

Contenção Periférica e Recalçamento de Fachadas do Edifício Liberdade 203, na Rua Rosa Araújo, em Lisboa, Portugal

Alexandre Pinto

JETsj Geotecnia, Lisboa, Portugal, apinto@jetsj.com

Ana Pereira

JETsj Geotecnia, Lisboa, Portugal, apereira@jetsj.com

RESUMO: No presente artigo são descritos os principais critérios de concepção e de execução adotados nas soluções de escavação e contenção periférica e de contenção e recalçamento de fachadas centenárias, implementadas para a construção do Edifício Liberdade 203, localizado na Rua Rosa Araújo, nº 1 a 35 e na Avenida da Liberdade nº203, em Lisboa. São apresentados os principais condicionamentos existentes, nomeadamente os geológico-geotécnicos, existindo camada de aterros com 16m de espessura máxima, os arquitetónicos e os de vizinhança. Para contenção da escavação foi adotada a solução denominada de “Berlim definitivo”, suportada por ancoragens e escoras provisórias. As fachadas com 22m de altura máxima foram recalçadas através de microestacas, de forma devidamente compatibilizada com as soluções adotadas para a contenção periférica. Por último, são apresentados e analisados os principais resultados da instrumentação e observação da obra.

PALAVRAS-CHAVE: Recalçamento, fachadas, contenção, escavação, ancoragens, microestacas.

1 INTRODUÇÃO

No presente artigo são apresentadas as soluções preconizadas e executadas para os trabalhos de escavação e contenção periférica e de contenção e recalçamento de fachadas centenárias, adotadas no âmbito da execução dos quatro pisos enterrados do edifício designado por Liberdade 203. O edifício Liberdade 203 encontra-se localizado na Rua Rosa Araújo, nº1 a 35, e na Avenida da Liberdade nº203, em Lisboa, em Portugal (Figura 1).

O edifício foi implantado no espaço onde existiam cinco edifícios, sendo três centenários, estando dois deles em estado de conservação, por vezes, precário. O interior de três edifícios de alvenaria foi demolido, tendo sido preservadas todas as fachadas principais e duas de tardoz, por imposição da entidade licenciadora. Um dos edifícios de construção mais recente foi demolido integralmente e um dos edifícios de alvenaria não foi demolido,

tendo sido reforçado estruturalmente.

A estabilidade das fachadas, relativamente às ações horizontais, durante a obra, foi assegurada, provisoriamente, por uma estrutura metálica de contenção.

O recalçamento foi realizado através de duas fachadas de microestacas, de forma devidamente compatibilizada com as soluções adotadas para a contenção periférica da escavação e para a contenção das fachadas.

A escavação foi realizada ao abrigo de uma contenção periférica, executada de acordo com a tecnologia denominada de “Berlim definitivo” e localizada parcialmente sob o plano das fachadas principais existentes e preservadas. Foi prevista a realização de ancoragens como meio de travamento da contenção em todos os alçados. O recinto onde foi realizada a escavação, com profundidade variável entre cerca de 12m e 14m, dispõe de uma área com geometria aproximadamente retangular com cerca de 52,0x27,0 m².



Figura 1 - Fotografia aérea do local de intervenção.

2 PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1 Geologia, Geotecnia e Hidrologia

De acordo com a informação resultante das campanhas de prospeção realizadas, o dispositivo geológico do local foi caracterizado pela ocorrência do substrato de idade Miocénica, sobrejacente ao Oligocénico e ao Neocretácico, recoberto por aterros heterogêneos. Os aterros foram identificados, em toda a área de intervenção, na prospeção realizada, com espessura significativa, sendo variável entre cerca de 13m e 16m. O Miocénico, representado pelas “Argilas e Calcários dos Prazeres”, é constituído por argilas margosas e calcários alterados. O Oligocénico, representado pela “Formação de Benfica”, é constituído por argila, por vezes com intercalações calcárias. O Neocretácico (Complexo Vulcânico de Lisboa) é constituído por basaltos decompostos (W5), recuperados como argila silto-arenosa e basaltos medianamente a muito alterados (W3-4 e W3), com preenchimento predominantemente de natureza carbonatada.

Foi definido um zonamento geotécnico, tendo por base os resultados obtidos nos trabalhos de prospeção mecânica e nos ensaios “in situ” e, ainda, na observação do local da obra e nos elementos bibliográficos existentes, tendo sido individualizadas 3 zonas geotécnicas distintas, ZG3 a ZG1. Tendo por base todas as considerações anteriores, as quais se basearam

nos elementos recolhidos no âmbito dos relatórios de reconhecimento geotécnico, assim como na experiência obtida no acompanhamento de outras escavações realizadas nas mesmas formações, considerou-se ajustado estabelecer para as zonas geotécnicas, os parâmetros que se apresentam na Tabela 1.

Tabela 1 - Principais Parâmetros Geomecânicos Adotados

Zonas geotécnicas	Litologia	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (kPa)	E' (MPa)
ZG3	Aterro areno-argiloso	16	28	0	5
ZG2	Argilas e calcários Prazeres	21	30	40	70
ZG1	Complexo vulcânico de Lisboa	22	40	25	150

γ – peso volúmico;

ϕ' – ângulo de resistência ao corte, em tensões efetivas;

c' – coesão efetiva;

E' – módulo de deformabilidade.

No que se refere às condições hidrológicas, de acordo com as leituras dos piezómetros, instalados na envolvente do recinto da escavação, o nível freático foi registado apenas num dos piezómetros a profundidades próximas da cota de fundo da escavação. Durante a escavação, que ficou concluída no final de Fevereiro de 2016, não foi detectada a presença de água no fundo de escavação.

2.2 Condicionamentos arquitetónicos e de natureza construtiva

No local de implantação do edifício Liberdade 203 existiam cinco edifícios, tendo sido considerados divididos em três zonas estruturalmente distintas, designadas por blocos A, B e C, na generalidade constituídos por um piso enterrado e cinco a seis pisos elevados. Na ligação entre os blocos A e B existia um edifício, aparentemente de construção mais recente, com apenas dois pisos elevados (Figura 2).

O Projeto de Arquitetura previa a demolição completa do bloco C, a demolição interior completa do bloco B, constituído por 2 edifícios centenários, e do edifício de ligação,

preservando-se apenas as fachadas frontais, junto à rua Rosa Araújo, e as de tardo.

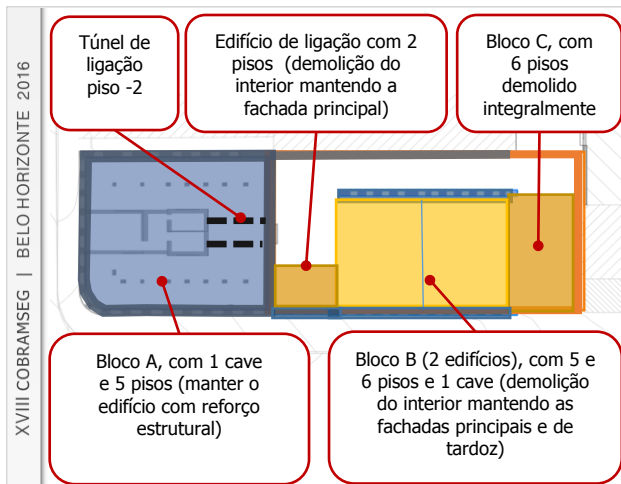


Figura 2 – Planta dos edifícios existentes no local da intervenção.

Na zona correspondente ao bloco B e ao edifício de ligação ao bloco A e ainda no bloco C o projeto de arquitetura previa a execução de 4 pisos enterrados, correspondendo a uma escavação com profundidade variável entre cerca de 12 e 14m. No que se refere ao bloco A, dado o estado de integridade da estrutura de alvenaria existente, não foi prevista nem a demolição da estrutura nem a realização de pisos enterrados adicionais, mantendo a cave existente, e realizando apenas intervenção de reforço estrutural. De forma a permitir o acesso ao estacionamento, a partir do bloco A, foi, ainda, prevista a execução de um túnel de ligação entre o bloco A e o bloco B, ao nível do piso -2, como indicado na Figura 2. Para a execução desta ligação foi necessário prever o recalçamento da caixa de escada existente (saguão), ao nível do piso -1 no bloco A.

2.3 Condicionamentos de vizinhança

O recinto da escavação encontrava-se delimitado por edifícios de alvenaria, um dos quais correspondente ao Bloco A, e edifícios com estrutura em betão armado e pela Rua Rosa Araújo (Figura 3). As soluções adotadas foram concebidas de forma a minimizar o impacto no normal funcionamento das referidas estruturas e de todas as infraestruturas vizinhas durante e após a conclusão dos trabalhos.

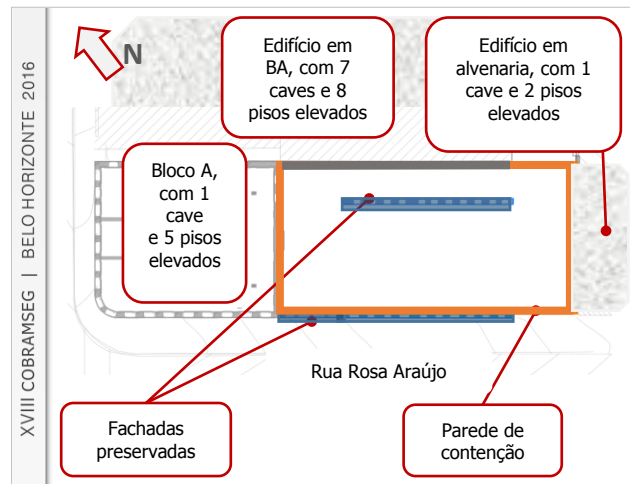


Figura 3 – Identificação das Condições de vizinhança.

Antes do início dos trabalhos foram ainda realizadas vistorias aos edifícios vizinhos, assim como foram executados poços de reconhecimento com vista à determinação da geometria e cota de fundação das fachadas a recalçar, bem como das fundações dos edifícios adjacentes. Foi, ainda, efetuado o levantamento de todas as infraestruturas enterradas existentes no passeio da Rua Rosa Araújo.

3 SOLUÇÕES PROPOSTAS

3.1 Recalçamento das fachadas

O recalçamento das fachadas preservadas foi materializado através de duas fiadas de microestacas de secção tubular (uma fiada de cada lado das fachadas), solidarizadas entre si e às fachadas a preservar através de vigas de recalçamento de betão armado, ligadas às referidas paredes através de mecanismos de costura constituídos por barras de aço de alta resistência, pré-esforçadas por aperto, do tipo “Gewi” (Figura 4 e Figura 5).

Este sistema tem como principal função a transmissão do peso próprio da fachada para as microestacas. No enquadramento descrito, foram adotados perfis metálicos tubulares em aço de alta resistência ($f_{syd} > 560$ MPa), com comprimento de selagem, abaixo da cota de fundo da escavação, em terrenos com N_{SPT} superior a 30 pancadas.

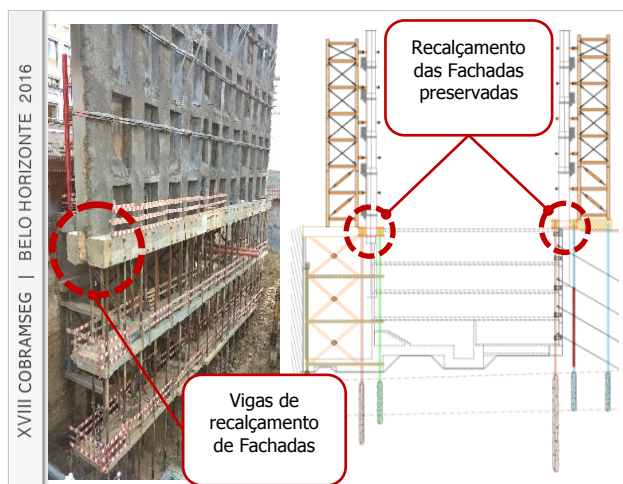


Figura 4 – Vistas da solução executada para o recalçamento de fachadas.

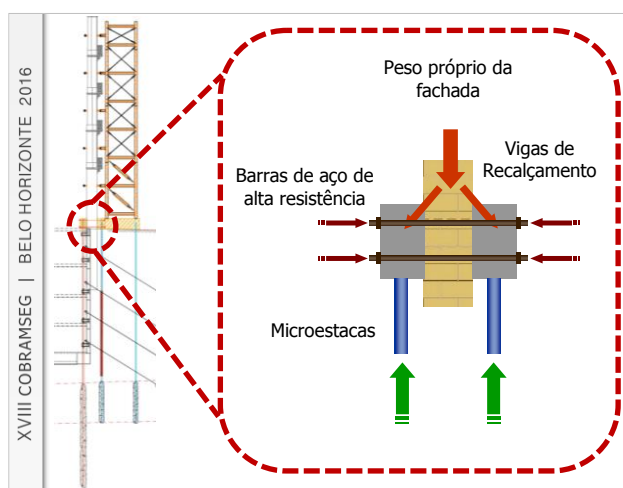


Figura 5 – Corte transversal tipo da solução de recalçamento das fachadas.

Estes elementos foram colocados no interior de furos com diâmetro de 8" (200mm) e 10" (250mm) e submetidos a injeção de preenchimento e de selagem, esta última realizada através de sistema IRS, no comprimento correspondente ao bolbo de selagem (Bustamante e Doix, 1985). De forma a garantir a verificação da segurança à encurvadura, as microestacas de recalçamento das fachadas de tardoiz foram travadas por troços de laje em betão armado, para travamento horizontal das microestacas, ligados à parede de contenção.

No caso das fachadas principais, as microestacas de recalçamento interiores permitiram, ainda, o apoio dos painéis de betão armado da contenção periférica.

3.2 Contenção de Fachadas

Para a contenção das fachadas às ações horizontais, em particular à ação do vento e do sismo, foi adotada uma solução modular e reutilizável, desenvolvida e aplicada pela empresa PERI, devidamente compatibilizada com as soluções adotadas para o recalçamento das fachadas e para a contenção periférica. Esta solução teve por base o apoio lateral das fachadas principais em quatro torres e as de tardoiz em três torres (Figura 6). As referidas torres foram fundadas em microestacas, de características análogas às consideradas para o recalçamento das fachadas e para a contenção periférica.



Figura 6 – Vistas das estruturas de contenção de fachadas.

De forma a garantir o travamento das microestacas de fundação da estrutura de contenção de fachada de tardoiz, para os esforços horizontais devidos ao vento e ao sismo, foi prevista a execução de perfis UNP colocados em diagonais em duas direções, ligados entre si através de chapas metálicas, e ligados às bandas de laje através de chapas metálicas.

3.3 Contenção Periférica

Atendendo aos condicionamentos referidos, nomeadamente a necessidade de preservar as fachadas existentes, no interior do recinto de escavação e a existência de camada de aterros com espessura máxima de 16.5m, a escavação

para execução dos pisos enterrados, com profundidade máxima de 14m, foi realizada ao abrigo de uma parede de contenção periférica, executada de acordo com a tecnologia denominada de “Berlim Definitivo”. Neste tipo de solução, a parede de contenção é realizada por painéis de betão armado e por níveis, de cima para baixo, sendo os referidos painéis apoiados em perfis metálicos verticais, executados antes do início dos trabalhos de escavação, e cuja função é suportar as cargas verticais a que a contenção está sujeita. No que se refere ao respetivo travamento, este foi garantido por ancoragens pré-esforçadas e escoras de canto provisórias (Figura 7).

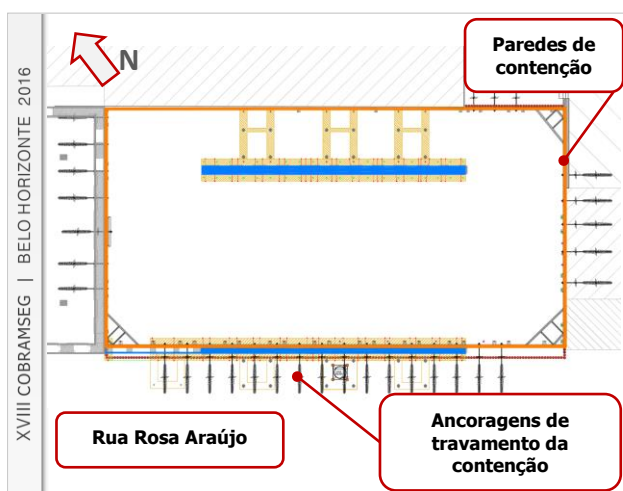


Figura 7 - Planta da solução de contenção periférica

As microestacas de apoio das paredes de contenção foram colocadas no interior de furos de $\varnothing_{min}=8''$ (200mm) e $10''$ (250mm), foram seladas e injetadas através de sistema de Injeção Repetitiva e Seletiva IRS, com recurso a válvulas anti-retorno e obturador duplo, no comprimento correspondente ao bolbo de selagem (Bustamante e Doix, 1985). As microestacas foram executadas exteriormente à estrutura de contenção, sendo realizados cachorros metálicos de ligação dos perfis à parede de contenção e às vigas de coroamento (Figura 8 e Figura 9). Complementarmente, e atendendo às características dos edifícios adjacentes e ainda de forma a limitar a descompressão dos terrenos escavados, foi previsto um tratamento prévio dos materiais de aterro através de colunas de calda de cimento

$\varnothing 250\text{mm}$, afastadas de 0,3m, executadas até 1.0m abaixo da cota de fundo da escavação. Nos alçados que confinam com edifícios vizinhos, o topo das colunas foi realizado abaixo da cota de fundação dos edifícios adjacentes, com o cuidado necessário, e com intervalos adequados de forma a preservar a integridade dos elementos de fundação vizinhos. A execução deste tratamento minimiza a descompressão dos aterros e permite a realização da escavação recorrendo a um faseamento menos condicionado (Kutzner, 1996).

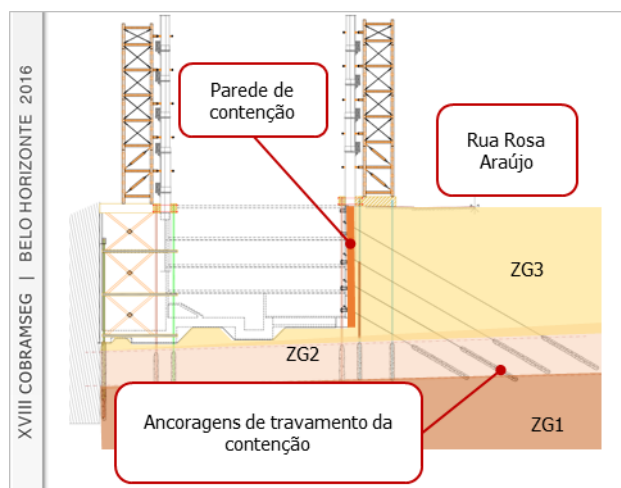


Figura 8 – Corte transversal tipo da solução de contenção periférica.



Figura 9 – Vistas da parede de contenção periférica, com recurso a ancoragens pré-esforçadas

Os painéis da contenção foram betonados diretamente contra o paramento vertical aberto no terreno ou contra as colunas de calda de cimento, garantindo-se a estabilidade da parede

da contenção, face aos impulsos do terreno durante as operações de escavação, pela execução de ancoragens pré-esforçadas ou pela colocação de escoras metálicas provisórias. As ancoragens pré-esforçadas provisórias, constituídas por 5 cordões de 0,6", foram seladas através do sistema IRS em formações competentes ($N_{SPT} > 30$ pancadas) e geologicamente estáveis em relação à geometria da escavação.

4 DIMENSIONAMENTO

O comportamento das estruturas de contenção, das fachadas preservadas, e do terreno envolvente, em termos de esforços e de deformações, foi analisado, para todas as fases construtivas, através do programa de elementos finitos vocacionado para a realização de análises tensão-deformação de estruturas geotécnicas, em particular Plaxis Professional. Nos cálculos efetuados foi admitido para os terrenos interessados um comportamento elástico perfeitamente plástico, associado ao critério de rotura de Mohr-Coulomb. As análises realizadas consistiram no estudo das secções tipo representativas de cada alçado da contenção, com o intuito de avaliar os esforços na estrutura de contenção, as deformações, estados de tensão e a estabilidade do maciço a conter, bem como de estimar os incrementos de deformação em estruturas e infraestruturas vizinhas ao recinto de escavação. Na Figura 10 apresenta-se um exemplo de resultados de deformações horizontais obtidos nas secções tipo modeladas, sendo relativa à contenção de maior altura com a solução de travamento com ancoragens pré-esforçadas. Na verificação da segurança dos elementos de contenção e de recalçamento foi adotada 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 apresentados anteriormente na Tabela 1.

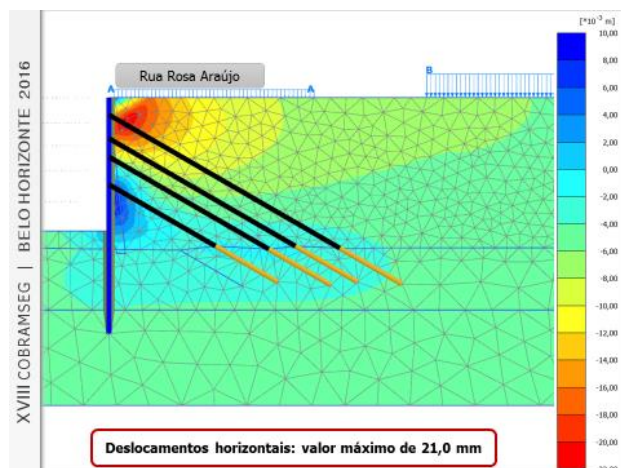


Figura 10 – Modelo de cálculo. Deformações horizontais.

5 PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Tendo por base o enquadramento e a complexidade das soluções adotadas na obra, foi implementado 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 infra-estruturas vizinhas, bem como para validar atempadamente os pressupostos de dimensionamento considerados na fase de Projeto. No enquadramento descrito, foram instalados os seguintes dispositivos de observação:

- 70 alvos topográficos, distribuídos pelos vários alçados da contenção periférica, nas fachadas preservadas e nos edifícios vizinhos;
- 7 células de carga, para aferição da carga instalada nas ancoragens;
- 1 inclinómetro, instalado no passeio da Rua Rosa Araújo, a tardo da parede de contenção.

Foram definidos vários perfis de observação com a instalação deste conjunto de aparelhos. Os alvos foram lidos, durante a execução dos trabalhos de escavação e de contenção, com uma frequência, no mínimo, semanal, tendo em certos períodos sido lidos 2 ou 3 vezes por semana. Os inclinómetros foram lidos com intervalo de tempo maior. Foram definidos os seguintes critérios de alerta e de alarme para os deslocamentos da estrutura de contenção e para

a variação de carga nas ancoragens, tendo como base os resultados dos cálculos efetuados. Na Figura 11 mostra-se a localização dos dispositivos de observação instalados.

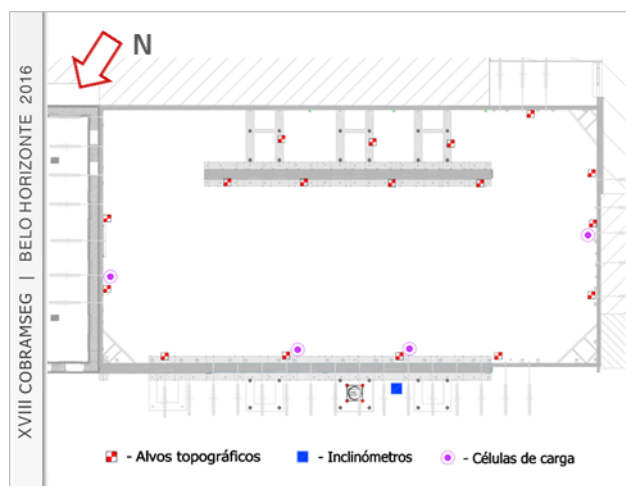


Figura 11 – Planta de localização dos dispositivos de observação instalados, no âmbito do P.I.O.

Na Figura 12 mostra-se um exemplo de resultados de leituras dos alvos topográficos instalados na parede de contenção do alçado Sudoeste e na fachada de tardoz.

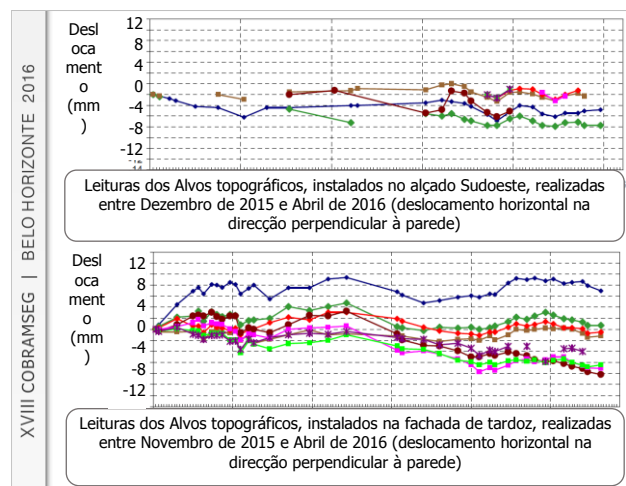


Figura 12 – Exemplo de resultados de alvos topográficos instalados na parede de contenção.

Tendo em consideração a altura de escavação (14m) e as características dos terrenos interessados, os deslocamentos obtidos na parede de contenção, de cerca de 6mm na direção horizontal, no geral, semelhantes aos registados nos alvos instalados nas restantes paredes de contenção, consideram-se reduzidos.

Relativamente às fachadas, tendo em consideração a sua altura máxima de cerca de 22m, os deslocamentos obtidos nos alvos, de cerca de 9mm na direção horizontal, no geral, semelhantes aos registados nos restantes alvos instalados nas fachadas, consideram-se aceitáveis. Salienta-se que na fase inicial dos trabalhos de escavação e contenção periférica, durante a primeira quinzena do mês de Novembro de 2015, coincidentes com alguns dias de condições atmosféricas desfavoráveis, em particular devido à acção do vento, foi observada uma tendência de deslocamento horizontal das fachadas para o interior da obra. Após a verificação da inexistência de eventuais folgas nas estruturas de contenção das fachadas e tendo os fenómenos de aparente instabilidade mantido uma tendência para evolução, foi efectuado o reforço do sistema de contenção de fachadas, através da instalação de um nível de escoramentos, vigas treliçadas, localizados no terço superior das fachadas. Após a instalação dos escoramentos de reforço confirmou-se a tendência para a estabilização dos movimentos, conforme se pode verificar na Figura 12.

6 PRINCIPAIS QUANTIDADES

As principais quantidades associadas aos trabalhos descritos no presente artigo apresentam-se em seguida na Tabela 2.

Tabela 2. Principais quantidades de trabalhos			
Material	Escavação	Microestacas	Ancoragens
Unidades de medição	m ³	ml	ml
Valor total	18.000	2.800	2.340

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O recurso a trabalhos de escavação e contenção periférica para a construção de estruturas enterradas de novos edifícios, associados à preservação das fachadas de edifícios históricos, tem vindo a ser cada vez mais frequente nos últimos anos, em particular nas zonas centrais e históricas das grandes cidades Europeias, onde o maior número de imóveis, de elevado valor

patrimonial e arquitetônico, se encontra, em geral, associado à maior necessidade de criação de espaços enterrados (Pinto et al., 2014, 2010 e 2008). Como exemplo, pode ser citado o caso apresentado no presente artigo, onde a preservação das fachadas centenárias foi associada à necessidade de realização de trabalhos de escavação para a construção de vários pisos enterrados, com área em planta superior à dos edifícios existentes no local que foram demolidos, mantendo as fachadas. Esta exigência determinou o recalçamento das fachadas, assim como a construção da parede de contenção periférica parcialmente sob as duas fachadas principais, que confrontam com a Rua Rosa Araújo (Figura 13).

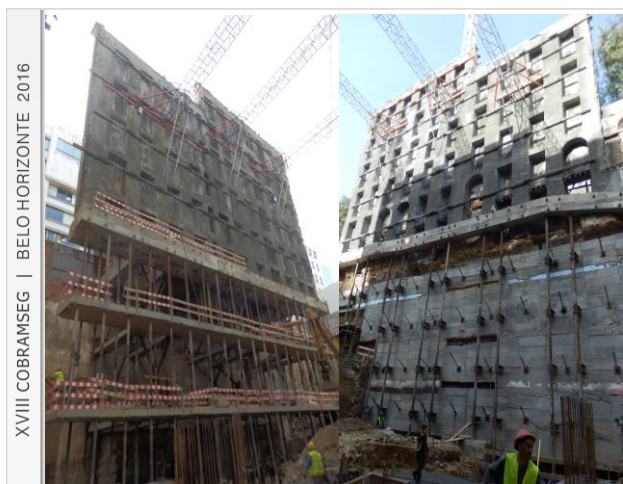


Figura 13 – Vista das fachadas preservadas e da parede de contenção por baixo do recalçamento.

Destaca-se, como fator importante, a versatilidade das soluções implementadas, as quais possibilitaram diversos ajustes e afinações no decorrer da obra, em função da informação adicional que foi sendo recolhida e atempadamente interpretada, ao longo dos trabalhos de furação e de escavação. Destaca-se ainda a importância que teve a implementação do plano de instrumentação e observação, pois este permitiu monitorizar os deslocamentos das contenções e edifícios vizinhos em tempo útil, possibilitando a implementação de soluções de reforço localizadas.

Atendendo à complexidade deste tipo de intervenção, que obriga a avaliar e a gerir com segurança a incerteza associada ao comportamento geotécnico dos terrenos

interessados e ao comportamento estrutural de fachadas centenárias, em alvenaria de pedra, que foi necessário preservar, destaca-se a importância de conceber e de executar soluções contenção periférica e de recalçamento devidamente articuladas entre si (Bullivant e Bradbury, 1996).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Promotor da obra, Nickel Real Estate, Lda., 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 da empresa JSJ, ao nível do Projeto de Estabilidade, da empresa HCI, nos trabalhos de construção civil, e da empresa Tecnasol, nas intervenções de natureza geotécnica e de instrumentação e observação.

REFERÊNCIAS

- Bullivant, R. e Bradbury, H. W. (1996). *Underpinnig – A practical guide*, Oxford, Blackwell Science.
- Bustamante, M., Doix, B. (1985). Une method pour le calcul de tirants et des micropieux injectes. *Bulletin de Liason des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, Ministère de L'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer, Paris. n.º140, pp.75-92.
- Kutzner, C. (1996). *Grouting of Rock and Soil*. Rotterdam, Balkema.
- Pinto, A.; Pereira, A.; Sepúlveda, J.; Gonçalves, R.; Jesus, M. (2014). *Soluções de Contenção Periférica e de Recalçamento de Fachadas do Edifício do Hotel Porto Bay Liberdade, na Rua Rosa Araújo, em Lisboa*. 14º Congresso Nacional de Geotecnia, Universidade da Beira Interior – Covilhã, publicado em CD-ROM;
- Pinto, A.; Pita, X.; Coutinho, J. (2010). *Soluções de Contenção Periférica e de Recalçamento de Fachadas do Edifício na Av. Da República n.º25 - Lisboa*. 12º Congresso Nacional de Geotecnia, Guimarães, publicado em CD-ROM;
- Pinto, A.; Tomásio, R.; P., Xavier (2008). *Soluções de travamento de contenções periféricas recorrendo a elementos estruturais*. BE 2008 – Encontro Nacional de Betão Estrutural, Guimarães, pp. 409-410 (resumo), artigo publicado em CD, Tema 7 – Realizações.