

SOLUÇÕES DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA COM RECALÇAMENTO DE FACHADA DE UM EDIFÍCIO HISTÓRICO EM LISBOA

Earth retaining solutions and façades underpinning
for the refurbishment of a historic building in Lisbon

Inês Filipa Braz^a, Alexandre Pinto^{a,b}, Eduardo Freitas^b, Rogério Santos^c

^a JETsj Geotecnia Lda, Lisboa, Portugal

^b Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Ambiente, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Portugal

^c PPE – Planeamento e Projetos de Engenharia Lda, Lisboa, Portugal

RESUMO – O presente artigo descreve as soluções de escavação, contenção e recalçamento de fachadas adotadas na reabilitação do Palácio do Lavra e do Palácio das Pedrosas, dois edifícios com cerca de 260 anos localizados em Lisboa. A intervenção visou a construção de novos pisos enterrados sob as fundações originais, tendo exigido o desenvolvimento de soluções de recalçamento provisórias que permitissem a execução dos novos pisos subterrâneos em condições de segurança. O projeto apresentou desafios significativos, decorrentes tanto das condições geológicas e geotécnicas complexas do local como da sua implantação no centro histórico da cidade, junto à base de uma encosta densamente urbanizada. A contenção periférica foi executada com recurso a uma solução do tipo Berlim Definitivo, travada provisoriamente por ancoragens, tirantes e escoramentos metálicos. O recalçamento das fachadas foi realizado com recurso a microestacas tubulares de diferentes diâmetros, que foram também utilizadas, sempre que possível, como suporte vertical provisório de vários painéis de contenção. Este artigo apresenta os principais condicionamentos de projeto, os modelos de cálculo adotados e as adaptações executadas em obra.

ABSTRACT – This article describes the excavation, earth-retaining, and façade underpinning solutions adopted during the rehabilitation of Palácio do Lavra and Palácio das Pedrosas, a 260-year-old building located in Lisbon. The intervention aimed to construct new basement levels beneath the original foundations, requiring the development of temporary underpinning solutions to allow the safe execution of the underground floors. The project presented significant challenges due to the complex geological and geotechnical conditions of the site, as well as its location in the historic city centre at the base of a slope and within a dense urban environment. The peripheral earth-retaining system consisted of a king post wall solution, temporarily supported by ground anchors, tie rods, and steel struts. Façade underpinning was carried out using tubular micropiles with different diameters, which were also used, whenever possible, as temporary vertical support for the retaining wall panels. This article presents the main constraints that formed the basis for the design of the adopted solution, as well as the calculation models used and the adaptations implemented during construction in response to unforeseen site conditions and instrumentation results.

Palavras Chave – escavação e contenção periférica, recalçamento, meio urbano.

Keywords – excavation and earth retaining, underpinning, urban environment.

E-mails: ibraz@jetsj.com (I. Braz) apinto@jetsj.com (A. Pinto), rogerio.santos@ppe.pt (R. Santos), eduardo.freitas@ppe.pt (E. Freitas)

ORCID: orcid.org/0009-0007-5585-108X (I. Braz), orcid.org/0000-0003-0844-889X (A. Pinto)

1 – INTRODUÇÃO

No âmbito dos trabalhos de reabilitação do Palácio das Pedrosas (CTT), localizado na Rua de São José, em Lisboa, foi necessário desenvolver um projeto de escavação e contenção periférica, que envolveu a necessidade de recalçamento e contenção de fachadas existentes devido ao seu valor patrimonial. A Figura 1 apresenta uma vista aérea da área de intervenção, permitindo identificar os principais condicionamentos e limites do lote. A Figura 2 apresenta, a sombreado, as zonas a escavar sob a estrutura existente.

Tratando-se de um edifício antigo, a solução a adotar ficou condicionada por diversos fatores, tornando este projeto particularmente exigente. Os condicionamentos mais relevantes são descritos nas secções seguintes.

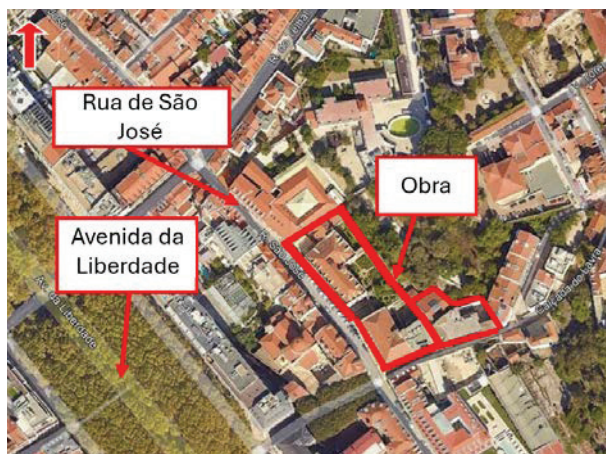


Fig. 1 – Localização da obra.



Fig. 2 – Áreas a escavar sob a estrutura existente (áreas assinaladas a cor de laranja).

2 – PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1 – Condicionantes relacionadas com os limites do lote

Nesta intervenção, foram executados 1 a 3 pisos enterrados, sendo que, todo o lote confronta com edifícios vizinhos e a vias rodoviárias, estando localizado numa zona com bastante densidade urbana e, como tal, com limites de deformação aceitáveis bastante reduzidos. As soluções propostas devem, assim, ser compatíveis com a preservação da integridade de todas as estruturas e infraestruturas localizadas fora do perímetro do lote, garantindo as respetivas condições de funcionamento. A Figura 3 apresenta uma imagem 3D do local da intervenção, obtida a partir do Google Earth, onde é possível ver as referidas confrontações.



Fig. 3 – Vista 3D dos edifícios e arruamentos adjacentes (imagem do Google Earth, 2022).

2.2 – Condicionantes relacionadas com a necessidade de preservação das fachadas

Atendendo à necessidade de manter a integridade da maioria das fachadas principais do edifício, considera-se essencial que a intervenção seja realizada de forma a minimizar o impacto na sua estabilidade e no seu aspeto. Foi igualmente importante a adoção de soluções construtivas compatíveis com a utilização de equipamentos adequados aos espaços e acessos disponíveis, permitindo a execução dos trabalhos e, simultaneamente, limitando a ocorrência de vibrações e de ruído.

2.3 – Condicionantes geológicas e geotécnicas

De acordo com os dados recolhidos durante a campanha de caracterização geotécnica, a qual envolveu a execução de 9 sondagens à rotação, com execução de ensaios SPT e recolha de amostra, e considerando a geologia descrita na carta geológica, foram identificados no local os seguintes estratos litológicos:

- Aterros: Detetados na zona superficial de todos os furos de sondagem, com espessuras variáveis entre aproximadamente 0,20 e 1,50 m. Correspondem a materiais heterogéneos, contendo fragmentos de alvenaria, predominantemente de natureza silto-argilosa.
- Argilas e Calcários dos Prazeres: Os materiais pertencentes ao Miocénico encontram-se representados por uma alternância de camadas silto-arenosas e argilosas. As camadas mais siltosas apresentam por vezes transições com fragmentos fossilíferos e materiais margosos, com tonalidades esverdeadas a acinzentadas.

A tracejado encontra-se a cota prevista para o nível freático.

A Figura 4 apresenta um dos perfis geológicos recebidos onde são visíveis as camadas descritas. A tracejado encontra-se a cota do nível freático.

A Figura 5 apresenta a identificação das zonas geotécnicas e os respectivos parâmetros geológicos adotados no dimensionamento das soluções.

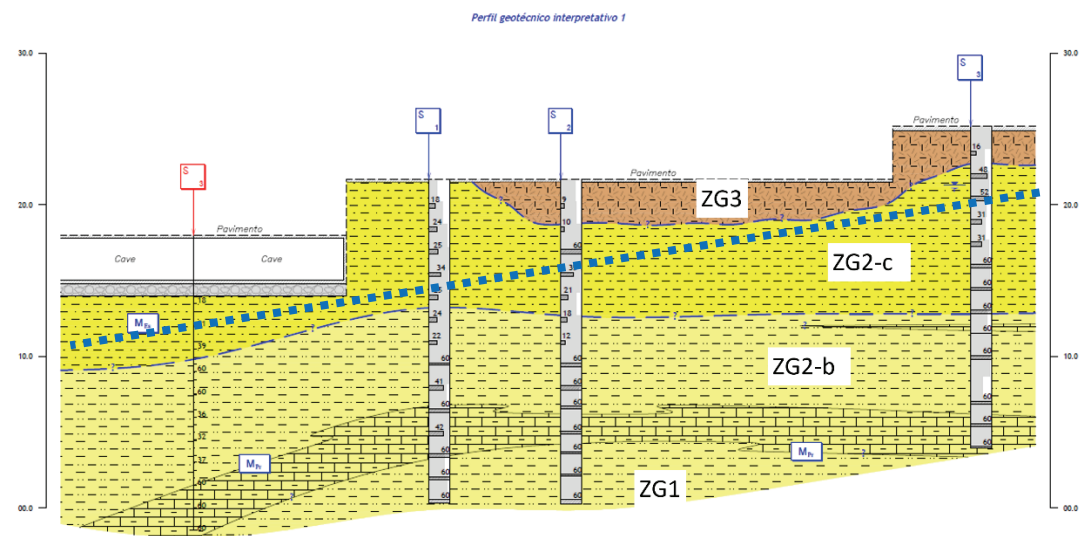


Fig. 4 – Perfil geológico e geotécnico.

Terreno geológico (litologias)	NsPT	Peso volúmico γ_t (kN/m ³)	Ângulo de atrito interno ϕ' (°)	Coesão C' (kPa)	Módulo de deformab. drenado, E' (MN/m ²)	Zonamento
ATERROS HETEROGÊNEOS (At)						
Areia argilo-siltosa a argila silto-arenosa, com raro seixo miúdo a médio e fragmentos cerâmicos dispersos.	9 – 16(?)	17	24	Nula	4	ZG3
MIOCÊNICO (M_{ES} + M_{PR})						
Argilas siltosas e silto-arenosas, carbonatadas com seixo miúdo a médio heterogêneo, com níveis de siltito/argilito gresoso com seixo miúdo calcário disperso	10 – 12	19	26	0 – 2	5	ZG2-a
	18 – 25	19	28	5	10	ZG2-b
	31 – 42	20	30	15	20	ZG2-a
Argilas siltosas e silto-arenosas carbonatadas, muito consolidadas com passagens de calcário conífero fragmentável e passagens calco-margosas	≥ 60	21	32	30	40 – 50	ZG1

Fig. 5 – Parâmetros geológicos e geotécnicos.

3 – SOLUÇÕES ADOTADAS

Para a execução dos novos pisos enterrados, assegurando simultaneamente a preservação das fachadas existentes, foram necessárias três soluções/estruturas distintas:

- Contenção periférica: a executar recorrendo à tecnologia de Berlim Definitivo.
- Recalçamento: solução constituída por vigas de betão armado apoiadas em microestacas.
- Contenção das fachadas existentes a preservar: estrutura de contenção de fachadas, constituída por torres metálicas e escoramentos provisórios. Este ponto encontra-se fora do âmbito do presente artigo, embora tenha sido necessário compatibilizar com as restantes soluções.

Tendo em consideração todas as condicionantes previamente referidas, nomeadamente a impossibilidade de execução de soluções mais robustas como cortina de estacas ou parede moldada devido à dificuldade de colocação e manuseamento dos equipamentos, assim como a necessidade de manter as áreas definidas nos projetos de arquitetura, considerou-se que a solução mais adequada seria a execução da escavação através da execução de Berlim Definitivo, a qual consiste na execução faseada, de cima para baixo, de painéis de betão armado apoiados provisoriamente em microestacas verticais. Este tipo de solução já foi aplicado em diversas obras localizadas nas imediações da presente, cujos projetos foram desenvolvidos pela mesma equipa de projeto (Pinto e Pereira, 2017), tendo sido executadas com sucesso e evidenciando a sua flexibilidade para adaptação em fase de obra quando se verifica necessário.

A Figura 6 e a Figura 7 apresentam a solução de recalçamento e de contenção periférica. É igualmente visível, ainda que fora do âmbito do presente artigo, a estrutura de contenção das fachadas incluindo as duas torres.

As microestacas são constituídas por perfis tubulares Ø88,9×9,0 mm, Ø114,3×9,0 mm e Ø177,8×12,5 mm, com juntas exteriores, em aço de alta resistência (tensão de cedência superior a 560 MPa), sendo estas microestacas igualmente responsáveis pelo recalçamento das fachadas. Na Figura 8a observa-se uma fotografia da solução aplicada em obra e, na Figura 8b, o modelo 3D dessa mesma zona.

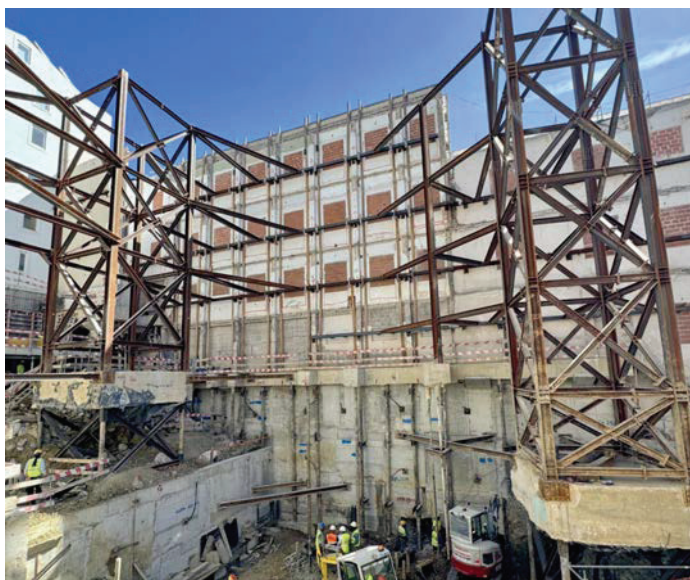
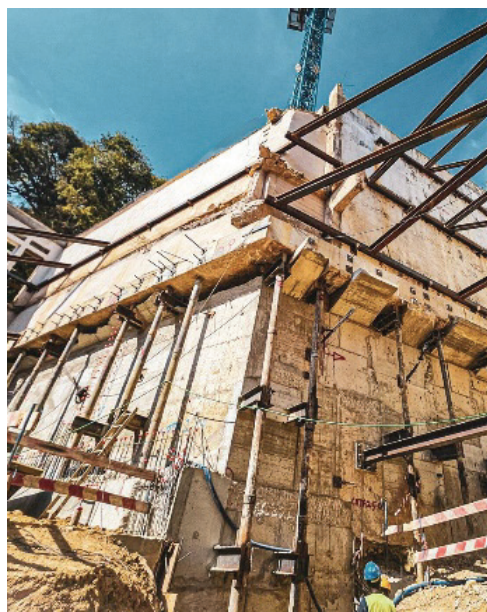


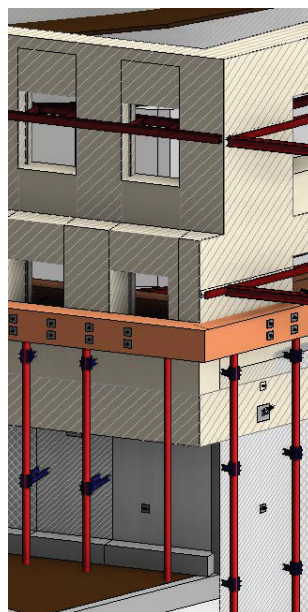
Fig. 6 – Execução de Berlim definitivo.



Fig. 7 – Recalçamento de fachada.



a) Fotografia da obra



b) Imagem do modelo 3D

Fig. 8 – Soluções de recalçamento e de contenção periférica.

Todas as microestacas foram seladas com o método de injeção IRS (injeção repetitiva e seletiva) localizados em terrenos competentes, com características de resistência e deformabilidade compatíveis com valores de NSPT superiores a 35 pancadas e geologicamente estáveis face à geometria da escavação.

Esta solução apresenta a vantagem de permitir a execução da parede definitiva na fase de escavação. O número de escoramentos provisórios (escoras metálicas e ancoragens) pode ser redefinido durante a obra, em função das características reais dos terrenos escavados e dos resultados do Plano de Instrumentação e Observação.

Nos casos em que é necessário proceder ao recalçamento das fachadas, foi indispensável a execução de uma viga em betão armado com capacidade para transmitir as cargas das fachadas para as novas fundações, materializadas pelas microestacas.

Para a solução de recalçamento consideraram-se dois casos: recalçamento assimétrico e recalçamento simétrico, representados, respetivamente, na Figura 9a e na Figura 9b. A necessidade de definir estes dois casos esteve relacionada com o facto de, em algumas zonas não ser possível construir de ambos os lados da fachada.

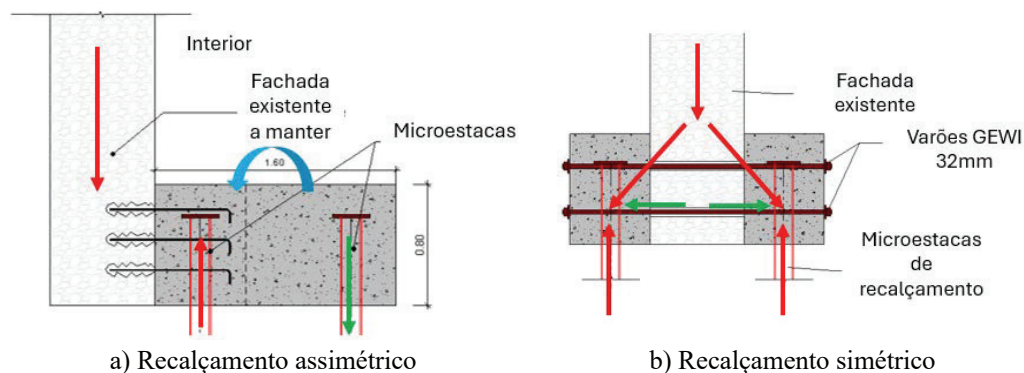


Fig. 9 – Soluções de recalçamento.

O modelo 3D é apresentado na Figura 10, onde se observam os elementos das fachadas existentes a preservar, a viga de recalçamento e as paredes de contenção associadas aos trabalhos de escavação.

4 – DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento da contenção periférica foi utilizado o programa de elementos finitos Plaxis 2D, onde foram modeladas diversas secções onde o número de caves, a geologia, ou as condições envolventes eram distintas. As microestacas e as paredes foram modeladas como elementos do tipo Plate, os bolbos de selagem como elementos do tipo Embedded beam row e as ancoragens como elementos do tipo Node-to-node anchor, com as respetivas características. As escoras foram modeladas como Fixed-end anchors.

Os esforços foram estimados tendo em consideração o processo construtivo, em particular as fases de escavação e de execução da contenção periférica. A caracterização das várias zonas geotécnicas teve como base as propriedades geomecânicas anteriormente apresentadas, recorrendo ao modelo constitutivo Hardening Soil Model.

Um dos modelos adotados encontra-se ilustrado na Figura 11.

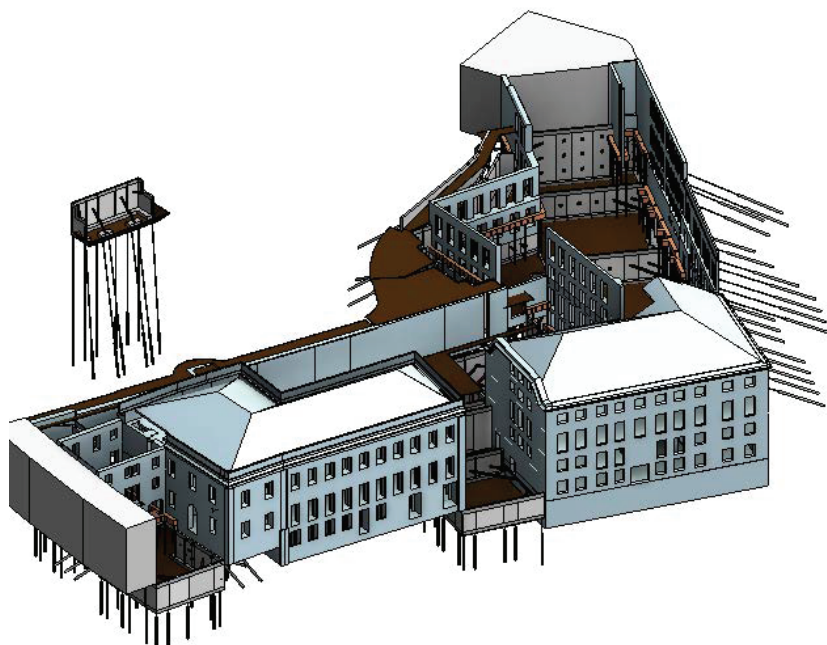


Fig. 10 – Vista 3D das soluções de escavação e contenção periférica.

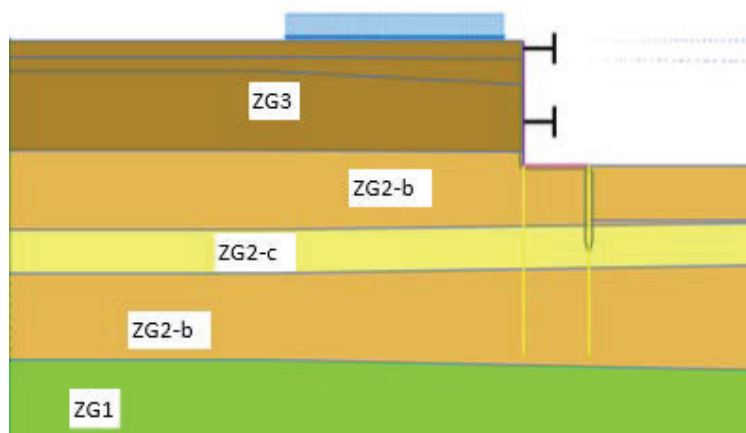


Fig. 11 – Modelo Plaxis 2D.

Após a execução da estrutura do edifício, o travamento horizontal da contenção passa a ser garantido pela própria estrutura dos pisos enterrados.

A deformação horizontal máxima estimada para esta solução foi de 1,15 cm. Este valor, obtido por modelação numérica, enquadra-se nos limites aceitáveis para este tipo de estrutura geotécnica e confirma a eficácia da solução adotada no controlo dos movimentos do terreno durante as fases de escavação e de construção.

No que diz respeito ao dimensionamento das estruturas de recalçamento, foi tido em consideração as espessuras das fachadas existentes, a sua constituição e altura, de modo a calcular a carga a ser transmitida a cada microestaca, tendo sido, sempre que possível, adotada a mesma microestaca para recalçamento da fachada e para fundação provisória da parede de contenção,

através da ligação com cachorros metálicos. A componente vertical das ancoragens, quando aplicável) foi também adicionada à carga proveniente da fachada, de modo a dimensionar os bolbos de selagem e verificar os comprimentos de encurvadura das microestacas. Este dimensionamento foi realizado tendo por base folhas de cálculo e a modelos de análise linear.

5 – PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

O Plano de Instrumentação e Observação proposto teve como objetivo garantir a execução segura e economicamente eficiente dos trabalhos de demolição, escavação e construção das estruturas de contenção de terras. Assim, o plano proposto deverá permitir a medição, durante as fases de escavação e execução da contenção periférica e dos pisos enterrados, dos seguintes parâmetros:

- Deslocamentos horizontais e verticais das estruturas de contenção de terras e dos edifícios vizinhos.
- Medição de cargas nas ancoragens.
- Deslocamentos horizontais na parede de contenção.

Os parâmetros acima descritos serão medidos recorrendo aos seguintes instrumentos:

- Alvos topográficos.
- Células de carga nas ancoragens.
- Inclínômetros.

Na Figura 12a encontra-se indicada a localização dos inclínômetros instalados (Inc) e das células de carga (CC). A Figura 12b mostra que todas as paredes se encontram equipadas com alvos topográficos, identificados por círculos a vermelho.

Com base nos resultados da instrumentação, várias soluções foram ajustadas durante a fase de obra. A título de exemplo destaca-se o Inclínómetro 3, que começou a evidenciar sinais de deformação aquando da chegada à cota final de escavação. Em consequência, recomendou-se a execução imediata das fundações da estrutura definitiva (Figura 13), uma vez que a cota final de escavação já tinha sido atingida. Com a execução dos elementos de fundação, as deformações ficaram estabilizadas.

No decorrer da obra, foi necessário a realização de uma estrutura de reforço de um muro de contenção existente no tardo da parede de contenção onde se encontrava instalado o inclínómetro 3, pelo que, foram executados dois furos de sondagem adicionais no tardo do muro existente, cujos dados recolhidos se revelaram relevantes para a compreensão da causa das deformações observadas, uma vez que a informação obtida permitiu identificar um estrato de solo previamente não detetado. Este estrato apresentava características geológicas e geotécnicas significativamente distintas, nomeadamente baixa resistência mecânica e elevada deformabilidade. Tornou-se evidente que este nível foi o principal responsável pelas deformações observadas durante a escavação.

6 – CONDICIONANTES E ADAPTAÇÕES EM OBRA

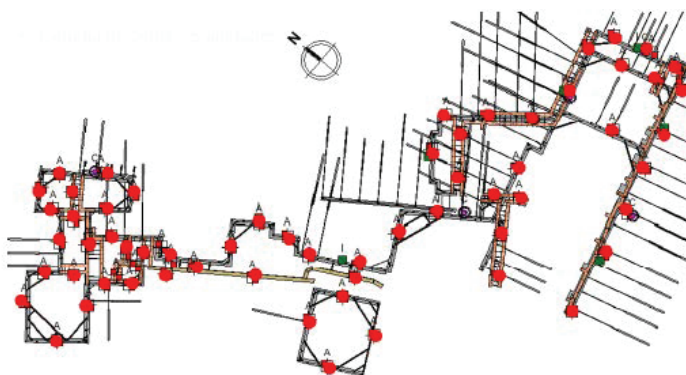
Durante as fases iniciais da construção, surgiram vários desafios imprevistos, que exigiram adaptações ao projeto e à estratégia de execução originalmente definidos.

Em projetos geotécnicos, é comum que seja necessário ajustar a solução durante a fase de obra uma vez que, embora um planeamento rigoroso seja fundamental, determinadas condições só podem ser plenamente compreendidas após o início da escavação. Estas constatações em obra conduzem frequentemente a alterações que não poderiam ter sido antecipadas na fase de projeto.

Neste capítulo apresenta-se um exemplo que ilustra de que forma o processo construtivo pode divergir do plano inicial.



a) Inclinómetros e células de carga



b) Alvos topográficos

Fig. 12 – Localização de inclinómetros e células de carga e dos alvos topográficos.

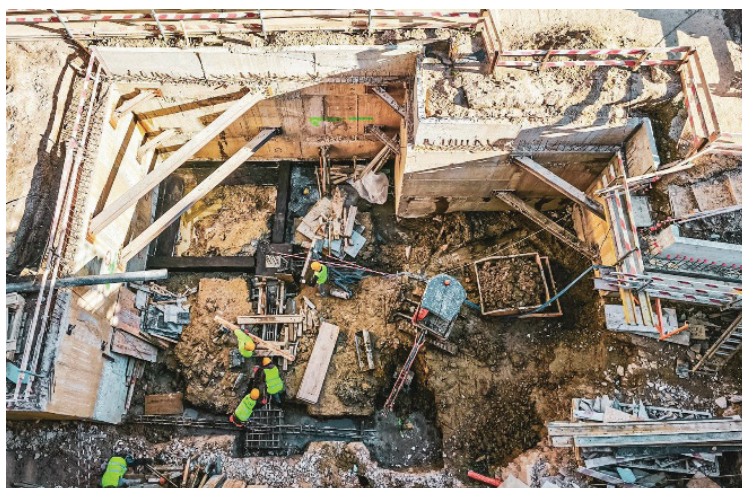


Fig. 13 – Execução das fundações definitivas conforme proposto para a estabilização das deformações.

Inicialmente, o projeto previa a utilização de ancoragens definitivas para travamento horizontal da parede de contenção, numa zona onde a estrutura definitiva não possuía rigidez suficiente para garantir as deformações máximas admissíveis. No entanto, após o início da furação, verificou-se que o terreno competente apenas era intersectado a uma profundidade da ordem dos 35 metros, bastante superior ao inicialmente previsto. Esta condição inesperada obrigou a uma revisão completa da solução prevista para este local uma vez que as ancoragens com um grande comprimento livre apresentam maior deformabilidade e estão sujeitas a perdas de pré-esforço mais significativas ao longo do tempo, o que, consequentemente pode levar a maiores deformações da parede de contenção.

A solução final passou pela execução da estrutura definitiva recorrendo ao método top-down. Tanto a sequência construtiva como a solução estrutural tiveram de ser ajustadas de modo a permitir a aplicação deste método de execução.

A solução inicial previa três níveis de estrutura metálica ligeira, com a geometria ilustrada na Figura 14a. Numa primeira fase procurou-se manter a geometria inicialmente prevista, procedendo apenas ao aumento da robustez dos perfis metálicos de escoramento. Contudo, devido às alterações introduzidas na sequência construtiva e à necessidade de acelerar a execução dos trabalhos, foi desenvolvida uma solução alternativa constituída por apenas dois níveis de escoramento em betão armado, conforme ilustrado na Figura 14b.

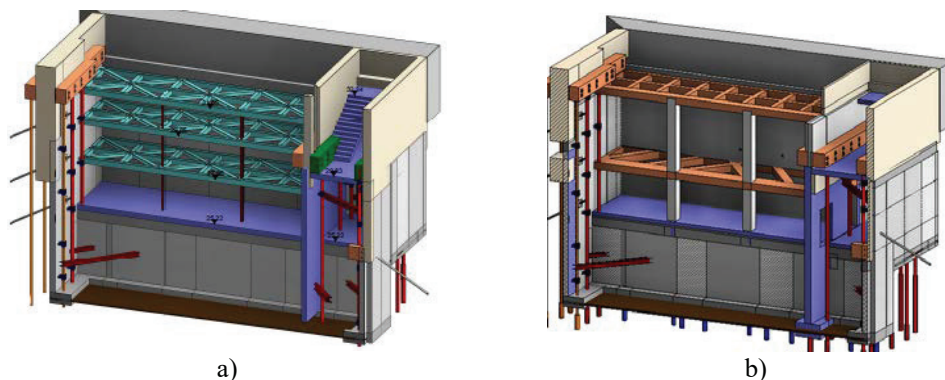
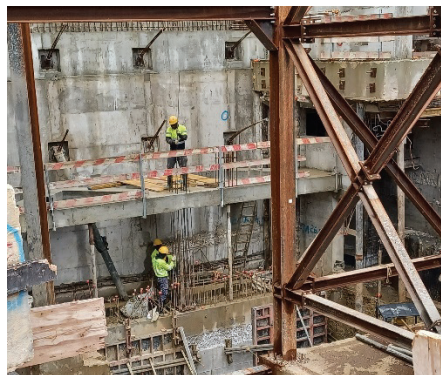


Fig. 14 – Soluções: a) inicial; b) executada.

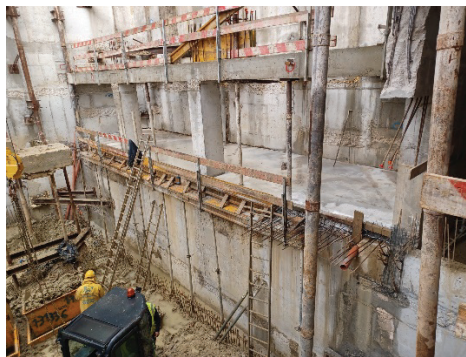
A Figura 15a e a Figura 15b apresentam, respetivamente, fotografias da solução durante a fase de execução e após a sua conclusão. Comparativamente à solução inicial em estrutura metálica, a solução em betão armado apresenta maior rigidez global e menor suscetibilidade a deformações induzidas por variações de temperatura, traduzindo-se num melhor desempenho em termos de controlo de deslocamentos. Adicionalmente, esta solução revelou-se mais adequada às condições existentes em obra, permitindo uma execução mais célere com os recursos disponíveis, uma vez que a equipa especializada necessária para a montagem da estrutura metálica não se encontrava mobilizada no local.

7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto de reabilitação do Palácio das Pedrosas (CTT) apresentou um conjunto complexo de desafios geotécnicos, estruturais e logísticos, em particular devido à necessidade de preservar estruturas existentes, simultaneamente com a execução de escavações profundas num contexto urbano fortemente condicionado. As soluções adotadas, nomeadamente o sistema de contenção do tipo Berlim Definitivo e a solução de recalçamento de fachadas, foram cuidadosamente desenvolvidas de modo a garantir a segurança, a adequabilidade às condições existentes e a viabilidade construtiva.



a)



b)

Fig. 15 – Fotografias: a) execução da solução; b) solução executada.

Ao longo do processo construtivo, tornou-se evidente que a capacidade de adaptação foi essencial. Condições geotécnicas imprevistas, como a identificação de um estrato de solo com características muito desfavoráveis previamente não detetado e a existência de muros parcialmente descalços, foram apenas duas das diversas situações que ocorreram ao longo da obra e que exigiram análises e reformulações em tempo real. Estes desafios foram ultrapassados através da realização de investigações adicionais em obra, de ajustes estruturais e de uma estreita articulação entre as equipas de projeto e de execução. A integração do Plano de Instrumentação e Observação revelou-se fundamental para a identificação atempada de situações críticas, permitindo a implementação eficaz e célere de medidas corretivas.

De forma global, este caso demonstrou a importância de um projeto geotécnico flexível, de uma monitorização contínua e de uma abordagem colaborativa na resolução de problemas em obra. O sucesso da intervenção assentou na capacidade de adaptar metodologias correntes às condições específicas do local, característica essencial de projetos geotécnicos complexos em contextos urbanos históricos.

8 – AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Dono de Obra a autorização para a publicação do presente artigo.

9 – REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Pinto, A.; Pereira, A. (2017). *Estruturas de contenção e soluções de recalçamento para três escavações na Rua Rosa Araújo, em Lisboa, Portugal*. 19.^a Conferência Internacional de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Seul, Coreia, pp. 1917-1920, Secção de Discussão TC 206 (Projeto Interativo). ISBN 978-89-952197-5-1.