

CONSIDERAÇÕES SOBRE ESTAÇÕES ENTERRADAS DO METROPOLITANO DE LISBOA

CONSIDERATIONS OF LISBON'S UNDERGROUND STATIONS

Camilo Vaz, Filipa, *Ferconsult, S.A., Lisboa, Portugal, filipa.vaz@ferconsult.pt*
Flor, António Tavares, *Ferconsult S.A., Lisboa, Portugal, antonio.flor@ferconsult.pt*

RESUMO

Devido à necessidade de aproveitamento de espaço no meio urbano, o Metropolitano de Lisboa E.P. (ML) recorre ao uso do subsolo para a construção de túneis, que por vezes atingem profundidades da ordem dos 25 metros, requerendo a construção de estações. Obras deste tipo requerem critérios e análises adequados, na medida em que se inserem em zonas fortemente urbanizadas, sendo prioritário garantir a minimização dos impactes que possam provocar na vizinhança da obra.

Para o estudo de estações enterradas, são elaboradas análises de danos e de risco à envolvente da mesma e realizando-se a compatibilização com eventuais infra-estruturas existentes no subsolo.

ABSTRACT

Since there is a need to make good use of space in urban areas, The Lisbon Metro (ML) uses the ground to build tunnels, which often reach a 25 meters depth and require the building of stations to access them. This type of works demand a choice of appropriate criteria and analyses, once they are located at highly built up areas and it is extremely important to assure that the impact of the works on the surrounding sites is minimized.

In order to study underground stations, risk and damage analyses should be performed to the surrounding areas. It is also important to carry out the compatibilization with the existing infrastructures in the subsoil.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbanístico das cidades implicou a expansão da rede colectiva de transportes. Como o espaço urbano, à superfície, é cada vez mais limitado, um tipo de transporte ferroviário subterrâneo, como o metropolitano, constitui um tipo de transporte cada vez mais eficaz.

As estações estão localizadas, sensivelmente, de forma equidistante na mesma linha. Geralmente a sua localização confronta com zonas densamente urbanizadas. Assim, a execução das estações, deve por isso ser compatibilizada com as infra-estruturas envolventes de modo a minimizar os impactos que possam ocorrer nas estruturas pré-existentes. De facto, um dos principais aspectos que é tomado em consideração neste tipo de obras é a sua ocupação da via pública com consequência ao nível do desvio de trânsito e das infra-estruturas das várias concessionárias.

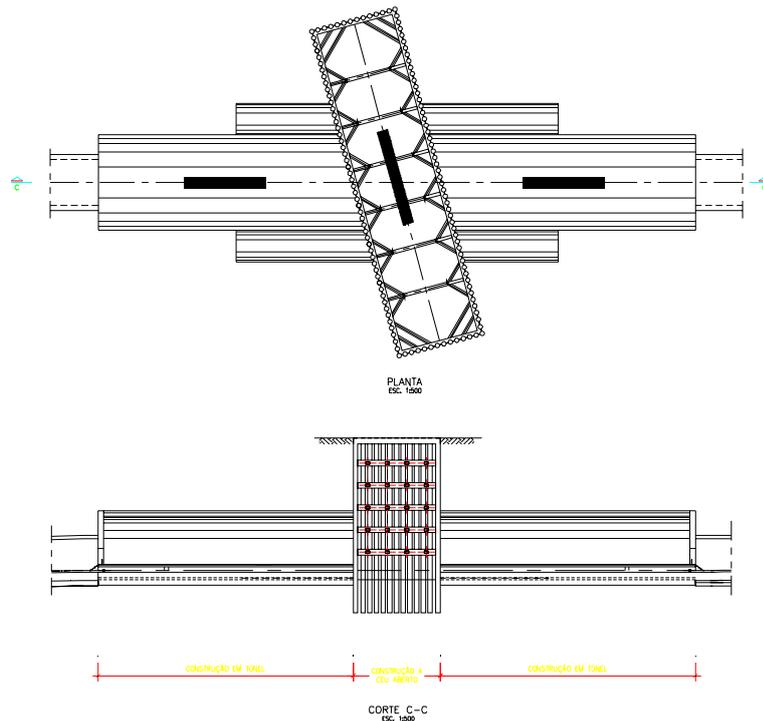


Figura 3 – Execução a céu aberto e em túnel, tipologia: átrio central

A segunda tipologia caracteriza-se pelo acesso à estação ser feito pelos topos, ou seja existirem dois átrios independentes. Nesta hipótese o acesso à plataforma de embarque é realizado nos extremos do cais, ver Figuras 4 e 5.

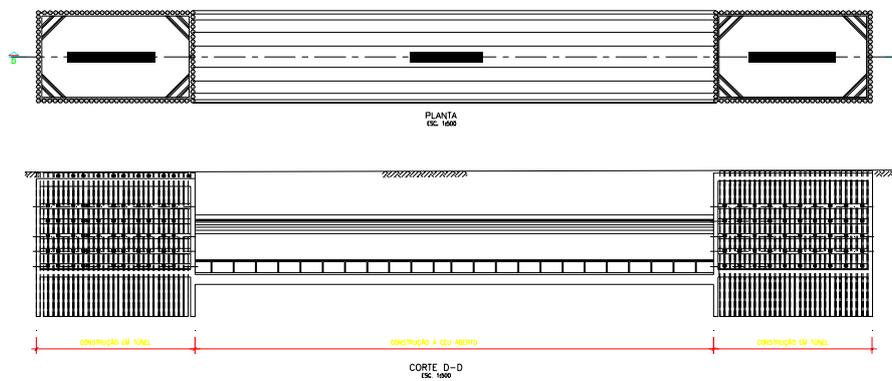


Figura 4 – Execução a céu aberto e em túnel, tipologia: dois átrios no topo da estação

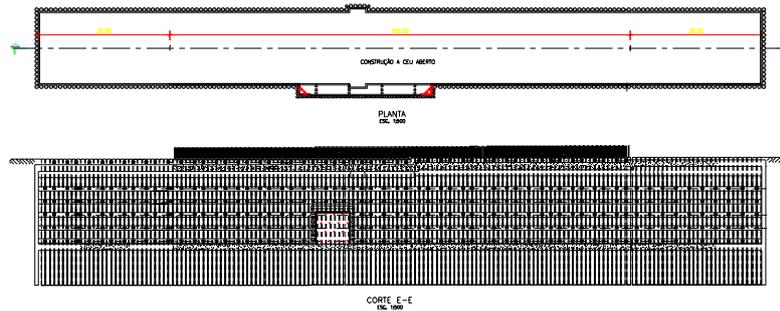


Figura 5 – Execução a céu aberto, tipologia: dois átrios no topo da estação

Para além dos átrios de acesso ao cais existem os acessos que, em geral, ligam a superfície ao átrio. Deste modo, a área de intervenção em planta para a execução de uma estação é considerável, existindo, durante a sua construção, impactes no meio envolvente, que carecem de ser atenuados.

3. CONDICIONALISMOS

3.1 Geologia e Geotecnia

As características geológicas e geotécnicas dos terrenos interessados pela estação, constituem um dos aspectos fundamentais para a concepção da mesma, nomeadamente ao nível dos métodos construtivos e do dimensionamento estrutural. Deste modo, torna-se imprescindível existir prospecção e ensaios específicos para cada estação. Com base nestes ensaios é elaborado uma peça designada por caracterização geológica e geotécnia. Dada a incerteza associada à caracterização do terreno e aos modelos de comportamento idealizados complementarmente recorre-se usualmente ao método observacional. Para o utilizar é necessário serem satisfeitos, antes do início da construção os seguintes princípios:

- Estabelecer limites do comportamento aceitável.
- Determinar a gama de variação dos comportamentos possíveis, demonstrando que existe uma probabilidade aceitável de que o comportamento real se situe dentro dos limites estabelecidos.
- Elaboração de um plano de observação, com o objectivo de verificar se o comportamento real se situa dentro dos limites estabelecidos (tipo de equipamentos e periodicidade de leituras).
- Previsão de um plano de actuação a ser adoptado, no caso de a observação revelar um comportamento fora dos limites estabelecidos.

Deste modo o método observacional permite adequar o comportamento real da estrutura ao idealizado através da caracterização geotécnica estimada e dos modelos de cálculo utilizados em projecto.

Em termos hidrogeológicos, aspecto condicionante neste tipo de obra, interessa definir as suas principais características, como o grau de permeabilidade, o nível de percolação do substrato, a cota do nível freático, a aptidão para acumulação de água, a existência de eventuais camadas suspensas, etc. A sua quantificação é fundamental quer para o processo construtivo quer para o funcionamento da própria estação.

3.2 Infra-estruturas existentes no subsolo

Em geral, as estações enterradas do ML situam-se em zonas urbanizadas, ocasionando assim a interferência com infra-estruturas existentes, nomeadamente redes de distribuição da água, de gás, de telefones, de informações (cabo, militares), de electricidade, de águas pluviais e de esgotos. Quando a localização da estação coincide com as infra-estruturas torna-se necessário elaborar, em conjunto com as concessionárias, estudos que garantam a manutenção dos serviços aos diversos utilizadores. As intervenções podem ir, desde suspensões das tubagens, substituição das mesmas ou reposicionamento noutros locais fora da área de intervenção. Estas intervenções por vezes ocorrem de forma faseada.

O grau de interferência nas redes depende do método construtivo da estação. Deste modo, quanto menor for a área de intervenção à superfície menor é a probabilidade de interferência directa na rede. No entanto, mesmo quando a construção é em túnel, há que analisar os deslocamentos induzidos nas tubagens, devido à execução da cavidade. Desta análise resulta uma intervenção estrutural mais ou menos pesada.

3.3 Edifícios Existentes

A construção de uma estação enterrada vai induzir deslocamentos na sua fronteira. A sua propagação através do terreno, vai provocar deslocamentos/assentamentos nos edifícios adjacentes. No projecto é geralmente definido o grau de dano 1 ou 2 nas edificações como admissível. Este pressuposto envolve a assunção dos custos das reparações caso aquele cenário ocorra.

Para análise da influência da construção nas edificações adopta-se a seguinte metodologia:

- Simulação através de um programa adequado do faseamento construtivo.
- Análise dos deslocamentos à superfície.
- Ajuste aos deslocamentos calculados de uma curva de Gauss, identificação da zona de depressão e elevação.
- Cálculo pelo método de Boscarding e Cording (1989) e pelo método de Burland (1995) da classe de danos da estrutura devido à construção.
- Classificação dos danos associados.

Quando a escavação é realizada a céu aberto, a proximidade das edificações condiciona toda a concepção e execução da contenção periférica, sendo que a principal função da contenção, para além de permitir a construção da estação, é a de minimizar os deslocamentos das estruturas adjacentes à mesma, de forma a cumprir o grau de dano estimado inicialmente.

3.4 Impactes Ambientais

No Estudo de Impacte Ambiental (EIA) são identificadas as medidas de minimização gerais a implementar na Fase de Construção. Em geral os temas abordados são:

- Minimizar o tempo de intervenção para execução da obra, de modo a reduzir o impacte da mesma;
- Minimizar a área de intervenção da obra;
- Minimizar a afectação da vivência privada, da vivência da comunidade e da qualidade de vida da população pela obra (ruído, poeiras, vibração, desvios de trânsito, etc).

Estes aspectos são abordados pormenorizando o faseamento construtivo de modo a permitir o conhecimento das áreas necessárias, zonas afectadas, maior pormenorização do projecto.

3.5 Aspectos de Segurança

Toda a actividade de prevenção de riscos profissionais tem uma matriz de referência baseada num conjunto de nove princípios fundamentais de prevenção:

1. Evitar os riscos.
2. Avaliar os riscos que não possam ser evitados.
3. Combater os riscos na origem.
4. Adaptar o trabalho ao trabalhador.
5. Ter em conta o estado de evolução técnica.
6. Substituir o que é perigoso pelo que é isento de perigo ou menos perigoso.
7. Planificar a prevenção.
8. Dar prioridade à prevenção colectiva em relação à individual.
9. Dar formação e instruções adequadas aos trabalhadores.

Estes princípios devem nortear a acção de todos os intervenientes durante todo o processo de construção. Assim, e sem prejuízo de outros trabalhos que a Entidade Executante, o Coordenador de Segurança em Obra e a Fiscalização venham a identificar, apresenta-se no Quadro 1, uma lista não exaustiva de actividades que envolvem riscos especiais para a segurança e saúde dos trabalhadores, decorrentes da execução do projecto de uma estação.

Quadro 1 – Actividades e Riscos identificados

| N.º | Actividades | Riscos Potenciais |
|-----|--|---|
| 1 | Montagem do Estaleiro | Acesso de pessoas não autorizadas à obra, com eventuais riscos de acidente. Atropelamento de peões. Colisão de viaturas. |
| 2 | Trabalhos em Altura | Queda em altura. Queda de elementos. |
| 3 | Trabalhos Próximos de Via Rodoviária de Tráfego Moderado | Atropelamento. Colisão de viaturas. |
| 4 | Descarga de Equipamentos e Materiais | Queda de objectos. Queda em altura de pessoas. Queda em igual nível. Lesões/Cortes nas mãos. Esmagamento de pés e mãos. Danos materiais. Queda de equipamentos. |
| 5 | Colocação dos Equipamentos no Local de Montagem | Queda de objectos. Queda a igual nível. Lesões/Cortes nas mãos. Esmagamento de pés e mãos. Projectão de partículas para os olhos. Choque eléctrico. Queimaduras por soldaduras. |

| | | |
|----|---|--|
| 6 | Execução de estruturas metálicas | Queda de objectos e ferramentas. Queda em altura. Queda ao mesmo nível. Esmagamento. Perfuração. projecção de partículas para os olhos. Choque eléctrico. Queimaduras por soldaduras. |
| 7 | Acabamentos, Testes e Ensaios Finais | Queda em altura. Queda de igual nível. Lesões/Cortes nas mãos. Perfuração de pés e mãos. Esmagamento de pés e mãos. Choque eléctricos. Queda de objectos e ferramentas. |
| 8 | Demolições Complementares em Taludes de Grande Altura | Queda de objectos. Queda em altura. Colapso de partes existentes. Queda de equipamentos. |
| 9 | Paredes de Contenção Periférica | Queda de objectos. Queda em altura. Estabilidade das áreas confinantes. Derrubamento da cofragem durante a betonagem. Queda de elementos. |
| 10 | Ancoragens Pré-esforçadas e/ou Pregagens | Interferência com serviços afectados. Entalamento dos trados de furação. Projecção de partes metálicas constituintes da cabeça de ancoragem durante o pré-esforço e ensaios de arranque. |
| 11 | Escavações Gerais | Desprendimento e queda de pedras constituintes dos terrenos confinantes. Queda de objectos. Queda em altura. Desmoronamento. |
| 12 | Execução da Estrutura | Queda de objectos. Queda em altura. Queda a igual nível. Esmagamento. Perfuração. |

As acções para a prevenção dos riscos associados à realização dos trabalhos, devem ser objecto de planificação prévia, o que poderá resultar na preparação de um conjunto de projectos, planos e procedimentos relativos à segurança, higiene e saúde dos trabalhadores. Normalmente é considerado o seguinte:

- Faseamento da obra, de modo a poder visualizar o maior número de tarefas a realizar; indicar as tarefas de maior risco para obra;
- Identificação dos riscos, de modo a que o Plano Segurança e Saúde (PSS) possa indicar as medidas preventivas mais adequadas.

3.6 Desvios de Trânsito

Os desvios de trânsito tornam-se necessários para executar a obra de acordo com os pressupostos de projecto inicialmente acordados (tipologia da estação, localização, método construtivo). Este aspecto encontra-se ligado, também, à segurança das edificações existentes dado que em qualquer situação deverá possibilitar o socorro daquela.

3.7 Interferência com as empreitadas adjacentes

A empreitada da estação encontra-se geralmente entre duas empreitadas de túneis. A ligação entre as empreitadas do túnel e da estação dá-se no limite da mesma. Nesta fronteira, tímpano da estação, vai existir a necessidade de trabalho das duas empreitadas, assim um dos seguintes três cenários é possível:

- a empreitada da estação constrói túnel e tímpano em primeiro lugar, chegando a empreitada do túnel do troço *à posteriori*;
- a empreitada do túnel do troço constrói o respectivo túnel e tímpano em primeiro lugar, chegando a empreitada da estação *à posteriori*;
- a empreitada do túnel do troço e da estação chegam ao limite ao mesmo tempo.

Consoante o cenário real, uma ou outra empreitada terá que realizar mais ou menos trabalho, nomeadamente no que se refere à estabilização da frente do túnel do troço.

4. DIMENSIONAMENTO

4.1 Regulamentação

O dimensionamento das estações é feito tendo como base na legislação nacional, nas Normas de Projecto definidas pelo Metropolitano de Lisboa e pelos Eurocódigos. A ordem de utilização da regulamentação para o projecto e para o dimensionamento e posteriores verificações de segurança geral é a seguinte:

- 1º - Normas de projecto de estruturas do Metropolitano de Lisboa.
Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSAEEP).
Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-Esforçado (REBAP).
- 2º - Eurocódigos
EC7 (Geotecnia).
EC8 (Sísmica).
EC3 (Estruturas metálicas).
EC2 (Betão armado).
- 3º - Outra regulamentação, desde que omissa nas anteriores.

4.2 Análises aos ELU e ELUt

O cálculo dos esforços e dos deslocamentos das diversas estruturas é realizado com base em vários tipos de modelos estruturais consoante a situação em estudo, através de programas específicos de cálculo automático, onde são realizados modelos tridimensionais de elementos

barra e elementos finitos, para a análise às acções verticais e horizontais, considerando-se, também, fenómenos de interacção solo-estrutura.

São considerados os Estados Limites Últimos e os Estados Limites de Utilização que a seguir se descrevem:

Estados Limites Últimos

A verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos é feita em termos de esforços, considerando as combinações fundamentais de acções definidas nos regulamentos seleccionados.

Os Estados Limites Últimos que, geralmente, são considerados são, segundo Eurocódigo 7:

- Rotura interna ou deformação excessiva da estrutura ou de elementos estruturais, as quais são determinadas pela resistência dos materiais de construção (Resistência à Flexão, Resistência ao Esforço Transverso, Resistência ao Punçoamento).
- Rotura ou deformação excessiva do terreno, para as quais as resistências intrínsecas do solo ou da rocha contribuem significativamente para a resistência total do maciço.
- Perda de equilíbrio da estrutura ou do terreno devido a levantamento hidráulico ou devido a outras forças verticais, na qual a resistência do solo desempenha um papel menor.
- Rotura do terreno provocada por gradientes hidráulicos.

Estados Limites de Utilização

Os Estados Limites de Utilização que são considerados no projecto são devido à abertura de fendas (fendilhação), deformação, descompressão do betão verificação da tensão máxima de compressão do betão e vibração. Estas verificações dependem do tipo de estrutura em análise.

4.3 – Instrumentação e observação

As obras englobadas num projecto de uma estação enterrada possuem uma forte componente geotécnica, às quais estão sempre associados alguns factores de risco decorrentes do conhecimento sempre limitado que se possui dos terrenos interessados, das incertezas de previsão do seu comportamento e da distribuição e variação das suas propriedades. Estas condicionantes, põem em evidência a necessidade de recorrer a métodos complementares com observação das obras durante a construção e, eventualmente, também em exploração, através da instalação prévia de equipamento específico.

Procura-se, deste modo, obter a comprovação do modelo estrutural e geotécnico que esteve na base do respectivo projecto, verificar as hipóteses admitidas no desenvolvimento do trabalho, medir os valores das grandezas de referência e despistar eventuais hipóteses de comportamentos anómalos das secções observadas.

Para alcançar estes objectivos é elaborado um programa de instrumentação e de observação, que define as grandezas a medir, os locais onde deverão ser efectuadas, a frequência das leituras, o tipo de tratamento dos dados obtidos e os níveis para os quais se consideram toleráveis aqueles valores.

Os cenários de risco, previstos para a construção de uma estação enterrada, são, geralmente:

- Colapso da entivação ou das estacas por carregamento excessivo.
- Deformações de elementos da obra incompatíveis com a sua exploração/fases seguintes da construção.
- Assentamentos à superfície afectando as construções existentes.
- Deslizamento de taludes por descompressão.
- Abertura de fendas em estruturas de edifícios e rotura de canalizações.
- Rotura das escoras e/ou ancoragens.

5. CONCLUSÕES

A concepção de uma estação de metro resulta da interacção entre diversas áreas relacionadas com o traçado, com as condições geotécnicas, com as infra-estruturas vizinhas e com o nível de consequências ambientais. Trata-se de um processo moroso e complicado, pois tem que haver necessariamente uma compatibilização entre estes factores de modo a que a construção da estação respeite todos os requisitos e critérios exigidos, e onde a solução final constitua uma solução que minimize o custo da obra, sem por isso perder capacidade de desempenho da sua função principal: de servir a comunidade num transporte simples e rápido.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Metropolitano de Lisboa (2005), Prolongamento da Linha Vermelha, Oriente-Aeroporto, Memória Descritiva e Justificativa;
- [2] Mair,R.J.; Taylor,R.N.; Burland,J.B; Prediction of ground movements and assessment of risk of building damage due bored tunnelling, 1995.
- [3] Eurocódigo 7, Pré-Norma NP ENV 1997-1.