

## **Remodelação da Estação Saldanha da Linha Amarela do Metropolitano de Lisboa**



**José Eduardo  
Simões Pereira<sup>1</sup>**



**Ivan José de Godoy  
Mazella<sup>2</sup>**



**Guilherme Magossi  
Rodrigues<sup>3</sup>**



**Márcio Coelho  
Rocha<sup>4</sup>**

### **RESUMO**

A presente comunicação objectiva apresentar o projecto de remodelação da Estação Saldanha da Linha Amarela do Metropolitano de Lisboa, no âmbito do Prolongamento da Linha Vermelha entre Alameda e São Sebastião.

Trata-se de um projecto de elevada complexidade técnica e condições particulares impostas pela execução de uma obra com aproveitamento parcial de estruturas existentes e com a manutenção em exploração comercial de uma importante estação do Metropolitano de Lisboa.

A Estação Saldanha está inserida na Linha Amarela e situa-se numa zona comercial e de escritórios de Lisboa. Após a remodelação a Estação Saldanha da Linha Amarela passará a ser designada como Saldanha I e a estação em construção na Linha Vermelha será designada como Saldanha II.

O projecto foi elaborado pela empresa brasileira Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto S/A em associação com a Ferconsult, Consultoria, Estudos e Projectos de Engenharia de Transporte S/A.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Estação Saldanha, Metropolitano de Lisboa, Remodelação, abóbada, Túneis NATM.

<sup>1</sup> Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto S/A, Brasil, simoes@ffcep.com.br

<sup>2</sup> Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto S/A, Brasil, ivan@ffcep.com.br

<sup>3</sup> Figueiredo Ferraz Consultoria e Engenharia de Projeto S/A, Brasil, magossi@ffcep.com.br

<sup>4</sup> Construtora Norberto Odebrecht S/A, Brasil, mcrocha@odebrecht.com

## 1. INTRODUÇÃO

A remodelação da Estação Saldanha da Linha Amarela do Metropolitano de Lisboa insere-se no âmbito da empreitada de prolongamento da Linha Vermelha, Alameda/São Sebastião (ver Figura 1).

A obra, que permitirá a interligação entre as Linhas Amarela e Vermelha, foi adjudicada ao consórcio construtor formado pelas empresas Somague, Bento Pedroso, Mota-Engil e Spie Batignoles em ACE.



Figura 1: Localização da Estação Saldanha no cruzamento das Linhas Amarela e Vermelha.

A obra localiza-se no subsolo da Avenida da República, uma das vias de circulação principais da cidade de Lisboa, no cruzamento com a Avenida Duque de Ávila, próximo à Praça Duque de Saldanha.

O estaleiro de obra sofreu várias alterações ao longo da evolução dos trabalhos assim como os desvios de trânsito que se mostraram necessários. Na fase mais importante da obra foi ocupado o lado Poente da Avenida da República e parte da Av. Duque de Ávila, como se pode ver nas Figuras 2 e 3.



Figura 2: Localização do estaleiro na Avenida da República.



Figura 3: Pormenor durante as escavações.

Distinguem-se claramente como se pode notar na figura 4, 3 zonas de intervenção:

- Zona do Átrio a manter;
- Zona do Átrio Norte a reconstruir;
- Zona da Abóbada a manter e galerias laterais a reconstruir.

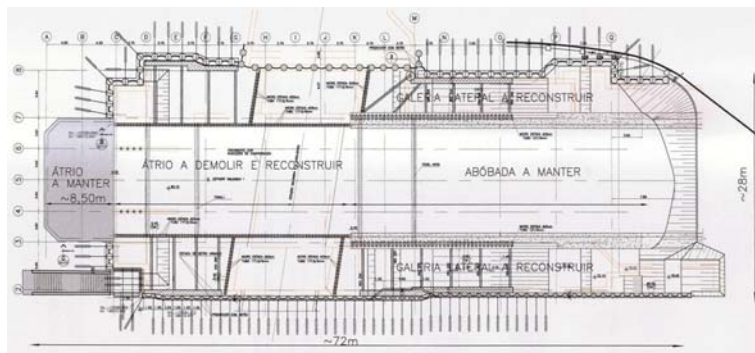


Figura 4: Implantação da obra e zonas de intervenção.

## 2. ANTECEDENTES

Desde a sua inauguração em 1959, a Estação Saldanha passou por diversas alterações em sua estrutura. O projecto arquitectónico original (1959) é da autoria do arquitecto Falcão e Cunha e as intervenções plásticas da pintora Maria Keil [2]. Em 1977 a estação foi ampliada com base num projecto arquitectónico da autoria dos arquitectos Falcão e Cunha e Sanchez Jorge e as intervenções plásticas da pintora Maria Keil. A ampliação da estação implicou no prolongamento dos cais de embarque e a construção de um novo átrio (Norte). Para tanto foi necessária a eliminação de alguns pilares com a execução de vigas-parede transversais de grandes vãos. O projecto de estruturas foi elaborado pela empresa SOMECE. Em 1996 o átrio Norte da estação foi remodelado com base num projecto arquitectónico da autoria do arquitecto Paulo Brito da Silva e as intervenções plásticas do escultor Jorge Vieira e do artista plástico Luis Filipe de Abreu. Em 1997 seria a vez do átrio sul da estação ser remodelado, igualmente com base num projecto arquitectónico da autoria do arquitecto Paulo Brito da Silva e as intervenções plásticas do escultor Jorge Vieira e do artista plástico Luis Filipe de Abreu.

No ano de 2005, já no âmbito da empreitada de prolongamento da Linha Vermelha, foi executado um trabalho de recalçamento de pilares, para permitir a passagem da Tuneladora sob a linha Amarela em operação. O projecto e o acompanhamento dos trabalhos foram realizados por técnicos da Figueiredo Ferraz em colaboração com o Professor António Correia Mineiro. Foram executadas sapatas adicionais e uma série de injeções de compensação de modo a controlar as deformações expectáveis ao nível da via em operação. Tais injeções foram executadas através de um poço escavado com contenções por estacas de betão armado junto ao cruzamento da Avenida da República com a Avenida Duque de Ávila. O projecto estrutural da presente remodelação da Estação Saldanha I teve início logo em seguida e ficou a cargo da Figueiredo Ferraz, assim como o acompanhamento técnico em obra que se fez necessário pela complexidade dos trabalhos envolvidos. [1]

Como o projecto arquitectónico elaborado pelos Arquitectos Germano Venade e Paulo Brito e Silva demandava a demolição de estruturas e uma das premissas do Metropolitano de Lisboa foi a manutenção em exploração da Linha Amarela, tornou-se necessária a montagem de uma estrutura metálica provisória de protecção da via de modo a garantir-se a segurança dos utentes.

### **3. PASSAGEM DA TUNELADORA SOB A LINHA AMARELA**

Os trabalhos precedentes ao atravessamento sob a Linha Amarela pela tuneladora que escavou o túnel de via da Linha Vermelha compreenderam um recalçamento de alguns pilares do Átrio Norte e injeções de compensação. [4]

O recalçamento dos pilares existentes exigiu a betonagem de sapatas e pormenores especiais de transferência de carga. Para o tratamento de solos chamado de “injecções de compensação” foi necessário escavar um poço contido por estacas e escoramentos metálicos próximo à zona do cruzamento das Linhas Vermelha e Amarela.

Entre a cota da geratriz superior do túnel a escavar e a drenagem central da via da Linha Amarela foram executados furos formando um arco protector e deixados tubos de fibra de vidro prontos a receber injeções de calda de cimento.

As deformações obtidas durante a execução das injeções e durante a passagem da tuneladora mantiveram-se abaixo dos valores limites absolutos e diferenciais estabelecidos para os edifícios e para a via da Linha Amarela, que foram intensivamente monitorizados.

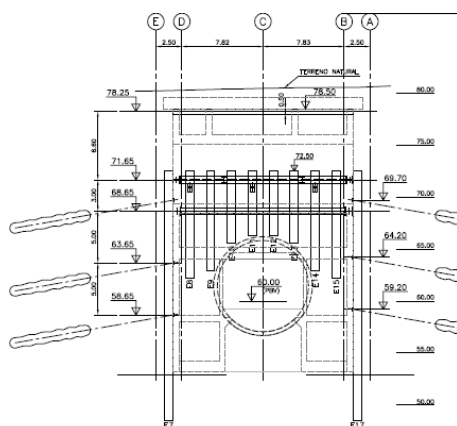


Figura 5: Corte do poço de injeções de compensação.



Figura 6: Pormenor do tratamento com injeções de calda de cimento.

#### **4. ESTRUTURA METÁLICA DE PROTECÇÃO DA VIA**

Para manter em operação a Linha Amarela e garantir a segurança dos utentes, fez-se necessária a montagem de uma estrutura metálica provisória. Na zona da abóbada a manter o projecto previu a montagem pelo interior de uma estrutura metálica em forma de arco calculada para suportar o peso próprio do betão armado, caso houvesse uma eventual movimentação da abóbada ou o desprendimento do seu revestimento provocado por vibrações, conferindo assim toda a protecção aos utentes no cais e nos comboios.

Na zona do átrio a ser demolido foi montada uma estrutura metálica em forma de treliça. Os trabalhos foram realizados em horário restrito após o encerramento da operação comercial da Linha Amarela e corte de corrente. Apenas a instalação de perfis metálicos e de chapas metálicas sobre a via e o cais demandou algumas paragens da operação em finais de semana programados. Devido ao gabarit necessário a respeitar para a passagem dos comboios, foi preciso carotear ou mesmo demolir previamente partes das vigas existentes para permitir a montagem das partes superiores das treliças.

O cálculo previu também que a estrutura suportasse as cargas resultantes da betonagem das lajes do novo átrio por executar, uma vez que não seria possível a instalação de cimbres sobre a via e as lajes do cais em operação comercial.

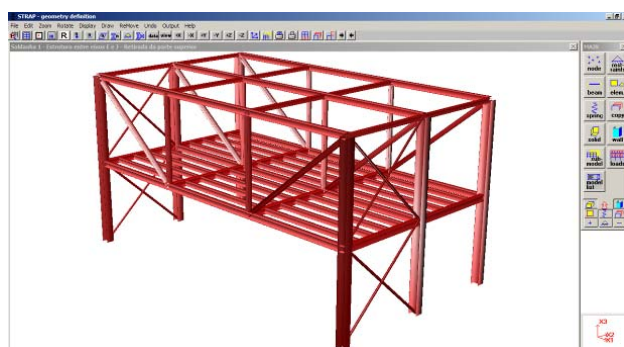


Figura 7: Modelação da estrutura com o programa STRAP.



Figura 8: Foto da estrutura já montada no local.



## 5. DEMOLIÇÃO DO ÁTRIO NORTE

Para permitir a interligação das Linhas Vermelha e Amarela, o projecto de Arquitectura previu a demolição quase que integral do Átrio Norte existente. Foi necessária ainda a demolição de um troço inicial da estrutura em abóbada. Após a instalação das estruturas de protecção da via e conclusão das contenções periféricas em estacas deu-se início às escavações e ao corte das lajes e paredes, com recurso a serra, fio diamantado e giratórias equipadas com ferramentas tipo “mandíbula”. Em razão da proximidade aos edifícios o uso de martelos pneumáticos foi limitado.

Uma das dificuldades encontradas foi a retirada das vigas-parede que haviam sido executadas aquando de uma das remodelações anteriores. Devido à existência de portas de passagem nestas paredes, foi necessária a colocação de escoras provisórias para evitar o colapso sobre a estrutura de protecção da via. Houve também o cuidado de definir um faseamento de demolições de modo a não comprometer a segurança durante os trabalhos de remoção de betão. O volume de demolição total chegou a aproximadamente 2400 m<sup>3</sup>.

## 6. SUSTENTAÇÃO DA ABÓBADA

Na zona da abóbada a preservar previu-se a execução de micro-estacas inclinadas com dupla função: contenção da escavação lateral e recalçamento da abóbada.

O projecto de arquitectura previu a escavação de galerias laterais alinhadas com as faces exteriores da abóbada, o que impôs a execução das micro-estacas com uma inclinação em relação à vertical.

Para a execução das micro-estacas foi necessária a demolição parcializada dos pés da abóbada de modo a betonar vigas de distribuição. A continuidade destas vigas de distribuição foi garantida às custas de conectores deixados em cada etapa de execução. Foram deixados conectores também para as lajes e as vigas das estruturas internas a executar posteriormente.

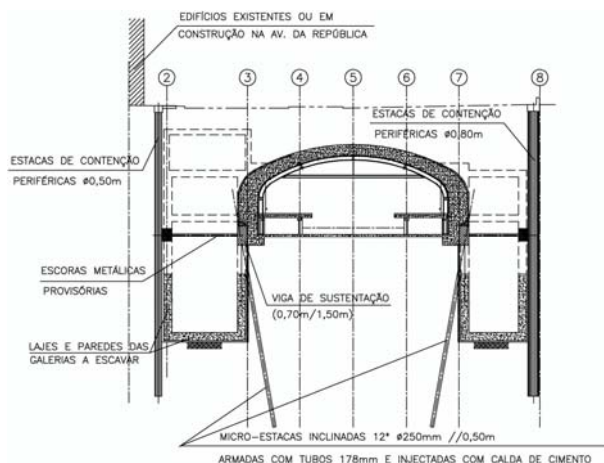


Figura 9: Secção tipo do recalçamento da abóbada.

## 7. ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO

As estruturas de contenção se dividem em dois grupos: periféricas e internas.

A contenção periférica foi constituída por estacas escavadas em betão armado com diâmetros de 800mm e 500mm, espaçados entre 1,2m e 1,60m. Foi executada com aplicação de betão projectado e malha electrosoldada, utilizando-se 1 a 5 níveis de ancoragens de 300kN e 600 kN de acordo com a

profundidade de escavação. Antes da execução das estacas foram desviadas todas as interferências e executadas sondagens para confirmação dos dados cadastrais.

Para o dimensionamento das estacas foram consideradas além dos impulsos de solo, as sobrecargas de equipamentos usados durante a construção e as cargas devidas à fundação de edifícios vizinhos. A localização das estacas teve em conta a existência das infraestruturas, folgas para desaprumos acidentais de construção e as imposições da arquitectura.

As contenções internas em função das restrições de espaço foram definidas em micro-estacas armadas com tubo de aço N80 com 127mm ou 178mm de diâmetro com espessura de 9mm e injectadas com calda de cimento.

Em razão da existência de caves em alguns edifícios vizinhos, algumas ancoragens de níveis mais superficiais foram substituídas por pregagens.

Os trabalhos de contenção e escavação resultaram nas seguintes medições aproximadas:

- Escavação a céu aberto – 9700 m<sup>3</sup>
- Estacas de Ø500mm – 1000 m
- Estacas de Ø800mm – 700 m
- Micro-estacas Ø250mm – 3200 m
- Ancoragem de 300 kN – 1800 m
- Ancoragem de 600 kN – 1600 m

## **8. GALERIAS PEDONAIAS SOB A LINHA AMARELA ESCAVADAS EM NATM.**

A interligação entre os cais Nascente e Poente da Linha Amarela dar-se-á por intermédio de duas galerias pedonais escavadas sob a via. O método construtivo prescrito em projecto está baseado nos princípios do NATM (New Austrian Tunneling Method). As escavações realizaram-se com o maciço drenado, com emboquilhamento a partir das valas escavadas ao lado da Linha Amarela. O avanço da escavação previsto foi em avanços de apenas 80cm. Foram empregados betão projectado e cambotas metálicas nesta fase inicial, em avanços sempre cuidadosos e monitorizados. O projecto dos túneis previu a escavação em secção plena sem arco invertido na primeira fase executiva. O revestimento de segunda fase deu-se em betão moldado C30/37 de 30cm de espessura, com laje de soleira de mesma espessura.

Em razão da baixíssima cobertura dos túneis e da manutenção em exploração da Linha Amarela, cuidados adicionais se fizeram necessários durante as escavações. Esses cuidados visaram garantir a segurança dos operários e manter a estabilidade requerida do tecto, da frente e do maciço, bem como a manutenção da envolvente em condições estáveis. Adoptaram-se uma série de dispositivos auxiliares de protecção, ficando a utilização de outros sistemas restritos a análise e liberação do Projecto em conjunto com o ATO do projecto (Acompanhamento Técnico da Obra).

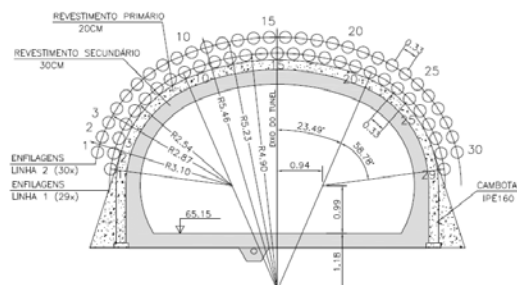
Os dispositivos de protecção prescritos em projecto foram:

- Enfilagens duplas de protecção de abóbada composta por tubo N80-177.8/9mm em todo o comprimento dos túneis, executadas em furos de diâmetro de 250mm, espaçados de 330mm, preenchidos com calda de cimento. Durante a injeção de calda foram utilizados respiros para garantir o preenchimento total do furo/tubo, sem que restassem vazios. A execução dos furos foi rigorosamente planeada de modo a evitar-se a abertura de furos justapostos ou muito próximos. Além disso houve um faseamento da demolição das micro-estacas que permitiram escavar as valas de emboque.
- Pregagens de frente com furos de 100mm e barras de fibra de vidro de diâmetro 63mm, em toda a extensão dos túneis, com injeção de calda de cimento. As pregagens de frente foram executadas em toda a face de escavação, em malha # 1.20 m, em quinconcio, ajustada à modulação das micro-estacas no emboquilhamento.

- Drenos Horizontais Profundos (DHP) foram previstos junto aos hasteais, com diâmetro de 2 1/2 polegadas, com toda a extensão dos túneis. O número inicialmente prescrito em projecto é de 2 geodrenos. Estes drenos foram suprimidos na escavação do segundo túnel em razão da não ocorrência de níveis freáticos durante a escavação do primeiro túnel, com autorização do ATO.

As enfilagens junto a abóbada tem a função de garantir a estabilidade no passo de avanço. Estas enfilagens com tubos metálicos injectados têm rigidez para oferecer um acréscimo de segurança requerido para túneis com baixíssima cobertura como os túneis aqui em consideração. As pregagens de frente, executadas com a finalidade de aumentar a resistência ao corte do maciço e reduzir a extensão da face, visaram garantir a estabilidade da frente e auxiliar na redução dos assentamentos induzidos pelas escavações.

O A.T.O (Acompanhamento Técnico da Obra) teve a liberdade de promover alterações no emprego dos dispositivos acima descritos, em acordo com as premissas de projecto, de modo a adequar-se às condições realmente encontradas no local. É também função deste profissional acompanhar o cumprimento da sequência construtiva prevista em projecto.





depois do estudo de diversas alternativas chegou-se a uma solução que garantiu a estabilidade, inclusive nas fases construtivas, com o recalçamento e instalação de escoras provisórias.

Como exemplo dos estudos realizados apresenta-se a seguir um modelo de cálculo por elementos finitos de uma zona crítica da obra onde a abóbada era descalçada pela escavação de um dos túneis pedonais em NATM. O modelo considera as lajes de soleira inclinadas para instalação de escadas mecânicas e paredes parcialmente betonadas no entorno do eixo do Túnel. Modela-se também as vigas de recalçamento da abóbada já sem as micro-estacas que serão cortadas para emboquilhamento do Túnel além de maciços de betão executados lateralmente às aduelas do túnel de via da Linha Vermelha já escavado. Na figura 12 pode-se observar a malha de elementos finitos utilizada.

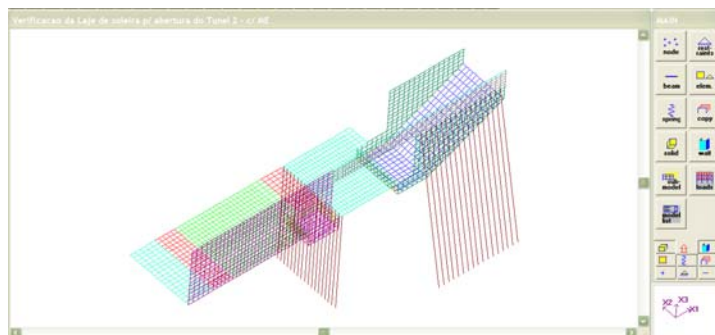


Figura 12: Exemplo de modelo de elementos finitos utilizado.

Nesta zona encontravam-se ainda as aduelas do túnel escavado com TBM e as micro-estacas verticais internas de contenção. O apoio da laje de soleira no solo é simulado por molas elásticas unidireccionais no sentido vertical com coeficiente de reacção representativo do material de apoio (Argila dos Prazeres).

## **10. INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO**

Num tipo de obra com um forte carácter geotécnico e escavações muito próximas de edifícios e instalações, a instrumentação deve receber uma atenção especial. A preocupação com alguns edifícios vizinhos de construção tipo gaioleira resultou em uma campanha de inspecções prévias que permitiu a definição do grau de monitorização a implementar.

Um primeiro evento que mobilizou um forte trabalho de monitorização não só dos edifícios, mas também da via permanente da Linha Amarela, foi a passagem da tuneladora já anteriormente referida.

Com o avanço das escavações a céu aberto foram implementadas leituras de convergências, além de alvos topográficos nas estacas, marcas de superfície e inclinómetros.

Com o início dos tratamentos para a escavação das galerias em NATM, a instrumentação automatizada já anteriormente utilizada aquando da passagem da tuneladora voltou a ser empregada. Isto permitiu controlar quase que instantaneamente as deformações totais e diferencias nos carris nas fases mais críticas, de acordo com os critérios de alerta estabelecidos. A figura 13 mostra um exemplo de gráfico utilizado. A instrumentação ficou a cargo da equipa especializada da Ferconsult [3].

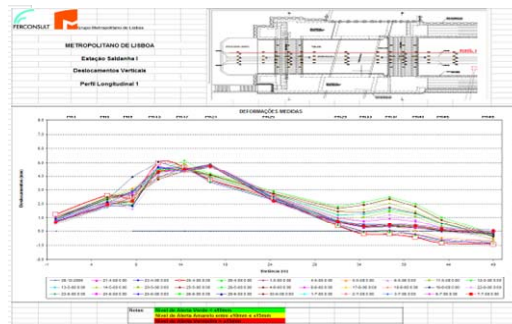


Figura13: Monitorização da via da Linha Amarela durante escavações dos túneis NATM.

## 11. ASSISTÊNCIA TÉCNICA DO PROJECTISTA EM OBRA (A.T.O)

A complexidade do projecto e a necessidade de adaptações às condições existentes fizeram com que o Metropolitano de Lisboa solicitasse a presença de um engenheiro projectista permanentemente em obra. Esta providência fez com que as adaptações, esclarecimentos e modificações de projecto ocorressem de forma imediata sem o comprometimento da sequência dos trabalhos.

Desenvolveu-se uma metodologia de trabalho que consistiu em reuniões semanais do projectista com o empreiteiro coordenadas pela fiscalização do dono de obra. O resultado das reuniões, além dos esclarecimentos de dúvidas foi a documentação através de desenhos esquemáticos e instruções complementares de execução (ICE) que em muitos casos vieram a substituir os desenhos de projecto com a agilidade que se fazia necessária com o progresso dos trabalhos. Esta metodologia se mostrou eficaz em especial na definição de pormenores de reforços de armaduras em negativos para instalações, pormenores de juntas com estruturas existentes, tratamentos das galerias pedonais em NATM e contenções provisórias, além de registar todas as alterações havidas ao projecto em obra e suportar a elaboração de telas finais.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Engenheiro Francisco Sécio do Metropolitano de Lisboa pelo apoio para divulgação deste trabalho e à equipa de Fiscalização da Ferconsult envolvida nesta frente de obra, em especial ao Engenheiro João Pedro Venâncio Carrasco bem como ao Professor António Correia Mineiro, consultor do Metropolitano de Lisboa, pela colaboração prestada.

## REFERÊNCIAS

- [1] FIGUEIREDO FERRAZ CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETO S/A. [et al.] – Projecto de execução da Estação Saldanha I do Metropolitano de Lisboa – Desenhos, notas de cálculo e memórias descritivas - 2005.
- [2] Sito de Internet do Metropolitano de Lisboa ([www.metrolisboa.pt](http://www.metrolisboa.pt))
- [3] FERCONSULT ESTUDOS E PROJECTOS DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES S/A. [et al.] – Relatórios periódicos de Instrumentação – Estação Saldanha.
- [4] FIGUEIREDO FERRAZ CONSULTORIA E ENGENHARIA DE PROJETO S/A. [et al.] – Projecto do poço de injeções de compensação para passagem da tuneladora sob a Estação Saldanha do Metropolitano de Lisboa - 2005.