



Exploração e Apresentação de Aspectos Técnicos do Projeto Especial de Fundação de um Edifício de 28 Pavimentos sobre a Linha do Metrô - SP

Alberto da Silva Pôrto
Diretor Operacional, Consultrix Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil,
alberto@consultrix.com.br

Guilherme Araújo Velasco Silva
Autônomo, Engenheiro Civil, São Paulo, Brasil, guilherme.araujo.silva@usp.br

Marcelo Ferreira dos Santos
Diretor Técnico, Consultrix Engenheiros Associados, São Paulo, Brasil,
ferreira@consultrix.com.br

RESUMO: O trabalho tem como objetivo explorar e apresentar os aspectos técnicos do projeto de fundações de um empreendimento de 28 pavimentos na cidade de São Paulo. Este possui uma alternativa de solução para evitar conflito e incompatibilidade com o túnel de Metrô em construção. Para isto, foi concebida a solução de engenharia que consiste num bloco único de fundação apoiado em estacas em sua extremidade, de forma a se evitar a região de influência e alterações nas condições de carregamento sobre o túnel.

O artigo aborda as premissas exigidas pela concessionária do Metrô, como estas influenciaram a concepção da solução de engenharia e apresenta os cálculos e análises realizadas para validar os aspectos técnicos, atendimento às restrições e dimensionamento da fundação. Para obtenção de parâmetros do solo para a modelagem, foi feita a correlação com os ensaios SPT (Standard Penetration Test) feitos in loco e provas de carga prévia em estacas.

PALAVRAS-CHAVE: Fundações Profundas, Fundações Especiais, Túnel de Metrô, Elementos Finitos, Recalque Diferencial

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



1 Introdução

Não é incomum a existência de fatores limitantes ou premissas restritivas para definição da solução técnica de Fundações e Contencões, como, mas não limitado a, intensidade de esforços solicitantes, tipo e competência de solo, acesso de equipamento, situação estrutural de imóveis vizinhos, logística de obra e custo de execução. No caso a ser apresentado, a restrição existente era a previsão da construção do túnel da linha de Metrô que transpassava o terreno a ser incorporado. De forma a se descaracterizar a obra, se evitará a exposição de informações que possam identificá-la.

2 Objetivo

O trabalho tem como objetivo explorar e apresentar os aspectos técnicos do projeto de fundações de um empreendimento na cidade de São Paulo. Este possui uma alternativa de solução para evitar conflito e incompatibilidade com um túnel de metrô em construção

3 Condições de Contorno

3.1 Características do Empreendimento

O empreendimento a ser estudado é um edifício de 28 pavimentos e dois subsolos na cidade de São Paulo. A construção possui pilares de carga solicitante vertical até 1700tf, sendo que a maior parte dos pilares sobre a projeção do túnel possuem carga entre 750tf e 950tf.

3.2 Localização do túnel no terreno

A projeção do túnel (diâmetro de ~ 10,6m) corta o terreno ao meio, a 45 graus em relação à uma das frentes do terreno. Isto inviabilizou alternativas de projeto de arquitetura com projeção da torre fora da projeção do Túnel do Metrô.



Figura 1. Projeção do Túnel no terreno.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





O topo da escavação do túnel, em relação à cota natural do solo, estaria enterrado em ~ 27,3m e, em relação ao piso do segundo subsolo do empreendimento, em ~ 19,8m.

3.3 Caracterização do solo

Para caracterização do solo, foi feita sondagem à percussão SPT, que expôs o seguinte padrão para o solo:

- Camada inicial de 4m, de argila siltosa mole preta e de Nspt zero e NA na cota -2,0;
- Camada de 4m, de argila siltosa rija a muito rija e de Nspt, crescente metro a metro, variando de 8 a 21 golpes;
- Camada de 6m, de argila siltosa muito rija a dura e de Nspt variando entre 25 e 30 golpes;
- Camada de 2m, de areia siltosa muito compacta e de Npt maior que 60 golpes;
- Camada de 4m, de argila siltosa dura e de Nspt entre 35 e 40 golpes;
- Camada de 5m de areia argilosa muito compacta e de Nspt entre 33 e 42 golpes.

3.4 Restrições

O túnel em execução pelo método New Austrian Tunnelling Method (NATM) com equipamento *Tunnel Boring Machine (TBM)* é constituído de anéis de concreto que trabalham em compressão gerado pela tensão da massa de solo e neutra, praticamente equilibrada. Dessa forma, as restrições existentes são em termos de tensão máxima aplicada na superfície do túnel, novas solicitações para análise de dimensionamento dos anéis de concreto, deformações máximas e acréscimos / alívios de pressões no entorno do túnel.

4 Solução inicial

Tentando encontrar uma solução, considerando as restrições existentes, foi estipulada a solução de fundação com estaca em hélice contínua monitorada. Para a área da torre sobre a projeção do túnel, haveria um bloco único no qual a cota de ponta das estacas ficaria 7 m acima do topo do túnel, resultando em um comprimento máximo de 8 m para as estacas, estando essas estaca com cargas reduzidas. Neste modelo, verificou-se não atendimento às restrições do Metrô e um reforço do solo em Jet Grouting foi cogitado para utilização entre a ponta das estacas e o topo do túnel do Metrô. As estacas Hélice Contínua na projeção do túnel seriam de diâmetro de 1 m e teriam carga de trabalho de até 1800 kN. As demais estacas teriam comprimento útil de até 22 m, variando entre diâmetros de 40 cm e 100 cm com cargas usuais.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.





Figura 2. Solução Inicial – Vista em Planta

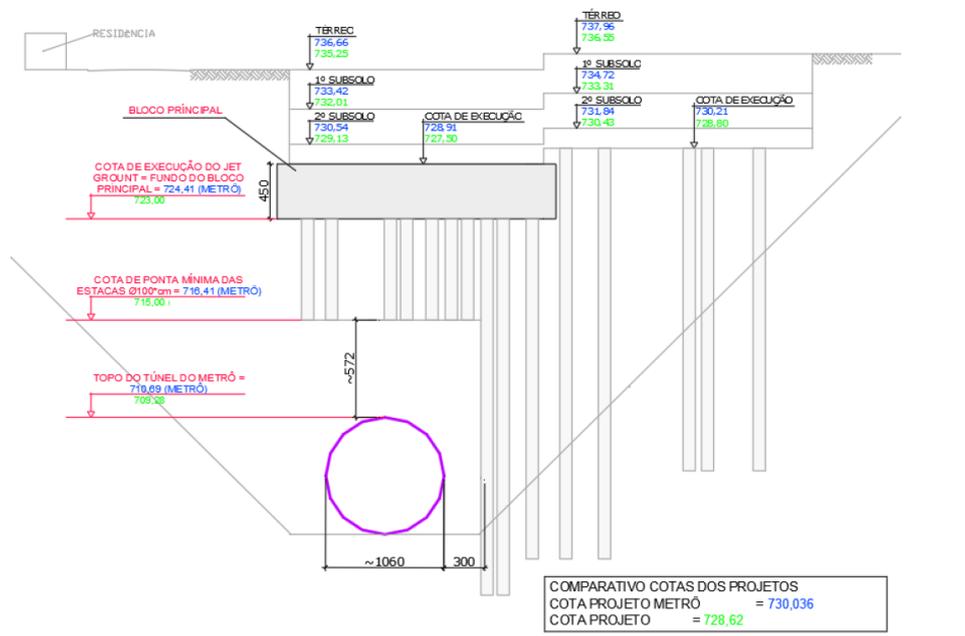


Figura 3. Solução Inicial – Vista em Corte

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



4.1 Simulações

Com o auxílio de software geotécnico de cálculo por elementos finitos, Plaxis 3D, foi feito a simulação da solução para se verificar os impactos que as cargas provenientes da fundação do edifício poderiam gerar na superfície do túnel do metrô com .

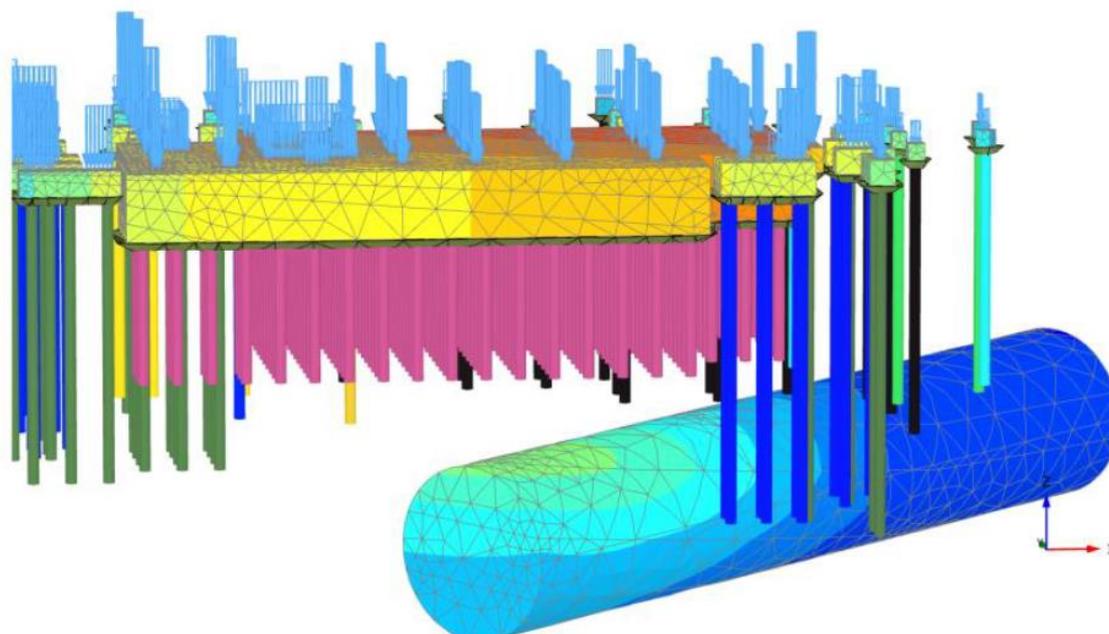


Figura 4. Imagem de Modelo Simulado no Plaxis 3D

Com o objetivo de entender recalques e tensões no solo, foram feitos 3 modelos:

- Modelo considerando apenas a existência do prédio;
- Modelo considerando apenas a existência do túnel;
- Modelo considerando o prédio e o túnel.

Com isso, foi feita uma sobreposição entre resultados e se observou a variação da combinação dos dois elementos.

4.2 Resultado das simulações

Através das simulações, foi obtido uma variação no recalque do prédio, com um acréscimo de 40 mm, o que não seria impactante para o edifício. No entanto, houve um acréscimo de 225 kN/m² de tensões sobre a superfície do túnel, 25 kN/m² acima do que seria considerado pelo metrô uma sobrecarga ainda aceitável.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



5 Solução alternativa

Enquanto esta solução, com adequações a serem consideradas, estava em discussão com o Metrô, a incorporadora necessitava dar início nas obras devido ao compromisso com clientes e mitigar os impactos nos resultados financeiros do empreendimento. Como a solução inicial exigiria maior prazo para a complementação de estudos geotécnicos e nova interação entre consultores e Metrô, a empreendedora decidiu por aceitar uma solução mais conservadora, que não necessitaria de maiores discussões com a companhia de transporte.

Dessa forma, foi definida uma solução em estaca escavada com fluido estabilizante no qual estas estacas ficariam a uma distância de 3,0m da face do túnel. Assim, o conjunto bloco e estacas formariam uma “mesa”, sob qual o túnel passaria. As estacas possuem de 100 cm a 200 cm de diâmetro e comprimentos úteis entre 18 a 57 m.



Figura 5. Alternativa de Solução – Vista em Planta

Além da restrição da faixa, foi desprezada a capacidade de carga dos trechos das estacas que estariam dentro da envoltória gerada pela “canaleta” que forma 45 graus no encontro do eixo vertical e da base do túnel, conforme imagem:

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



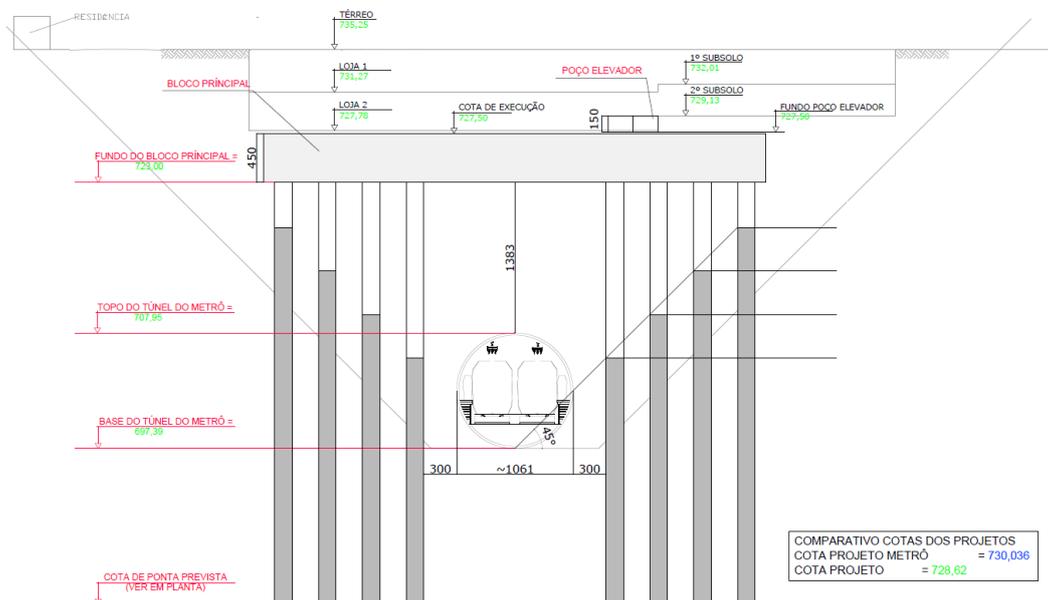


Figura 6. Solução Alternativa – Vista em Corte

A solução foi aceita pela Companhia do Metrô, havendo apenas o reforço dos anéis no trecho de sobreposição com as fundações do edifício.

Para confirmação da capacidade de carga, foi realizado um ensaio de carga estático bidirecional com a estaca hélice. De forma retroativa, foram confirmados os parâmetros de solo para dimensionamento do atrito lateral.

6 Impactos em consumo de material

Havendo a preferência da incorporadora no compromisso com os prazos acordados, optou-se pela segunda opção, na qual além da mudança de solução de execução, houve mudança de disposição, diâmetro e comprimento de estacas.

Analisando a consumo de materiais, desconsiderando blocos e complementos, houve um aumento considerável de concreto, bem como de aço para as estacas, uma vez que estas trabalhariam também a flexão para compensar o “vão” do bloco de fundações, sob o qual passava o túnel.

6 Conclusão

Em função cada vez mais de possibilidade de interferência da ampliação da malha do Metrô na cidade de São Paulo com novas construções, é importante que as construtoras estejam atentas a esta questão para análise de viabilidade técnica-econômica do seu produto antes do lançamento e vendas.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.



Estas questões podem ser de simples tratativa com o Metrô, quando há um afastamento significativo da construção, havendo necessidade para afastamento de até 100 m. Podem ser, por outro lado, bastante complexas e de solução demora para os casos como este aqui tratado, onde houve prejuízos em relação ao prazo de início das obras e custo de forma geral.

Análises complexas para verificação das restrições do Metrô, a exemplo de acréscimos ou alívios de tensões no futuro túnel ou mesmo existente, podem auxiliar com soluções técnicas mais interessantes, assegurando segurança para as construções e otimização de custos.

Para o caso aqui apresentado, foi possível verificar todas as dificuldades com essas tratativas e tempo demandado com análises de diversos cenários e reuniões de esclarecimento, para chegar na solução a ser considerada.

7 Bibliografia

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). NBR 6122. Projeto e Execução de Fundações. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2014). NBR 6118. Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro.

Aponte a câmera do seu
smartphone para o
QR Code ao lado e salve o
evento na sua agenda.

