

SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS ADOPTADAS NA OBRA DA LINHA VERMELHA DO METROPOLITANO DE LISBOA: ORIENTE – AEROPORTO

GEOTECHNICAL SOLUTIONS ADOPTED AT THE LISBON METRO RED LINE: ORIENTE STATION – AEROPORTO STATION

Pinto, Alexandre, *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, apinto@jetsj.pt*

Prado, Rubens, *Aerometro ACE – OPWAY Engenharia, S.A., rubens.prado@aerometro.pt*

Tomásio, Rui, *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, rtomasio@jetsj.pt*

Cardoso, Duarte, *Axial Engenharia, Lisboa, Portugal, dmc@axialengenharia.pt*

Serrano, Pedro, *Aerometro ACE – OPWAY Engenharia, S.A., pedro.serrano@aerometro.pt*

RESUMO

No presente artigo são descritos os principais critérios de concepção e de execução adoptados em algumas soluções geotécnicas implementadas na obra da Linha Vermelha do Metropolitano de Lisboa: Estação Oriente – Estação Aeroporto. Destacam-se, em particular, as duas novas estações: Estação de Moscavide e Estação do Aeroporto. As soluções apresentadas foram desenvolvidas com o principal objectivo de facilitar procedimentos construtivos e de facilitar a gestão dos prazos de execução, tendo por base a avaliação dos condicionamentos existentes, em particular: geologia e geotecnia, arquitectura e condições de vizinhança. Por último, são apresentados e analisados os principais resultados da instrumentação e observação das obras descritas, os quais comprovaram o bom desempenho das soluções adoptadas.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the main design and execution criteria adopted in some geotechnical solutions implemented at the Lisbon Metro Red Line works, mainly the two new stations: Moscavide Station and Airport Station. The solutions presented were designed and built in order to facilitate the construction procedures, as well as to better manage the execution schedule, based on the evaluation of the existing constraints, mainly: geological and geotechnical scenario, architecture and neighborhood conditions. Finally, the main results of the monitoring and survey plans are presented and analysed, confirming the good performance of the adopted solutions.

1. INTRODUÇÃO

No presente artigo são descritas as soluções, variantes ao Projecto de Concurso – Solução Base (Ferconsult, 2006), propostas e executadas para os trabalhos de escavação e contenção periférica, adoptados no âmbito da construção das estruturas enterradas das Estações de Moscavide e do Aeroporto.

Atendendo aos principais condicionamentos existentes, em particular condições geológicas e geotécnicas e condições de vizinhança, as soluções propostas permitiram a realização das escavações, com uma profundidade média de cerca dos 25m, com áreas de implantação aproximadas de 2.200m² para a Estação de Moscavide e 2.630m² para a Estação do Aeroporto, ao abrigo de uma contenção periférica em cortina de estacas, moldadas em betão armado.

A referida cortina de estacas foi travada, na fase de escavação, por ancoragens e por escoramentos de canto de natureza provisória (Figura 1), constituindo esta a principal alteração, relativamente ao definido na Solução Base, a qual previa a realização do travamento da cortina de estacas através de escoramentos tubulares de grande dimensão e rigidez que venceriam a secção transversa de cada escavação (Pinto et al. 2007).



Figura 1 – Vistas das Escavações das Estações de Moscavide (à esquerda) e do Aeroporto (à direita)

Tendo por base o conhecimento adquirido em obras de escavação no mesmo tipo de terrenos, considerou-se possível durante a fase de escavação o travamento provisório das cortinas de estacas através de ancoragens, o que permitiu a realização das escavações de forma muito menos condicionada, assim como que o impulso hidrostático não se instalaria no tardoz das mesmas cortinas na fase provisória, o que se veio a confirmar. Tendo-se, contudo, previsto dispositivos para recolha da água que afluísse ao interior do recinto de escavação.

2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1. Geologia e Geotecnia

A avaliação dos principais condicionamentos de natureza geológica e geotécnica foi efectuada de acordo com os elementos de prospecção geológica – geotécnica, constantes do Projecto patentado a Concurso, que, de entre outros trabalhos, se destaca a execução de ensaios laboratoriais e sondagens com recolha contínua de amostras representativas das diversas formações detectadas e ainda a realização de ensaios SPT.

2.1.1. Estação de Moscavide

Segundo os mesmos elementos, os trabalhos de escavação interessaram, no caso da Estação de Moscavide, o maciço sedimentar datado do Miocénico, constituído por “Areolas de Braço de Prata”, repousando sobre os “Calcários de Marvila”. As areolas são constituídas, predominantemente, por sedimentos silto - argilosos, rijos quanto à sua consistência e contendo, por vezes, abundantes conchas fósseis (cascões), com teores, em geral, pouco significativos de areia fina. Os “Calcários de Marvila” são constituídos por alternâncias de leitos areníticos e margosos, calcários e argilas. Na base dos “Calcários de Marvila” foi identificada a formação de “Arenitos de Grilo”, a qual não deveria, no entanto, ser intersectada pela escavação. À superfície encontram-se depósitos de aterro e aluviões pouco expressivos, com espessura máxima até cerca de 2,5m. Ainda de acordo com estes elementos, não seria de descartar a hipótese da escavação poder vir a intersectar acidentes do tipo falha (Figura 2).

2.1.2. Estação do Aeroporto

No caso da Estação do Aeroporto, os trabalhos de escavação interessaram o maciço sedimentar datado do Miocénico, constituído por diversas unidades denominadas de “Argilas de Xabregas”, constituídas por argilas siltosas de cor castanha escura, com pequenos fragmentos de calcário, e “Areias do Vale de Chelas”, constituídas por calcarenitos fossilífero e calcários margosos acastanhados. À superfície encontraram-se depósitos de aterro, com espessura máxima até cerca de 6,0m (Figura 3).

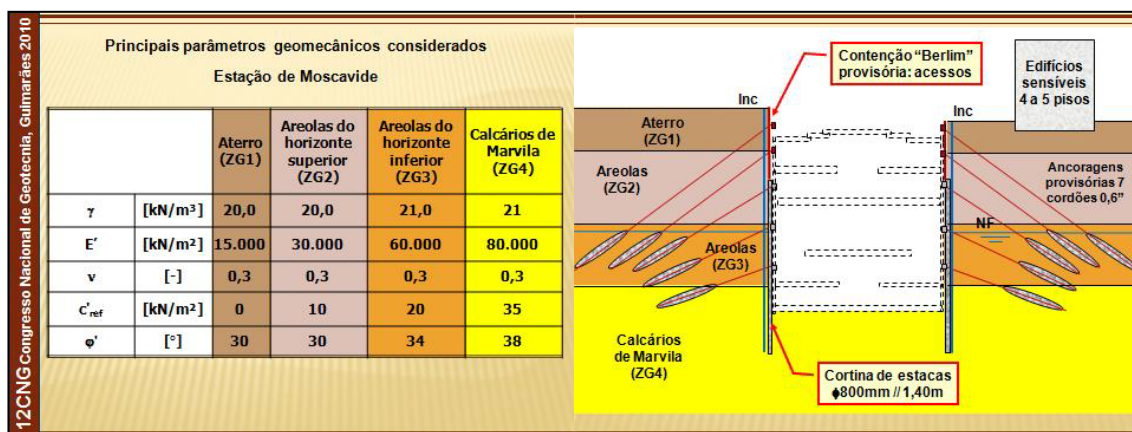


Figura 2 – Principais Parâmetros Geomecânicos Considerados na Modelação, Zonamento e Secção Tipo da Estação de Moscavide

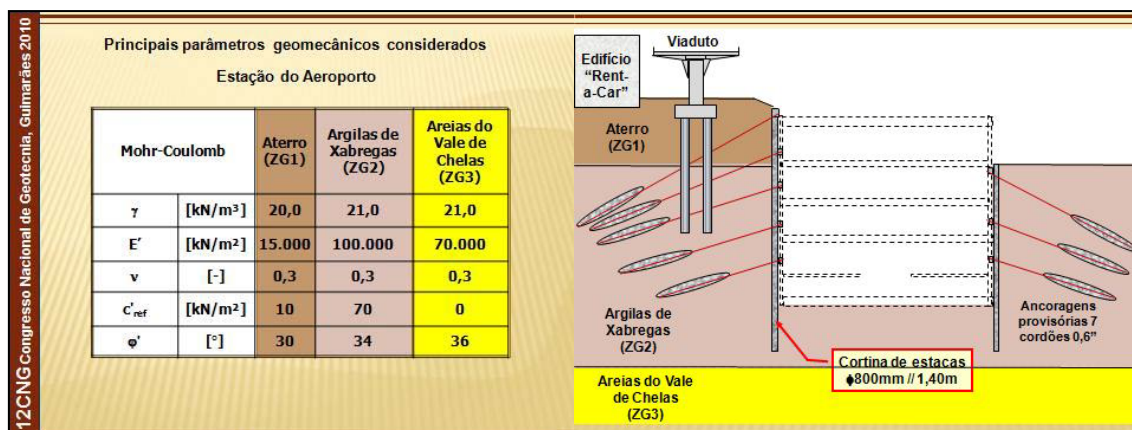


Figura 3 – Principais Parâmetros Geomecânicos Considerados na Modelação, Zonamento e Secção Tipo da Estação do Aeroporto

2.2. Condições de Vizinhança

2.2.1. Estação de Moscavide

O recinto da escavação encontra-se totalmente inserido na Rua João Pinto Ribeiro, o principal arruamento de Moscavide e que permite a ligação entre a zona Norte do Parque das Nações e a Praça José Queiroz, existindo, portanto, importantes condicionamentos de espaço e de impacto no tráfego automóvel. A escavação apresentava-se delimitada pelas seguintes confrontações:

- Viaduto ao Parque das Nações, a Nascente;
- Praça José Queiroz, a Poente;
- Edifícios de porte variável, a Norte;
- Edifícios de porte variável e parque desportivo do Olivais e Moscavide, a Sul.

Atendendo à sensibilidade que alguns edifícios vizinhos, em particular os localizados a tardo do alçado Norte, poderiam apresentar face às suas características estruturais (alvenaria de pedra) e à proximidade do recinto de escavação, foi efectuada uma análise de risco tendo por objectivo a previsão do tipo de danos que cada uma das edificações poderia vir a sofrer e, em consequência, o nível de risco a que estaria sujeita, devido às escavações a realizar para a execução da Estação. Como corolário dessa previsão foram definidas, para os edifícios em que tal se revelou necessário, as medidas a tomar durante a execução dos trabalhos (Figura 4).



Figura 4 – Planta da Zona de Implantação da Estação de Moscavide e Vista dos Edifícios Sensíveis



Figura 5 – Vistas Gerais da Zona de Implantação da Estação de Moscavide, Antes e Depois do Início dos Trabalhos

2.2.2. Estação do Aeroporto

O recinto da escavação encontra-se totalmente inserido na zona circundante do Aeroporto de Lisboa, existindo, portanto, importantes condicionamentos de espaço e de articulação com as actividades aeroportuárias.

A escavação apresentava-se delimitada actualmente pelas seguintes confrontações:

- Edifício do “Rent-a-Car”, a Sul;
- Viaduto de acesso à zona das partidas, a Sul e a Nascente, fundado indirectamente através de estacas;
- Alameda das Comunidades Portuguesas, a Poente;
- Arruamentos e estacionamentos, a Norte.

Face às confrontações com estruturas e infra-estruturas importantes, nomeadamente ao longo do alçado Sul, houve a necessidade de garantir a operacionalidade permanente das mesmas durante a totalidade do período de execução da obra. Neste enquadramento, salienta-se a necessidade de colocar um passadiço metálico sobre o recinto de escavação, para assegurar o acesso permanente ao edifício do “Rent-a-Car” (Figura 6 e Figura 7). Destaca-se ainda o facto de que parte do edifício do “Rent-a-Car” se apresentar bastante debilitado do ponto de vista estrutural e das respectivas fundações.

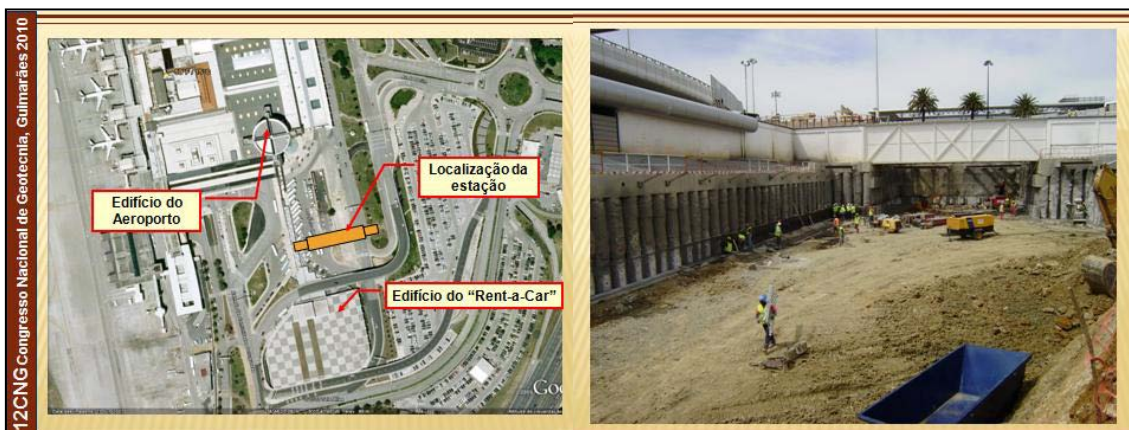


Figura 6 – Planta da Zona de Implantação da Estação de Aeroporto e Vista do Acesso ao “Rent-a-Car”



Figura 7 – Vistas Gerais da Zona de Implantação da Estação do Aeroporto, Antes do Início dos Trabalhos

3. PRINCIPAIS SOLUÇÕES

3.1. Contenção Periférica

Atendendo aos condicionamentos existentes, em particular as condições geológicas, geotécnicas e de vizinhança, assim como à profundidade da escavação, foi proposta e implementada uma solução de contenção por cortina de estacas de betão armado, moldadas no terreno, Ø800mm, afastadas, a eixo, de 1,4m. As estacas integram a parede de contenção definitiva e são encabeçadas por uma viga de coroamento, tendo sido travadas provisoriamente por escoramentos de canto e por ancoragens, aplicados na viga de coroamento ou em vigas de distribuição. De acordo com o estipulado na EN1537, todas as ancoragens foram submetidas a ensaios de recepção provisórios ou detalhados, neste último caso quando instrumentadas com células de carga. Durante a construção da estrutura interior de cada Estação, a cortina de estacas foi sendo travada pelas lajes dos pisos enterrados, tendo-se, nessa fase e de forma devidamente

compatibilizada, procedido à desactivação dos travamentos provisórios. Refere-se ainda que a opção por uma solução em cortina de estacas, teve por base a necessidade de conferir o indispensável confinamento e rigidez a uma cortina, constituída por elementos pré-moldados, que teve que acomodar um desnível de terras corrente de cerca de 25m. Esta solução apresentou ainda a vantagem de, pela sua rigidez, permitir um maior investimento nos elementos que foram incorporados na estrutura definitiva, cortina de estacas, em detrimento do investimento em elementos provisórios, como seria o caso das ancoragens e dos escoramentos (ICE, 2007). A solução adoptada permitiu ainda a compatibilização com a realização de contenções do tipo Berlim Provisório nas zonas dos acessos laterais à Estação de Moscavide (Figura 8). De forma a incrementar a capacidade de redistribuição de esforços, as estacas foram solidarizadas pelas vigas de coroamento e pelas vigas de distribuição, ambas em betão armado, tendo as últimas sido incorporadas na parede de revestimento, executada antes da desactivação das ancoragens e das escoras de canto. Com o objectivo de evitar a erosão do terreno entre as estacas foi ainda realizado um revestimento em betão projectado, armado com malha electrossoldada e devidamente drenado na fase provisória, através de geodrenos. Na fase definitiva, a parede de revestimento, dimensionada para acomodar os eventuais impulsos hidrostáticos, garante a impermeabilização interior de cada Estação (Figura 8 e Figura 9).



Figura 8 – Vista Geral e Pormenor da Parede de Contenção da Estação de Moscavide



Figura 9 – Vista Geral da Parede de Contenção da Estação do Aeroporto

Em ambas as estações foi necessário realizar as cortinas de estacas nas zonas dos emboquilhamentos dos túneis, pois, por razões de compatibilização de prazos de execução, a escavação dos emboquilhamentos só poderia ser realizada após a conclusão da escavação das estações. Neste enquadramento e de forma a garantir a compatibilização da escavação dos emboquilhamentos com a necessidade de acomodar os impulsos de terras durante a escavação das estações, as estacas localizadas na zona dos emboquilhamentos foram armadas com perfis metálicos e parcialmente betonadas com betão C12/15, permitindo esta solução facilitar os trabalhos de demolição parcial das estacas e de escavação para materialização dos emboquilhamentos (Woodward, 2005), (Smolczyk, 2003).

3.2. Topo Poente da Estação de Moscavide e Topos da Estação do Aeroporto

No topo Poente da Estação de Moscavide e em ambos os topos da Estação do Aeroporto, foram, por razões de compatibilização com as soluções definidas no Projecto Base (galerias em túnel mineiro), construídas galerias em abóbada, a céu aberto, com cerca de 150m² de secção. O espaço compreendido entre as mesmas e a superfície foi posteriormente aterrado por camadas de solos seleccionados, intercaladas com camadas de betão pobre, ao nível das ancoragens e escoramentos provisórios, impedindo assim a mobilização de deformações indesejáveis das cortinas a quando da desactivação dos elementos de travamento provisório (Pinto et al., 2002).



Figura 10 – Vista da Zona dos Falsos Túneis Executados nos Topos das Estações

3.3. Poço PA1 Junto à Estação do Aeroporto

Com o objectivo de permitir o avanço dos trabalhos de execução do túnel de forma independente do avanço dos trabalhos de escavação e execução da estrutura interior da Estação do Aeroporto, foi executado um poço de ataque aproximadamente quadrado, com 17,0m de lado. A solução executada, à semelhança da estação, consistiu numa cortina de estacas de betão armado, moldadas no terreno, Ø800mm, com afastamentos, a eixo, de 1,40m. As estacas foram encabeçadas por uma viga de coroamento, com o objectivo de garantir um funcionamento solidário das mesmas e de incrementar a capacidade de redistribuição da cortina. Foram ainda executados cinco níveis de travamento, assegurados por ancoragens e escoras de canto pré-esforçadas, através de macacos hidráulicos, de modo a acomodar uma escavação com cerca de 22,0m de profundidade e a equilibrar activamente as reacções das escoras adjacentes, de travamento da cortina de estacas da Estação, entretanto já parcialmente escavada (Figura 11).



Figura 11 – Vista Geral da Escavação do PA1 e Pormenor dos Nichos de Aplicação do Pré-Esforço

4. DIMENSIONAMENTO

O comportamento das diferentes cortinas de contenção periférica, em termos de esforços e de deformações, foi analisado, para todas as fases construtivas e tendo em consideração os fenómenos de interacção solo/estrutura, através de programas de elementos finitos vocacionados para o efeito, em particular Plaxis Professional V9.02 (Figura 12). Na verificação da segurança dos elementos de contenção e de travamento das mesmas foi adoptada a regulamentação nacional e internacional em vigor ou, em situações não previstas regulamentarmente, metodologias de cálculo reconhecidamente comprovadas (Bustamante e Doix, 1985). Os terrenos interessados foram modelados a partir dos parâmetros geomecânicos já apresentados (Figura 2 e Figura 3).

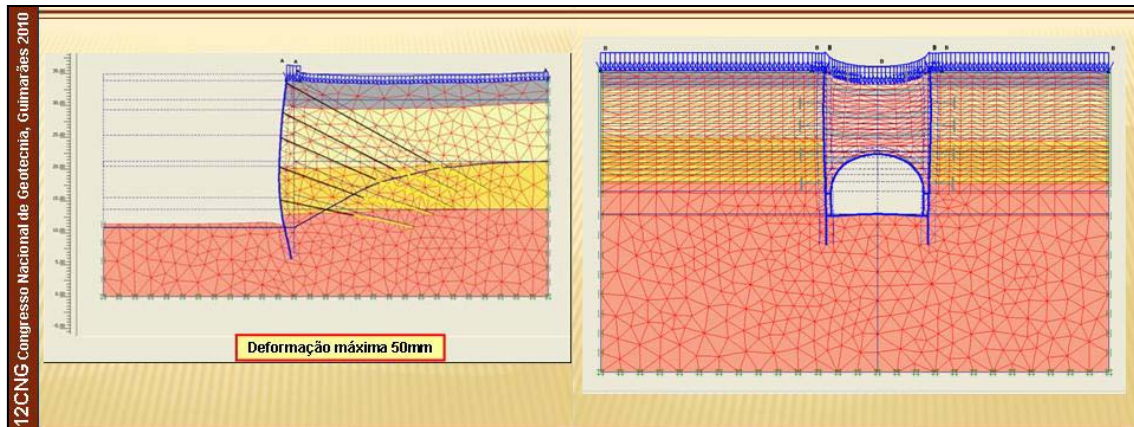


Figura 12 – Modelos de Elementos Finitos Utilizados na Simulação do Comportamento das Cortinas de Contenção e dos Falsos Túneis Realizados nos Topos das Estações

5. INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Tendo por base o enquadramento das obras, assim como o tipo de soluções adoptado, foi implementado em cada obra um vasto plano de instrumentação e observação (PIO), com o objectivo de assegurar a realização dos trabalhos em condições de segurança para a obra e para as estruturas e infra-estruturas vizinhas. No âmbito descrito, foram instalados os seguintes aparelhos:

Estação de Moscavide:

- 104 alvos topográficos, colocados ao longo da viga de coroamento e das diversas vigas de distribuição;
- 21 réguas topográficas, colocadas nas fachadas dos edifícios vizinhos;
- 18 células de carga, colocadas em ancoragens provisórias;
- 15 inclinómetros, colocados no interior de estacas da cortina de contenção.

Estação do Aeroporto:

- 57 alvos topográficos, colocados ao longo da viga de coroamento, das diversas vigas de distribuição e do viaduto adjacente;
- 3 réguas topográficas, colocadas nos pilares do viaduto adjacente;
- 18 células de carga, colocadas em ancoragens provisórias;
- 4 inclinómetros, colocados no interior de estacas da cortina de contenção.

Os aparelhos instalados foram lidos com uma periodicidade diária durante os trabalhos de escavação e de construção das estruturas interiores das estações. A partir dos resultados dos cálculos realizados para o dimensionamento das soluções foram definidos critérios de alerta e de alarme para os diferentes aparelhos e instrumentação e para as diversas fases dos trabalhos de escavação, assim como medidas de reforço, caso os referidos critérios viessem a ser atingidos. No caso da Estação de Moscavide os critérios de alerta e alarme para os edifícios localizados a tardo do alçado Norte foram balizados através da já referida análise de risco. Contudo, de acordo com os resultados das campanhas efectuadas, apenas pontualmente foram atingidos alguns dos critérios de alerta, não tendo sido atingidos quaisquer critérios de alarme, confirmando-se, assim, o bom desempenho das soluções concebidas e adoptadas.

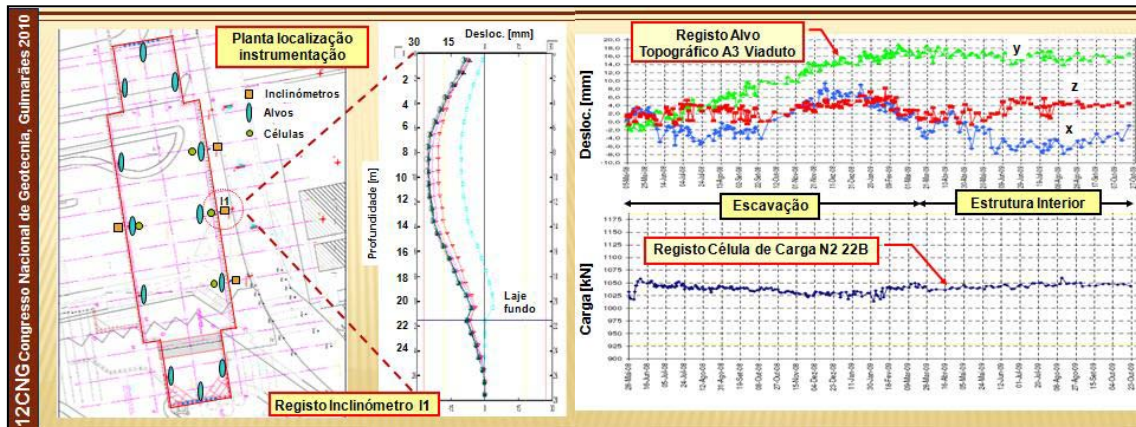


Figura 13 – Resultados da Instrumentação Colocada na Estação do Aeroporto

6. PRINCIPAIS QUANTIDADES

As principais quantidades associadas aos trabalhos descritos são apresentadas na Figura 14.

Principais quantidades de trabalho – Estação Moscavide		Principais quantidades de trabalho – Estação Aeroporto	
Estacas f800mm, em betão armado	4.700 m	Estacas f800mm, em betão armado	4.750 m
Ancoragens Provisórias	6.000 m	Ancoragens Provisórias	5.150 m
Escavação em Solos	55.000 m ³	Escavação em Solos	57.000 m ³
Betão C30/37	3.000 m ³	Betão C30/37	3.100 m ³
Aço A500 NR	520.000kg	Aço A500 NR	490.000kg

Figura 14 – Principais Quantidades dos Trabalhos Realizados

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme atestam os resultados da instrumentação e da observação das obras e na sequência de intervenções semelhantes (Pinto et al., 2007), a execução dos trabalhos de escavação das estações de Moscavide e do Aeroporto, ao abrigo de contenções em cortina de estacas, moldadas em betão armado, ancoradas e escoradas provisoriamente, confirmou-se como

adequada aos principais condicionamentos existentes, em particular: geológicos, geotécnicos e de vizinhança. As soluções adoptadas permitiram, em simultâneo, uma melhor gestão do prazo de execução das obras e a maximização do espaço disponível para os equipamentos de escavação, em particular quando comparadas com soluções de travamento com recurso a escoras de elevada dimensão e rigidez, que teriam que vencer a totalidade do vão transversal das escavações. As soluções adoptadas permitiram ainda incrementar a versatilidade e compatibilização do faseamento dos trabalhos associados à execução dos acessos, em particular com a execução de contenções Berlim provisórias na Estação de Moscavide (Figura 8), e, sobretudo, das estruturas interiores, pois as ancoragens e os escoramentos de canto, pela sua dimensão, poderiam ser desactivados, se tal se mostrasse importante, em qualquer fase dos trabalhos e à medida que as estruturas interiores fossem sendo executadas (Figura 15).



Figura 15 – Vistas das Escavações das Estações de Aeroporto (à esquerda) e de Moscavide (à direita)

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dono de Obra, Metropolitano de Lisboa, a autorização para a redacção e publicação do presente artigo. Destacam ainda a importância da Solução Base, como referência fundamental para estudo da solução apresentada e implementada.

REFERÊNCIAS

- Bustamante, M. and Doix, B. (1985). *Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés* (in french). Bull. Liaison Labo. P. et Ch., nº140, p.75-92.
- Ferconsult (2006). *Projecto Execução de Concurso – Estação Moscavide / Estação Aeroporto*.
- Institution of Civil Engineers. (2007). *ICE Specification for Piling and Embedded Retaining Walls – second edition*. Thomas Telford Publishing.
- Pinto, A.; Ferreira, S.; Barros, V.; Costa, R.; Lopes, P.; Dias, J. (2002). *Sotto Mayor Palace – Design and Performance of Retaining and Underpinned Structure*. The First FIB Congress 2002, Osaka - Japan, pp. 43-48, Session 3 – Recent Contribution of Concrete to Tunnel and Underground Structures.
- Pinto, A.; Pereira, A.; Vilar, M. (2007). *Deep Excavation for the new Central Library of Lisbon*. 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Madrid, Espanha, pp. 623 – 628, Volume 2 - 2.1: Effect of open excavations on nearby structures and facilities in urban areas.
- Smolczyk, U. (2003). *Geotechnical Engineering Handbook – Volume 2 : Procedures*. Ernest & Sohn.
- Woodward, J. (2005). *An introduction to Geotechnical Processes*. Spon Press – Taylor & Francis Group.