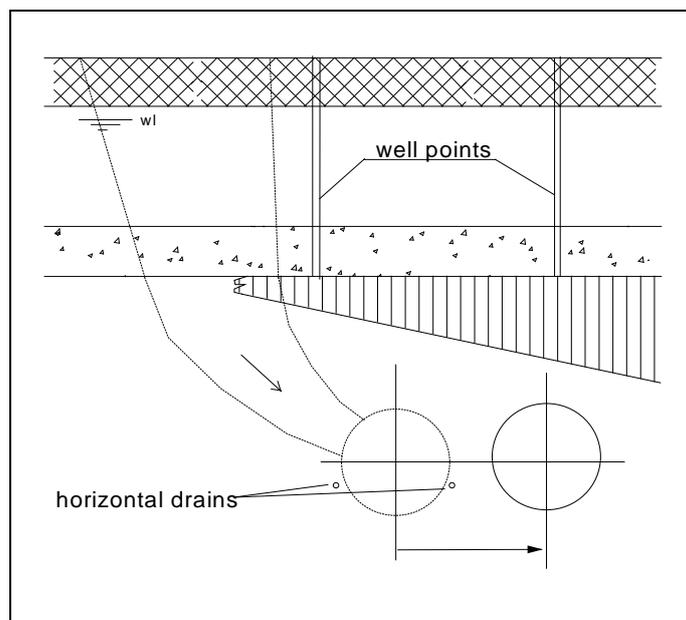


Figura 8. Ruptura ocorrida pela interrupção abrupta da proteção da camada de argila.

CONCLUSÃO

Por fim, cabe salientar que a escavação de túneis pelo processo NATM ao longo da parte baixa da bacia Sedimentar de São Paulo exige dos especialistas a adoção de soluções inovadoras e criativas, norteadas pelo acompanhamento detalhado das frentes de escavação, o que acaba tornando sempre o processo interativo entre projeto, obra e ATO. A diversidade de solos encontrada em uma só obra é um caso ímpar em obras subterrâneas na cidade de São Paulo e sua experiência é de grande valia para as futuras obras a serem implantadas nesta região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'saber, A. Geomorfologia do sítio urbano de São Paulo. Boletim de Geografia, n.219, São Paulo, 1957.
- Riccomini, C. et al. Evidências de hidrotermalismo em sedimentos da Bacia de São Paulo: Considerações Genéticas. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 60(1): 105-106, 1988.
- Riccomini, C.; O Rift continental do sudeste do Brasil. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da USP, 1989.
- Cozzolino, V.M.N. et al. Contribuição ao estudo dos movimentos tectônicos sin e pós-sedimentares na Bacia de São Paulo a partir de evidências observadas nas escavações do túnel da Eletropaulo. Revista Solos e Rochas, São Paulo, 17(1):131-29, 1994
- Guatteri, G.; Mosiici, P.; Koshima, A.; Postiglione, P.; Costa da Silva, A. F. "Jet Grouting horizontal no túnel – travessia sob o rio Tietê. 3o Simpósio Brasileiro de Escavações Subterrâneas" ABMS, ABGE, CBT, CNPq e UnB, Brasília, p.369-381, 1994 a.
- Guatteri, G., Mosiici, P., Doro Altan, V., Koshima, A. "Brazilian Experience in jet grouting treatments in difficult tunnels' construction". Proceedings of the World Tunnel Congress '98 on Tunnels and Metropolises, São Paulo / Brazil /- A. A. Balkema, Rotterdam, p. 1021-1026; April 1998.
- Martinati, L.R. "Aspectos construtivos e geotécnicos relativos à construção de um túnel de 5,4km escavado ao longo da bacia sedimentar de São Paulo. Turb99, 3o Simpósio Sobre Túneis Urbanos, ABGE, CBTU, IESP, p.113-125, São Paulo, 1999.