

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA A CONSTRUÇÃO DOS PISOS ENTERRADOS DO HOTEL MELIÃ, LISBOA

DEEP EXCAVATION SOLUTIONS IN AN URBAN ENVIROMENT IN LISBON - MELIÃ HOTEL

Carvalho, Neuza; JETsj Geotecnia, Lda., Lisboa, Portugal, *ncarvalho@jetsj.com*
Fartaria, Catarina; JETsj Geotecnia, Lda., Lisboa, Portugal, *cfartaria@jetsj.com*
Pinto, Alexandre; JETsj Geotecnia, Lda., Lisboa, Portugal, *apinto@jetsj.com*

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar os principais critérios de conceção das soluções adotadas para uma escavação profunda em meio urbano, realizada no âmbito da construção dos 6 pisos enterrados do Hotel Meliã, localizado no cruzamento da Av. Fontes Pereira de Melo com a Av. António Augusto Aguiar, em Lisboa. A construção compreende uma escavação de cerca de 22m de profundidade, intercetando, maioritariamente, camadas de aterro e os terrenos do Miocénico de Lisboa, bem como elementos de fundação de antigas estruturas pré-existentes no local.

Os principais condicionamentos da solução estão relacionados com as condições de vizinhança, uma vez que o local é ladeado por duas estruturas importantes, o Túnel do Metropolitano de Lisboa, localizado sob a Avenida Fontes Pereira de Melo (lado Sul), e o Túnel do Marquês, situado sob a Avenida António Augusto Aguiar (lado Poente). Refere-se ainda o desnível de cerca de 12m que o lote apresenta entre estas avenidas e a Rua São Sebastião da Pedreira (lado Nascente).

São descritos os principais aspetos de projeto e da construção, inerentes às soluções de contenção periférica adotadas, as quais consistiram, essencialmente, numa cortina de estacas em betão armado e, apenas em um dos alçados, numa contenção do tipo “Berlim definitivo”, com pré-tratamento do terreno a tardo com colunas de calda de cimento. Ambas as soluções foram travadas através de bandas de laje, em betão armado, até à profundidade de influência dos túneis e, abaixo desta, através de ancoragens provisórias.

ABSTRACT

This paper addresses the designed and built solutions for the peripheral earth retaining walls, required for the construction of the six underground floors of the Meliã Hotel located in Lisbon center. The construction demanded an excavation with 22m depth, intersecting mainly fill layers and the Lisbon Miocene soils, as well as preexisting old structures foundations.

The main conditions were related to the neighborhood conditions, as the site is surrounded by two important infrastructures, the Lisbon Metro and the Marquês Tunnel, respectively, under the Fontes Pereira de Melo Avenue (south side) and António Augusto de Aguiar Avenue (west side). Furthermore, the São Sebastião da Pedreira Street (east side) is located about 12m under those avenues.

To minimize the ground disturbance, as well as the deformations at the mentioned structures, a reinforced concrete bored pile wall was defined, braced by concrete slab's strips and temporary ground anchors. Where the neighborhood conditions allowed it, reinforced concrete “Berlin type” walls solution was adopted, also braced by temporary ground anchors.

1. INTRODUÇÃO

No presente artigo são descritas as soluções adotadas para a escavação e contenção dos terrenos, necessárias para a execução dos 6 pisos enterrados do edifício do Hotel Meliã situado no centro de Lisboa, no cruzamento da Avenida Fontes Pereira de Melo e da Avenida António Augusto Aguiar, em Lisboa. A conceção arquitetónica do edifício, cujo Projeto é da autoria do Atelier de Arquitetura João Paciência prevê um edifício com uma forma em planta irregular, com uma área em planta de 1.321 m², com 15 pisos elevados, 3 pisos semi-enterrados e 3 pisos enterrados, estes últimos destinados essencialmente a estacionamento automóvel e para áreas técnicas.

Na vista aérea da área da Figura 1 é possível identificar a implantação da obra, bem como algumas das mais relevantes confrontações e condicionamentos. Destaca-se o facto de todos os edifícios existentes previamente no local de implantação terem sido demolidos antecipadamente, exceto o muro que confronta para a Rua São Sebastião da Pedreira, bem como as estruturas de fundação dos mesmos edifícios (que se encontravam enterrados), os quais foram demolidos de forma devidamente faseada e controlada no decorrer dos trabalhos de escavação.

Em função das condições de vizinhança e do dispositivo geológico do local, consideraram-se duas tecnologias distintas para a realização das soluções de contenção periférica. Nos alçados Poente e a Sul, devido à espessura dos aterros, preconizou-se uma solução de cortina de estacas, em betão armado, moldadas no terreno. Em parte do alçado Nascente, face à pré-existência de um importante muro de suporte, foi considerada uma solução de contenção do tipo “Berlim definitivo”.



Figura 1 – Simulação do futuro edifício (Atelier de Arquitetura João Paciência) e vista aérea do recinto da escavação (Google Earth)

2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1. Condicionamentos Geológicos e Geotécnicos

Com o objetivo de caracterizar o comportamento geotécnico, associado aos terrenos ocorrentes no local, foi executada uma campanha de prospeção, que englobou a realização de três furos de sondagem, acompanhados pela realização de ensaios SPT e recolha de amostragem para classificação macroscópica. Foram ainda instalados dois piezómetros hidráulicos de tubo aberto em dois dos furos de sondagem.

De acordo com os resultados obtidos o dispositivo geológico do local é caracterizado pela ocorrência de substratos datado do Neocretácico, representado pelo Complexo Vulcano-Sedimentar de Lisboa, sob um substrato sedimentar datado do Miocénico, representando correspondente às Argilas e Calcários dos Prazeres (M_{Pr}), por sua vez, recoberto dos materiais modernos de origem antrópica, denominados como Depósitos Aluvionares (a) e Depósitos de Aterros (A_t), com uma espessura considerável. A camada de aterro poderá ter a sua génese em trabalhos de modelação e nivelamento topográfico, decorrentes da construção dos edifícios e muros de suporte pré-existentes no local.

2.2. Condicionamentos relativos às Condições de Vizinhança

O recinto da escavação insere-se numa zona fortemente urbanizada da cidade de Lisboa, encontrando-se na sua vizinhança imediata diversas edificações, arruamentos e importantes infraestruturas. Assim sendo, foi necessário desenvolver soluções compatíveis com a preservação da integridade das referidas estruturas e infraestruturas, assegurando, ainda, todas as condições de boa funcionalidade das mesmas. Em particular o recinto da escavação apresentava as seguintes principais confrontações:

- Hotel Fênix Urban com 11 pisos elevados e 6 pisos enterrados, a Norte;
- Rua São Sebastião da Pedreira, a Nascente;
- Av. António Augusto Aguiar, a Poente, o na qual se desenvolve, com secção em trincheira ou com secção em túnel, o Túnel rodoviário do Marquês;
- Av. Fontes Pereira de Melo, a Sul, sob a qual se desenvolve a galeria, em betão simples, da linha amarela do Metropolitano de Lisboa.

Durante todo o processo de conceção das soluções de contenção periférica, a preservação da integridade e da funcionalidade das referidas estruturas e infraestruturas constituiu um aspeto fundamental.

2.3. Condicionamentos relacionados com Estruturas Existentes

No recinto da obra, em particular no perímetro dos alçados confrontantes com a Av. Fontes Pereira de Melo e a Av. António Augusto Aguiar, previa-se a interseção das fundações dos edifícios, com estrutura em alvenaria, anteriormente existentes no local, situação que se veio a confirmar em obra.

Durante os trabalhos de escavação foi, assim, necessário demolir e remover os elementos de fundação e os muros de suporte existentes no limite do recinto da intervenção (Figura 2), de forma devidamente faseada, controlada e compatibilizada com a execução das estruturas de contenção periférica.

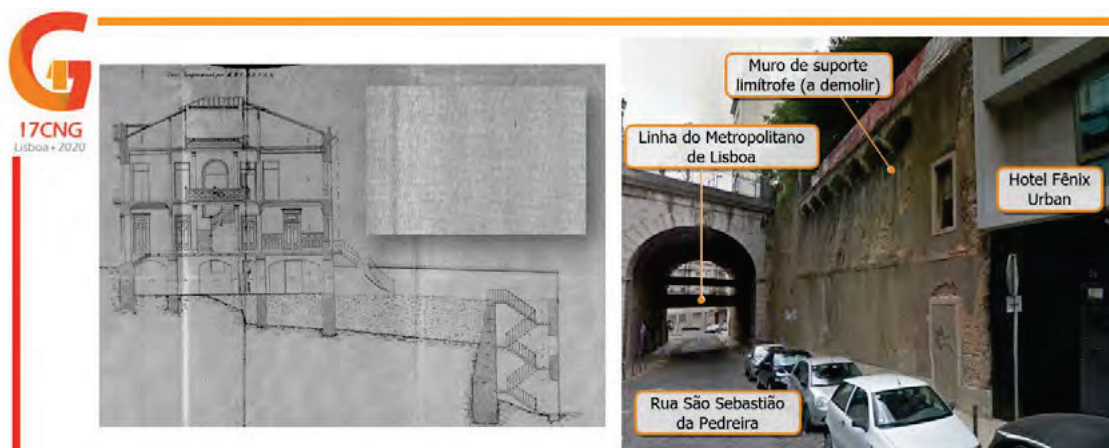


Figura 2 – Corte das fundações do edifício pré-existente e vista da Rua São Sebastião da Pedreira - muro de suporte existente no interior do lote, a demolir

3. SOLUÇÕES ADOTADAS

Na conceção das soluções de contenção periférica adotadas procurou-se, para além da necessária contenção horizontal dos terrenos a escavar, respeitar os seguintes pressupostos de base:

- Controlar as deformações nos terrenos, estruturas e infraestruturas envolventes à escavação, permitindo ainda a adaptação da solução a possíveis singularidades de natureza geológica e geotécnica;
- Garantir a menor interferência possível com todas as estruturas e infraestruturas adjacentes.

Tendo em conta os diversos condicionamentos existentes, preconizou-se para a generalidade dos trabalhos de contenção periférica a adoção de uma solução de cortina de estacas moldadas, em betão armado, $\varnothing 800\text{mm}$ afastadas de 1m, a eixos, nos alçados Sul e Poente (solução 1). As estacas foram executadas com a tecnologia de vara telescópica kelly, quando necessário, com recurso a entubamento provisório apenas na parte superior, ao nível dos materiais de aterro. Com esta solução pretendia-se possibilitar a escavação com profundidade máxima de 22m, necessária para a execução dos 3 pisos enterrados e 3 pisos semi-enterrados. Durante a fase de escavação, o terreno exposto entre estacas foi protegido por uma parede de revestimento em betão armado, com 0,15m de espessura mínima, aferrolhada às estacas e devidamente drenada através de geodrenos. Estes dispositivos tinham como função a recolha e encaminhamento das águas para o sistema de drenagem do edifício através de geotubos verticais, instalados no tardo da parede e no espaço entre estacas.

No alçado Nascente, as exigências de área útil nos pisos enterrados, bem como a impossibilidade de executar estacas junto à face do muro existente, implicou a adoção da tecnologia de “Berlim Definitivo”, com uma espessura de parede teórica de 0,30m, executada após o tratamento prévio dos materiais de aterro com recurso a colunas de calda de cimento, $\varnothing 250\text{mm}/0,25\text{m}$, armadas com fibras de vidro (solução 2).

Relativamente aos travamentos e atendendo à proximidade ao Túnel do Metropolitano de Lisboa e ao Túnel do Marquês, nos alçados Nascente, Sul, e Poente, procurou

evitar-se o recurso a ancoragens para efeitos de travamento nos níveis superiores, de modo a minimizar a interferência com estas infraestruturas. Assim, e genericamente, a cortina foi travada por meio de bandas de laje, localizadas ao nível dos pisos 0, -1, -2 e -3, com função de garantia do equilíbrio horizontal da contenção na fase provisória da escavação. Estes elementos foram apoiados verticalmente, durante a fase de escavação, na parede de contenção e em perfis metálicos HEB260, selados no interior de estacas, funcionando assim como pilares provisórios. Na fase definitiva, as bandas foram integradas na estrutura definitiva do edifício.

Nos restantes níveis (pisos -4 e -5) preconizou-se o travamento da contenção com recurso a ancoragens provisórias, com um afastamento médio em planta de cerca de 3m e diferentes inclinações e comprimentos totais, constituídas por 6 cordões de 0,6", injetadas a pressões controladas através do sistema IRS, em terrenos com competência para o efeito. Na Figura 3 apresentam-se as plantas da estrutura de contenção periférica e dos travamentos dos pisos enterrados.

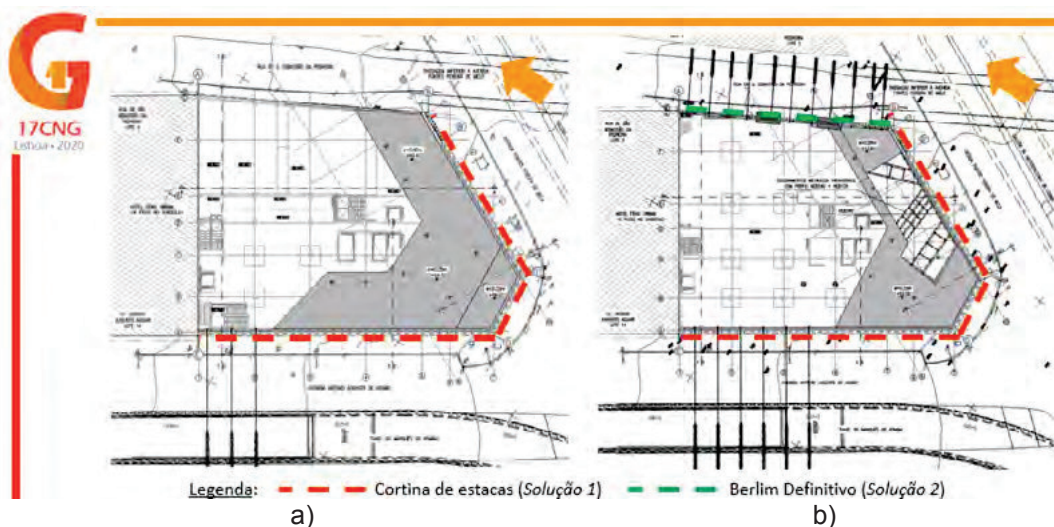


Figura 3 - Planta de dimensionamento da contenção periférica e dos travamentos ao nível do piso 0 (a) e do piso -3 (b)

Na Figura 4 apresentam-se alçados fotográficos das soluções de contenção periférica adotadas.

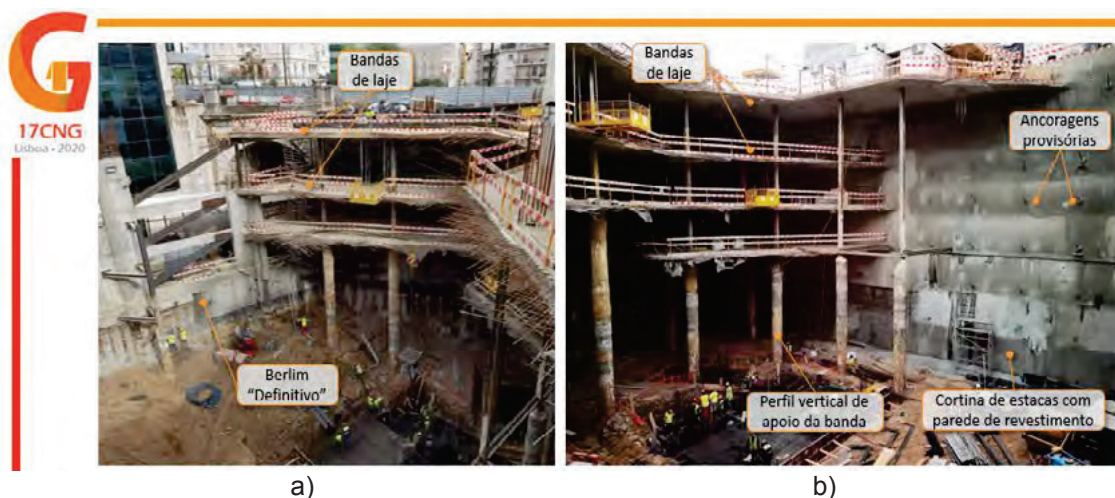


Figura 4 – Fotografias da estrutura de contenção periférica – virada para a Av. Fontes Pereira de Melo (a) e virado para a Av. António Augusto Aguiar (b)

Dada a geometria do recinto de escavação e o desnível de cotas entre a Av. Fontes Pereira de Melo, a Av. António Augusto Aguiar e a Rua São Sebastião da Pedreira, os troços de laje acima do piso -3, no alçado que confronta com este último arruamento, foi necessário acomodar as cargas horizontais através de um pórtico de travamento / reação, com função de transmissão das referidas reações para a estrutura de contenção localizada entre o referido pórtico e o edifício vizinho, a Norte. O referido pórtico foi constituído por pilares-parede em betão armado, apoiados em microestacas de fundação, e contraventados por escoramentos metálicos provisórios, com secção HEB (S275JR).

Na Figura 5 encontra-se representada a solução de bandas de laje desenvolvida assim como o encaminhamento e equilíbrio das respetivas cargas para o pórtico de travamento.

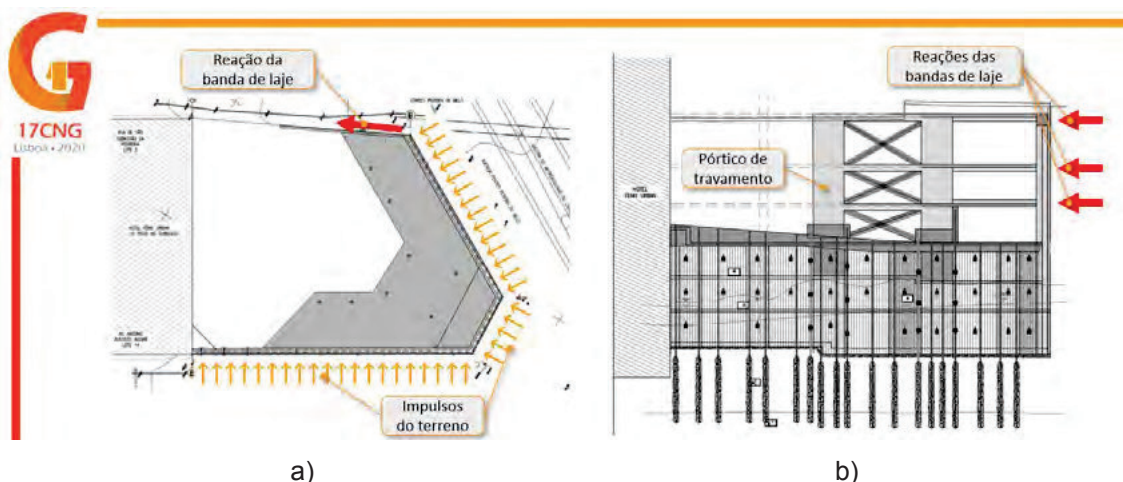


Figura 5 - Solução de contenção periférica no alçado nascente, com representação de pórtico de travamento (a) e respetivo esquema de funcionamento (b)

O pórtico de travamento foi instalado antes do início dos trabalhos de escavação, a partir da execução de um roço com cerca de 0,50m de espessura no muro de suporte pré-existente que confrontava para Rua de São Sebastião da Pedreira. Para tal, foi necessário proceder à demolição controlada e parcial do muro de suporte existente. Na fase definitiva, a própria estrutura dos pisos enterrados será responsável pela estabilidade das paredes de contenção periférica, incluindo o desnível de impulsos global a que a estrutura do edifício terá que estar submetida, sendo as ancoragens e todos os elementos de natureza provisória desativados quando a referida estrutura se encontrar integralmente construída acima da cota da Avenida António Augusto Aguiar.

3.1. Adaptações das Soluções em Fase de Obra

Com vista à adaptação às condições reais da obra, apenas passíveis de serem identificadas em fase de obra, assim como à otimização do prazo de execução dos trabalhos, foram realizadas algumas adaptações às soluções de contenção periférica inicialmente previstas

As principais adaptações consistiram, de forma genérica, na substituição da metade Norte da contenção periférica no alçado Nascente, sensivelmente entre o pórtico de travamento e o edifício vizinho. Prevista inicialmente com recurso à solução “Berlim Definitivo”, a solução alternativa consistiu na materialização de uma cortina de estacas Ø500mm afastadas, a eixos, de 0,75m, compatível com a demolição prévia, neste

mesmo troço, do muro de suporte existente, bem como com os condicionamentos de Arquitetura, decisão que permitiu otimizar o prazo de execução da obra.

Em paralelo, as características geométricas do mesmo muro de suporte, investigadas durante a obra, e a necessária compatibilização com a execução prévia do pórtico de travamento, determinaram a necessidade da reconfiguração da geometria deste último. Das alterações destacam-se a disposição dos escoramentos metálicos e, sobretudo, a construção de uma estrutura provisória em betão armado, com configuração em vela, anexa ao pilar principal, este último a integrar na estrutura final do edifício, que permitiram incrementar a rigidez da estrutura provisória (Figura 6). A demolição do muro de suporte, neste troço, apenas foi possível devido à existência de um contraforte no troço não demolido, do lado oposto, Av. Fontes Pereira de Melo, e que permitia assegurar o bom desempenho do alçado perpendicular, que confrontava para a mesma Av. Fontes de Pereira de Melo, durante os trabalhos de escavação para a execução das duas primeiras bandas de laje.



Figura 6 – Adaptações da solução em fase de obra - alçado Nascente (a) e pormenor do pórtico de travamento (b)

4. DIMENSIONAMENTO

O comportamento das estruturas de contenção periférica, em termos de esforços e de deformações, foi analisado, para todas as principais fases construtivas, através do programa de elementos finitos PLAXIS 2D, vocacionado para o efeito, considerando um modelo constitutivo para o terreno do tipo “Hardening Soil”, o qual considera uma relação constitutiva não linear e a variação da rigidez do solo com o estado de tensão aplicado. Para efeitos da modelação dos terrenos, foram utilizados os parâmetros apresentados no Quadro 1.

Complementarmente, para avaliação do comportamento conjugado da parede de contenção, travada através das bandas de laje, e o pórtico de travamento, foram desenvolvidos modelos no SAP2000.

Quadro 1 – Parâmetros geomecânicos adotados

Descrição / ZG	N _{spt}	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	$E_{50}^{ref}/$ E_{ced}^{ref} (MPa)	E_{ur}^{ref} (MPa)	m (-)	R _f (-)
Areias silto-argilosas e calhaus / A _t	9-60	18	27	-	8	24	0,5	0,9
Areias e siltes com seixo abundante / a	60	18	30	-	10	30	0,5	0,9
Argilitos brandos a sub-rochosos com frequentes passagens calco-margosas / M ₁ '	>60	20	32	25	60	180	1	0,9
Argilas margosa com intercalações calco-margosas/ M ₁ '	53-60	20	30	20	50	150	1	0,9
Calco-arenito/ Calcário gresoso/ M ₁ '	W ₅₋₄	21	36	25	60	180	1	0,9
Basalto decomposto (areias siltosas) / β	W ₅	21	34	25	60	180	1	0,9
Basalto / β	W ₄₋₃	21	40	25	70	210	1	0,9

O estudo das seções com bandas de laje foi efetuado tendo em conta a interação entre a cortina de estacas e os elementos de travamento. De modo, a concretizar este objetivo foram introduzidos apoios elásticos no modelo de análise da contenção periférica, com rigidez equivalente às bandas de laje de travamento. Esta rigidez foi determinada por via da análise iterativa do modelo de elementos finitos dos troços de laje, implementado no programa SAP2000. As forças a que estes apoios elásticos do modelo da contenção ficam sujeitos, no decorrer das análises levadas a cabo no estudo da cortina de estacas, foram posteriormente introduzidas no modelo das bandas de laje obtendo-se, assim, os esforços de dimensionamento dos elementos que constituem este sistema. Na Figura 7 encontram-se ilustrado o processo descrito assim como os modelos implementados.

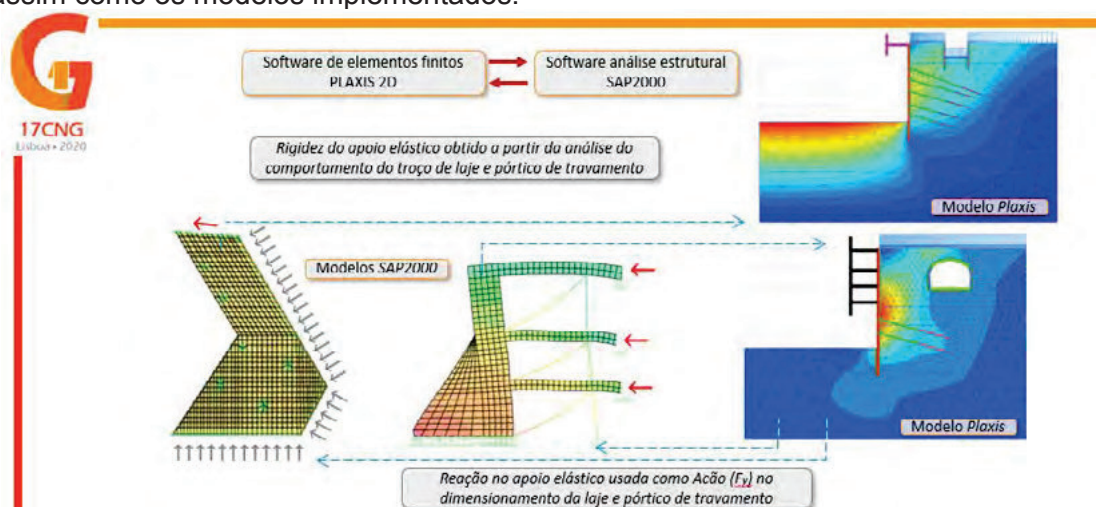


Figura 7 – Modelos de elementos finitos para dimensionamento da solução de cortina de estacas travada com bandas de laje

O comportamento da estrutura de contenção periférica foi analisado para as principais fases de escavação, tendo-se avaliado os principais parâmetros de dimensionamento, nomeadamente, os esforços nas estruturas de contenção, deformações, estados de tensão e a estabilidade dos terrenos a conter, bem como ainda os incrementos de deformação em estruturas e infraestruturas vizinhas ao recinto de escavação.

5. PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Tendo por base o complexo enquadramento da obra, foi definido um Plano de Instrumentação e Observação (PIO), com o objetivo de assegurar a realização dos trabalhos em condições de segurança para a obra e para as estruturas e infraestruturas vizinhas. No enquadramento descrito, foram instalados os seguintes aparelhos, definindo, sempre que possível, seções de instrumentação:

- Alvos topográficos, distribuídos pela contenção periférica, bordos das bandas de lajes, empenas dos edifícios vizinhos, e na estrutura do Túnel do Metropolitano de Lisboa e do Túnel do Marquês;
- 5 células de carga, para aferição da carga instalada nas ancoragens;
- 4 inclinómetros, a tardoz das estruturas de contenção periférica;
- 1 piezómetro, para controlo da cota do nível freático;
- 1 sismógrafo, para controlo de vibrações durante o processo de demolições.

Com base na modelação realizada, foram definidos os critérios de alerta e de alarme para todos os aparelhos e para todas as estruturas e infraestruturas monitorizadas. No que respeita à instrumentação no interior da galeria do túnel do Metropolitano de Lisboa e do Túnel do Marquês, foram considerados os critérios estabelecidos nas instruções do Metropolitano de Lisboa. Os resultados dos deslocamentos máximos registados no interior da galeria foram de cerca de 3mm, inferiores aos critérios de alerta de 7mm definido pelo Metropolitano de Lisboa, e compatíveis com os valores estimados através dos modelos de cálculo. Nos restantes dispositivos, as leituras estiveram sempre abaixo dos critérios de alerta e alarme definidos em projeto. Na Figura 8 apresenta-se esquematicamente a localização dos dispositivos de instrumentação e alguns dos resultados obtidos mais notáveis.

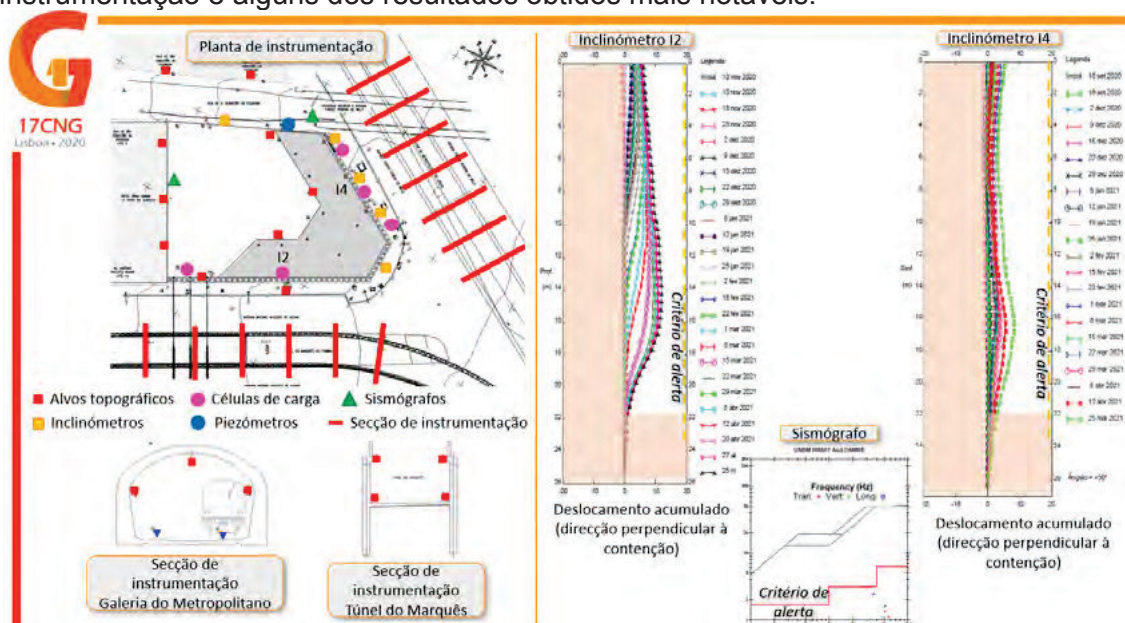


Figura 8 – Planta e secções esquemáticas de instrumentação e resultados mais notáveis

Face ao exposto, e à presente data em que os trabalhos de escavação se encontram concluídos, os resultados obtidos pela instrumentação permitem comprovar a adequação das soluções implementadas e dos parâmetros geomecânicos considerados na modelação das mesmas soluções.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na sequência de trabalhos semelhantes de escavações em meio urbano (Carvalho e Pinto (2019), Tomásio e Pinto (2019) e Pinto et al. (2017), o enquadramento da obra executada determinou a necessidade de desenvolver soluções devidamente compatibilizadas com os vários condicionamentos existentes, sem comprometer a segurança e a boa funcionalidade da obra e das estruturas e infraestruturas vizinhas.

A solução de travamento com recurso a bandas de laje foi concebida com o objetivo de ultrapassar a limitação encontrada nos alçados confrontantes com o Túnel do Metropolitano de Lisboa, sob a Avenida Fontes Pereira de Melo, e com o Túnel rodoviário do Marquês, sob a Avenida António Augusto Aguiar. A viabilidade da implementação deste tipo de solução requereu a coordenação e compatibilização com as diversas especialidades, em particular com a Arquitetura e com a Estabilidade, aspeto esse que, no presente caso, se considera ter sido muito bem conseguido.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Expspring, S.A., Dono de Obra, a autorização para a redação e publicação do presente artigo. Consideram ainda importante sublinhar que as soluções implementadas resultaram de um trabalho de equipa, no âmbito do qual deve ser destacado o papel importante das empresas: Mota-Engil, empreiteiro, Gapres, projeto de estruturas e fundações, e Engexpor, fiscalização.

REFERÊNCIAS

- Carvalho, C. e Pinto, A. (2019). AR53 – Ground Improvement and Earth Retaining Solutions in Lisbon Downtown. *17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Reykjavik, Iceland. Discussion Section D3-6 (Preservation of Historic Sites). ISBN 978-9935-9436-1-3.
- Tomásio, R. e Pinto, A. (2019). Retaining Wall Solutions for Underground Extension of Hospital da Luz in Lisbon – Portugal. *17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Reykjavik, Iceland. Discussion Section D5-5 (Soil Structure). ISBN 978-9935-9436-1-3.
- Pinto, A.; Fartaria, C.; Pita, X. e Tomásio, R. (2017). *FPM41 high rise building in central Lisbon: innovative solutions for a deep and complex excavation*. *19th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Seoul, Korea. pp 2029 – 2032, TC 207 (Soil Structure). ISBN 978-89-952197-5-1.