

ESTRUTURA DE CONTENÇÃO PERIFÉRICA EXECUTADA COM A TECNOLOGIA DE CUTTER SOIL MIXING COM TRAVAENTO ATRAVÉS DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS

EARTH RETAINING STRUCTURE USING CUTTER SOIL MIXING TECHNOLOGY SUPPORTED BY STRUCTURAL ELEMENTS

Peixoto, Artur; *Geo-Rumo, Tecnologia de Fundações, S.A., Braga, Portugal, artur.peixoto@georumo.pt*
Sousa, Estela; *Geo-Rumo, Tecnologia de Fundações, S.A., Braga, Portugal, estela.sousa@georumo.pt*
Gomes, Pedro; *Geo-Rumo, Tecnologia de Fundações, S.A., Braga, Portugal, pedro.gomes@georumo.fr*

RESUMO

O presente artigo descreve os aspectos mais relevantes ao nível da concepção e da execução da estrutura de contenção periférica implementada no parque de estacionamento subterrâneo "Parking Saint Nicolas", localizado em Cannes, França. A estrutura de suporte para a construção dos quatro pisos subterrâneos consistiu numa cortina contínua de painéis de solo-cimento executados através da tecnologia de *Cutter Soil Mixing* (CSM), reforçados com perfis metálicos verticais. Face aos condicionamentos relativos às condições de vizinhança, nomeadamente a confrontação directa de edifícios e de arruamentos existentes, optou-se por realizar o travamento da estrutura de contenção por meio de dois níveis de bandas de laje a construir para o efeito durante a escavação e a incorporar na estrutura dos pisos do parque de estacionamento, constituindo quadros de travamento rígidos dos quatro alçados. Esta solução dispensou o recurso a ancoragens provisórias de grande comprimento e à consequente ocupação do subsolo vizinho, tendo-se mostrado bastante vantajosa do ponto de vista económico. Neste artigo são apresentados os principais resultados da instrumentação, da observação e do controlo de qualidade da obra.

ABSTRACT

This paper presents the most relevant design and execution aspects of a peripheral retaining structure for the construction of "Parking Saint Nicolas", an underground parking lot located at Cannes, France. The retaining wall to the construction of the four underground floors was executed through soil-cement panels by the application of Cutter Soil Mixing (CSM) technology, reinforced with vertical steel piles. Taking in account the constrains related to the urban surrounding, including the proximity of buildings and streets, two levels of reinforced concrete slab bands were implemented at the levels of floors "0" and "-2", creating a rigid support system of the four elevations. The slab bands were incorporated on the final structure of the building and with this solution the execution of ground-anchors with big lengths that would lead to the occupation of the neighbour underground was dispensed. Furthermore, this solution brought some economic benefits, especially due to the incorporation of elements used in the final structure at the preliminary stage of the work. The main objectives of the retaining wall were allowing the vertical excavation assuring simultaneously the stability of nearby structures and infrastructures, and also reduce the inflow of water into the interior of the excavation during the construction. The main results of modelling, instrumentation, monitoring and quality control of the work are also presented.

1 - INTRODUÇÃO

O presente artigo pretende dar a conhecer o caso de obra da estrutura de suporte das escavações necessárias para a execução do "Parking Saint Nicolas", um parque de estacionamento subterrâneo construído na cidade de Cannes, em França. O parque de estacionamento, com capacidade para 420 lugares de estacionamento automóvel, desenvolve-se em quatro pisos subterrâneos, correspondendo a uma altura média de escavação de 14 m. O recinto de escavação confronta directamente com edifícios e arruamentos existentes e dispõe uma geometria em planta aproximadamente rectangular com uma área de aproximadamente 2700 m² (Figura 1).

A estrutura de suporte foi realizada ao abrigo da tecnologia de *Cutter Soil Mixing* (CSM), através da execução de painéis contínuos de solo-cimento com secção transversal rectangular, semelhantes aos painéis das paredes moldadas, preconizando-se o travamento horizontal por dois níveis de bandas de laje maciça, em betão armado. Esta solução envolveu ainda a execução de microestacas de fundação que, em conjunto com a parede de contenção, garantiram o suporte das bandas de laje em fase provisória.

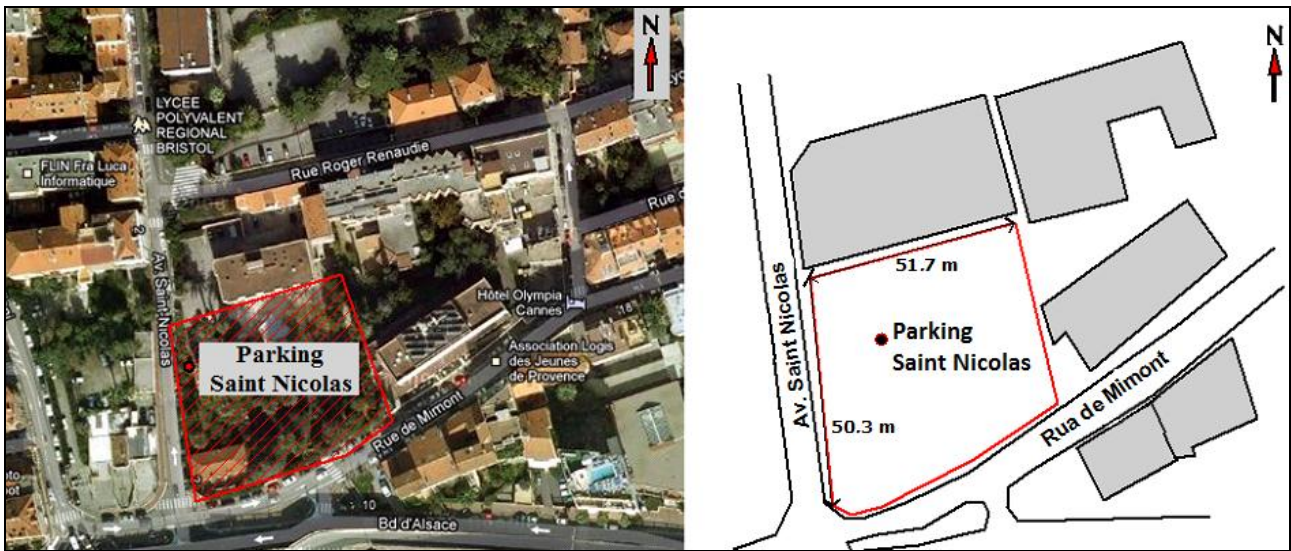


Figura 1 – Vista aérea da localização da obra

Durante a execução da obra apresentada uma das principais preocupações foi a garantia de funcionamento em condições de segurança dos arruamentos e edifícios vizinhos, pelo que toda a periferia da obra foi alvo de uma instrumentação cautelosa.

Na Figura 2 encontra-se uma representação do aspecto exterior do parque de estacionamento visto de duas das ruas adjacentes à obra: *Av. Saint Nicolas* e *Rua de Mimont*.



Figura 2 – Representação do aspecto exterior do parque de estacionamento

A tecnologia de CSM deriva da tecnologia de *Deep Soil Mixing* e tem por base a mistura do solo *in situ* com agentes estabilizadores (geralmente calda de cimento), formando paredes contínuas constituídas por painéis de solo tratado de melhoradas características de resistência e de deformabilidade, recorrendo para tal a uma hidrofresa. Os painéis de CSM são realizados por acção mecânica de rodas de corte que giram em torno de eixos horizontais (Figura 3), promovendo a desagregação do solo e a sua mistura com os ligantes adicionados simultaneamente (Fiorotto et al., 2005; Matos Fernandes et al., 2010).



Figura 3 – Pormenor da ferramenta de corte (à esquerda) e aspecto geral do equipamento de execução dos painéis CSM (à direita)

2 - PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1 - Condicionamentos de ordem geológica e geotécnica

Consultando a carta geológica à escala 1/50 000 correspondente à zona do centro da cidade de Cannes, onde se localiza a obra em estudo, verifica-se a ocorrência de formações geológicas sedimentares, representadas por terrenos marno-calcários a dolomíticos.

A avaliação das características geomecânicas dos terrenos interessados pela obra foi realizada, numa primeira fase, com base num estudo geotécnico que incluiu a realização de três ensaios pressiométricos (PMT – *Pressiometer Ménard Test*), três ensaios de furação destrutivos e um ensaio de bombagem, bem como a instalação de cinco piezómetros e a recolha de amostras para a realização de ensaios laboratoriais. Numa fase posterior realizou-se um segundo estudo geotécnico de forma a complementar a informação recolhida no estudo geotécnico inicial que incluiu a realização de seis ensaios PMT, a instalação de três piezómetros para a medição do nível freático e a recolha amostras para a realização de ensaios laboratoriais.

A análise dos resultados obtidos nos estudos geotécnicos realizados permitiu colocar em evidência um contexto geológico heterogéneo, tendo-se identificado a presença de uma camada de argilas arenosas com passagens margosas até profundidades variáveis entre 5.0 m e 10.0 m, sobrejacentes ao substrato constituído por margas argilosas e calcários competentes com algumas passagens mais alteradas. Tendo presente a heterogeneidade dos terrenos encontrados, os parâmetros geomecânicos que serviram de base ao estudo da solução de contenção foram agrupados de acordo com a informação presente no Quadro 1.

Realizou-se ainda um estudo hidrológico que conduziu aos valores do coeficiente de permeabilidade (k_h – coeficiente de permeabilidade horizontal; k_v – coeficiente de permeabilidade vertical) que constam também no Quadro 1. Ainda no âmbito do estudo hidrológico procedeu-se à aferição do comprimento mínimo de encastramento dos painéis da estrutura de contenção que permitiria minimizar a afluência de água ao interior do recinto de escavação. Nesse contexto, definiu-se que a estrutura de contenção deveria ter um comprimento mínimo de encastramento de 4 m no interior do substrato competente (Margas Rijas). O nível freático foi detectado a sensivelmente 5 m de profundidade.

Quadro 1- Principais parâmetros geomecânicos adoptados

| | Argilas arenosas (montante) | Argilas Arenosas (jusante) | Margas Alteradas | Margas Rijas |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| γ [kN/m ³] | 19 | 19 | 19 | 22 |
| c' [kPa] | 10 | 10 | 25 | 70 |
| ϕ' [°] | 25 | 25 | 25 | 30 |
| E_c [MPa] | 15 | 6 | 6 | 225 |
| k_h [m/s] | 1×10^{-4} | 1×10^{-4} | 2.5×10^{-6} | 2.5×10^{-6} |
| k_v [m/s] | 5×10^{-5} | 5×10^{-5} | 2.5×10^{-6} | 2.5×10^{-6} |

2.2 - Condicionamentos de vizinhança

A obra em estudo encontra-se numa zona urbana e confronta directamente com arruamentos e edifícios vizinhos, pelo que houve a necessidade de efectuar um acompanhamento rigoroso do comportamento da estrutura de contenção e das estruturas vizinhas ao longo das diferentes fases de escavação, de modo a garantir a minimização de interferências na envolvente da obra. O recinto de escavação apresenta as seguintes confrontações directas:

- a norte: edifício com um piso subterrâneo e quatro pisos elevados;
- a sul: arruamento (*Rua de Mimont*);
- a oeste: arruamento (*Av. Saint Nicolas*);
- a este: edifício com três pisos subterrâneos e quatro pisos elevados.

3 - DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO ADOPTADA

No contexto descrito, a estrutura de contenção das escavações necessárias para a realização dos pisos subterrâneos do parque de estacionamento consistiu numa cortina contínua de painéis de CSM.

O princípio de aplicação da tecnologia de CSM consiste na desagregação e mistura do solo com agentes estabilizadores de forma a obter painéis de solo-cimento com os valores de resistência e de deformabilidade exigidos em projecto (Arnold et al., 2011).

Tendo por base os esforços resultantes do impulso hidrostático, do impulso do terreno e das sobrecargas à superfície, cada painel CSM foi armado com dois perfis verticais do tipo IPE 450 em aço S 275 JR, posicionados com um espaçamento entre si de 1.10 m. O facto dos perfis se localizarem no interior dos painéis de CSM permite garantir o seu confinamento, evitando fenómenos de encurvadura.

A ferramenta de corte utilizada na aplicação da tecnologia de CSM permitiu obter painéis de solo-cimento com secção transversal rectangular de dimensões 2.40 m x 0.60 m, executados sequencialmente por painéis primários e secundários, com um comprimento de sobreposição entre si de 0.20 m de modo a assegurar uma boa ligação entre painéis adjacentes em profundidade (Figura 4).

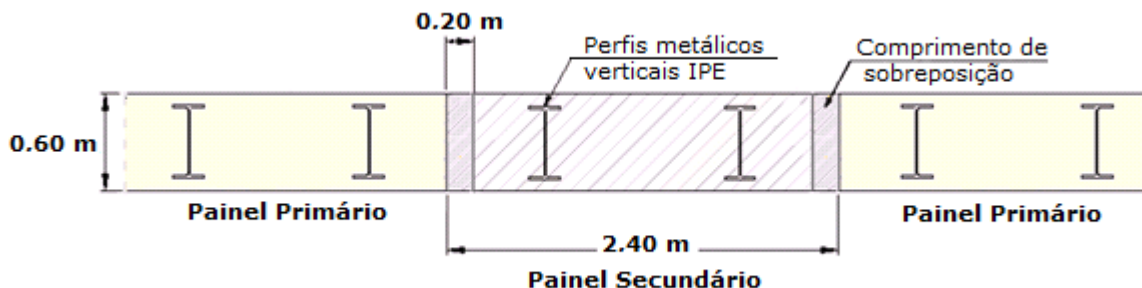


Figura 4 – Painéis primários e secundários da cortina de contenção em CSM

Os painéis de CSM e os respectivos perfis verticais foram solidarizados no topo por meio de uma viga de coroamento em betão armado.

O travamento da parede de CSM foi materializado por dois níveis de bandas de laje executadas de forma compatibilizada com os trabalhos de escavação e posteriormente incorporadas na estrutura dos pisos, constituindo quadros de travamento rígidos dos quatro alçados. Os referidos travamentos foram executados ao nível das lajes dos pisos "0" e "-2". Nas zonas de pequenas aberturas da laje e nas zonas das caixas de escadas, recorreu-se a escoramentos metálicos localizados. O apoio provisório das bandas de laje foi garantido por meio de 28 microestacas de fundação provisórias com secção tubular (N80 ϕ 177.8 x 10 mm - API5A) com uma barra Gewi (ϕ 50 mm) no interior.

Preconizou-se ainda a execução de uma parede de revestimento em betão armado com 0.20 m de espessura, realizada à medida que a escavação foi avançando.

É de referir que, na situação particular da obra apresentada, caso se optasse pelo travamento da parede de contenção por meio de escoramentos metálicos, as dimensões do recinto de escavação obrigariam à utilização de escoras de elevado comprimento e diâmetro e, dada a existência de confrontações directas de edifícios, a utilização de ancoragens não seria viável. Pelas razões apresentadas, a utilização de bandas de laje como meio de travamento da parede de contenção foi a opção considerada técnica e

economicamente mais vantajosa, tendo como vantagem principal a incorporação de elementos da estrutura definitiva para o travamento em fase provisória.

As bandas de laje são ligadas à parede de CSM por meio de perfis metálicos horizontais do tipo HEA soldados directamente aos perfis verticais dos painéis CSM e posteriormente embebidos na laje.

A Figura 5 mostra um corte-tipo da solução implementada e uma vista parcial da obra após a escavação até à profundidade máxima.

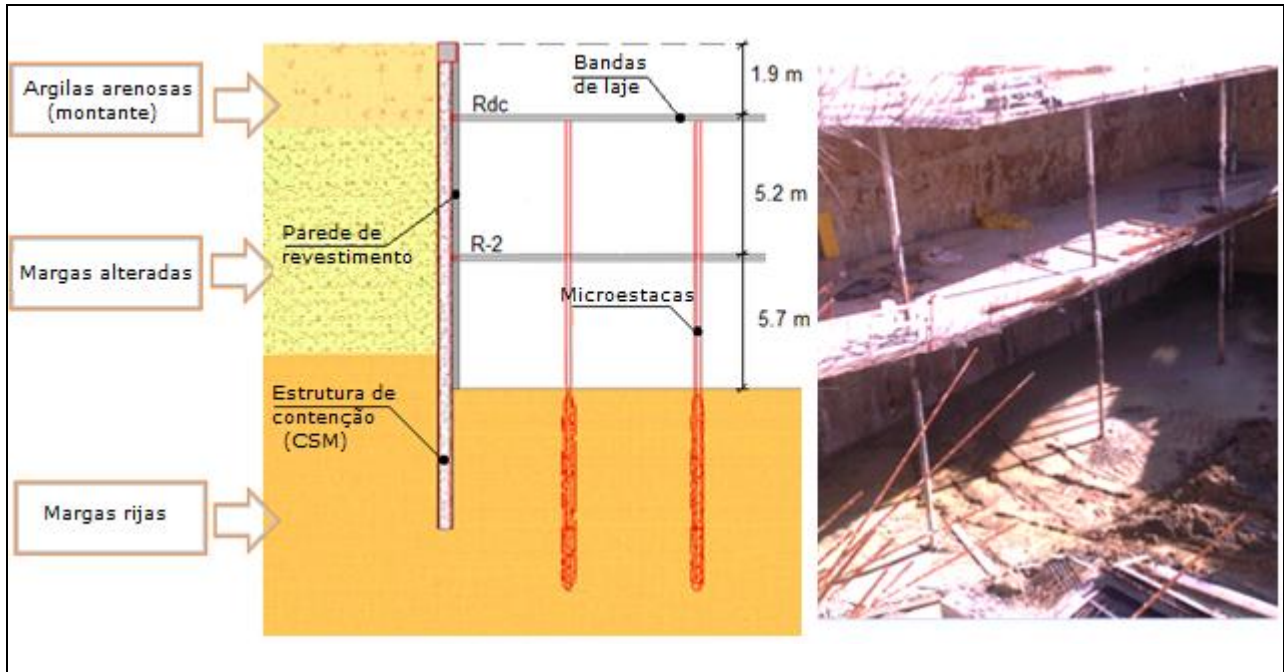


Figura 5 – Corte-tipo da estrutura de contenção (à esquerda) e vista parcial da obra após a escavação até à profundidade máxima (à direita).

A Figura 6 apresenta uma vista em planta da configuração geral da estrutura de contenção periférica, constituída por 95 painéis de CSM.

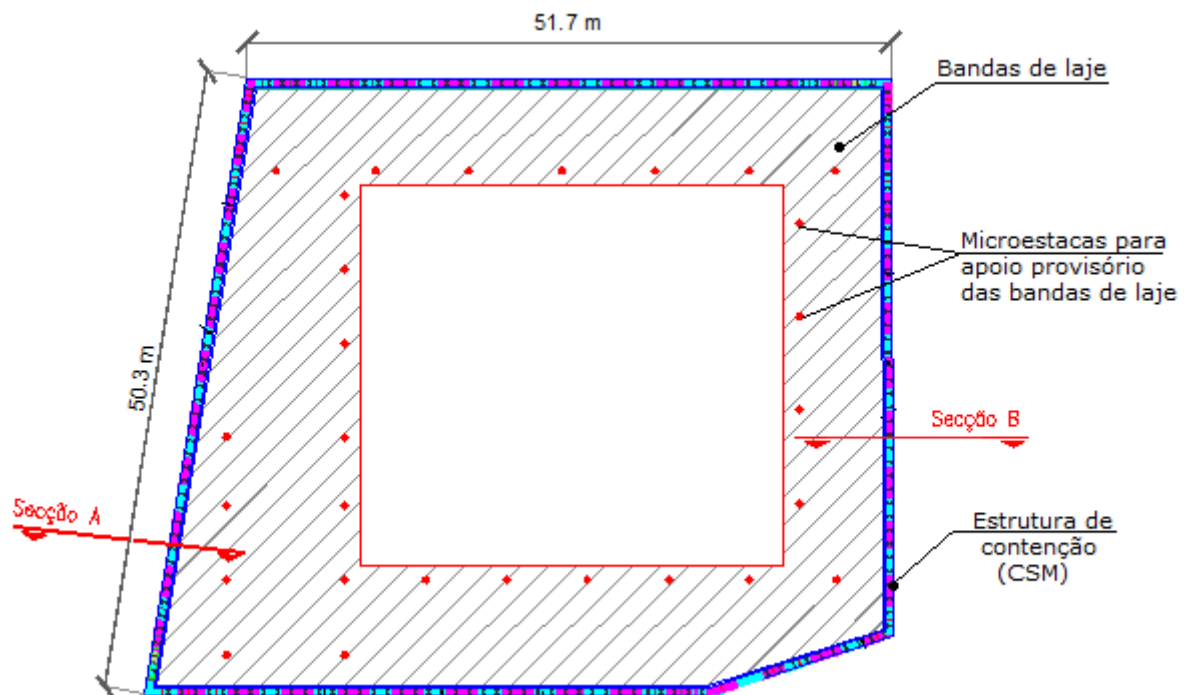


Figura 6 – Planta da obra com a configuração geral da solução de contenção periférica e identificação de duas das secções analisadas (Secção A e Secção B).

4 - MODELO DE ANÁLISE DA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO

Na análise da estrutura de contenção foram definidas quatro secções representativas dos quatro alçados da obra em estudo, consideradas como condicionantes para o dimensionamento da contenção periférica.

O comportamento das secções estudadas foi analisado recorrendo ao programa de elementos finitos Plaxis®. Através do referido programa de cálculo foram modeladas todas as fases do processo construtivo, de forma a maximizar a aproximação entre a modelação numérica e a situação real, tendo-se procedido ao estudo do comportamento do maciço e da própria estrutura de contenção em termos de esforços e de deformações.

Para a modelação do terreno em profundidade foram considerados os parâmetros geomecânicos estimados com base nas campanhas de prospecção realizadas, indicados no ponto 2.1, tendo-se recorrido ao modelo de comportamento *Hardening Soil*.

Nas figuras 7 e 8 são apresentados os modelos de análise de duas das secções estudadas: Secção A, representativa do alçado oeste e Secção B, representativa do alçado este.

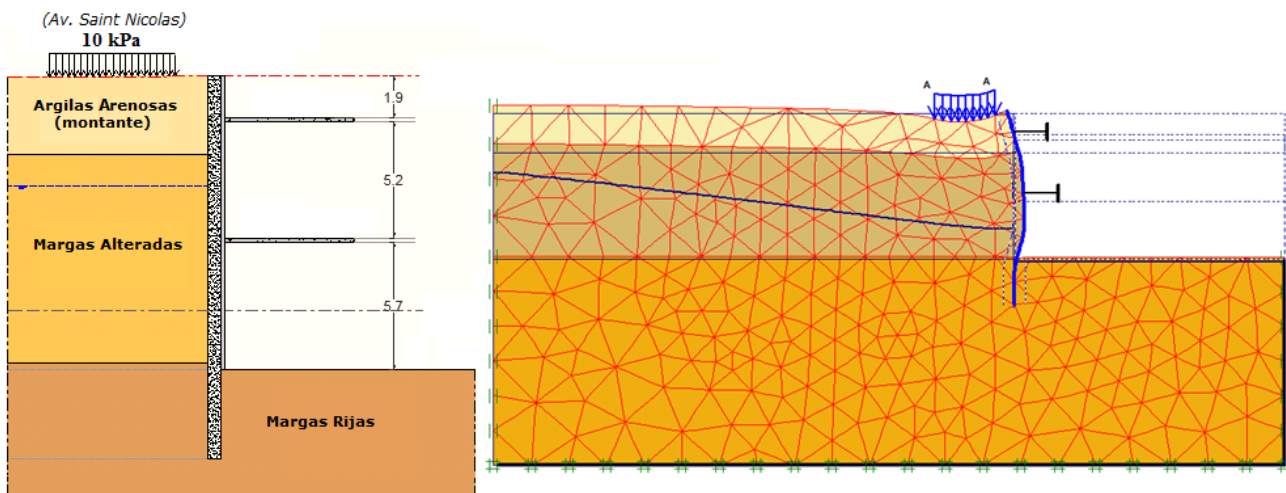


Figura 7 – Secção A (secção representativa do alçado oeste da obra): corte-tipo (à esquerda) e modelo de análise com a representação da deformada na última fase de escavação (à direita)

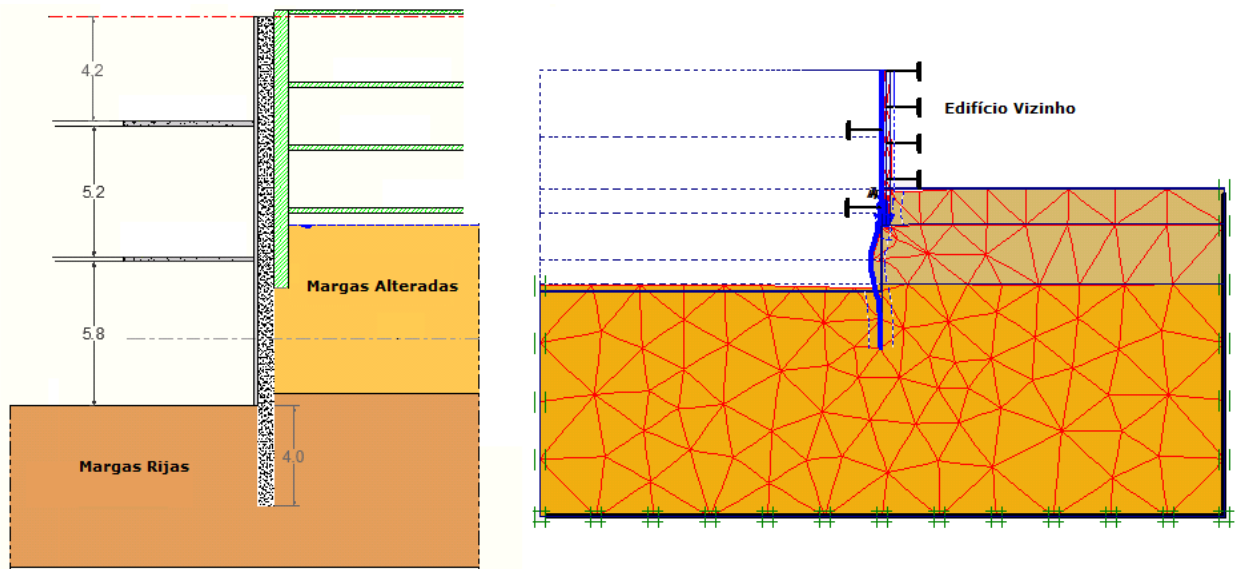


Figura 8 – Secção B (secção representativa do alçado este da obra): corte-tipo (à esquerda) e modelo de análise com a representação da deformada na última fase de escavação (à direita)

A simulação do processo construtivo inicia-se com a execução da estrutura de contenção, seguindo-se a simulação do primeiro nível de escavação, até uma profundidade de 0,5 m abaixo da cota do 1º nível de bandas de laje de travamento. A terceira fase consiste na introdução de um apoio elástico à cota do 1º nível de bandas de laje, seguindo-se a fase de escavação até 0,5 m abaixo do 2º nível de travamento. A quinta fase corresponde à introdução do 2º apoio elástico à cota do 2º nível de travamento e, por último,

é simulada à escavação até à profundidade máxima (altura de escavação de cerca de 14 m). É de salientar que, por se tratar de uma simulação em estado plano de deformação, o faseamento construtivo longitudinal da obra não é contemplado.

No Quadro 2 são apresentados os valores dos deslocamentos horizontais máximos da cortina obtidos na análise numérica das duas secções referidas.

Quadro 2- Deslocamentos horizontais máximos da cortina obtidos nas análises numéricas: Secções A e B

| | Deslocamento horizontal máximo (mm) | |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------|
| | Secção A | Secção B |
| No topo da cortina | -8.0 | 0.2 |
| Ao longo da altura da cortina | 15.0 | 5.0 |

Relativamente aos resultados obtidos na modelação numérica da secção B é de referir que, até se atingir a cota de escavação correspondente à cota da laje de fundo do edifício vizinho, não se verificou a introdução de esforços nem de deslocamentos significativos na estrutura de contenção. Nos níveis de escavação abaixo da cota da laje de fundo do edifício vizinho, verificou-se a ocorrência de deslocamentos horizontais na cortina, embora com valores reduzidos, visto tratar-se de uma escavação pequena altura e em terrenos de melhores características mecânicas em relação à zona mais superficial do maciço.

No que respeita ao dimensionamento do travamento da estrutura de contenção, foi necessário ter em conta, de forma simplificada, a interacção entre a estrutura de contenção em CSM e as bandas de laje que constituiriam o travamento. Para tal, foram introduzidos apoios elásticos no modelo de análise bidimensional da contenção periférica, com a rigidez adequada para simular o efeito de quadro fechado materializado pelas bandas de laje. As forças obtidas ao nível dos referidos apoios elásticos foram posteriormente utilizadas no modelo de cálculo das bandas de laje, o que permitiu obter os esforços de dimensionamento das bandas de laje e a definição da armadura adicional necessária para o seu correcto funcionamento em fase provisória.

Os painéis de CSM foram dimensionados para uma tensão de compressão em serviço não superior a 2 MPa, com um factor de segurança de 2, o que implicou definir o valor mínimo de 4 MPa para a tensão de rotura dos provetes de solo-cimento submetidos a ensaios de resistência à compressão uniaxial (UCS Tests - Unconfined compressive strength tests). O valor mínimo do módulo de deformabilidade exigido nos ensaios laboratoriais foi de 1.0 GPa.

5 - EXECUÇÃO DOS TRABALHOS

A realização de um painel de CSM envolve duas etapas fundamentais: a fase de corte e a fase de extracção e mistura. Na primeira fase, a ferramenta de corte é conduzida verticalmente até à profundidade pretendida, desagregando o terreno por acção das rodas dentadas. Durante esta fase, vai sendo adicionado o ligante hidráulico (em geral, calda de cimento), à medida que a ferramenta de corte avança em profundidade. Na fase de extracção e mistura, o sentido de rotação das rodas de corte é invertido e procede-se à adição da restante quantidade de calda de cimento preconizada, sendo simultaneamente homogeneizada a mistura à medida que a ferramenta de corte é conduzida novamente até à superfície.

A execução dos trabalhos na obra apresentada iniciou-se com a implantação dos painéis de CSM, procedendo-se simultaneamente à execução de um painel CSM de teste, de forma a permitir a calibração dos parâmetros de execução. Efectuou-se a recolha de provetes de solo-cimento do painel de teste para posteriormente submeter a ensaios de resistência à compressão uniaxial com medição do módulo de deformabilidade. A partir dos resultados obtidos nesses primeiros ensaios, foi possível calibrar o equipamento e ajustar todos os parâmetros para que nos painéis da estrutura de contenção se garantissem os parâmetros de resistência e de deformabilidade do solo-cimento exigidos em projecto. O painel de controlo existente no equipamento de execução permite ao manobrador o controlo em tempo real de parâmetros como a profundidade da ferramenta de corte e os respectivos desvios relativamente à posição inicial, o caudal e a pressão da calda de cimento adicionada, a pressão exterior do tratamento, a velocidade de furação, entre outros (Bringiotti et al., 2009).

Após a fase inicial de calibração do equipamento, procedeu-se à realização dos painéis de CSM da estrutura de contenção. Imediatamente após a execução de cada painel e antes do endurecimento do solo-cimento procedeu-se à introdução dos perfis IPE 450 previstos. Foram também instalados nesta fase os inclinómetros preconizados para controlo dos movimentos horizontais no tardo da estrutura de contenção. A fase seguinte consistiu na realização das microestacas de fundação para apoio provisório das bandas de laje (Figura 9).



Figura 9 – Microestacas de fundação executadas para apoio provisório das bandas de laje

Para garantir a solidarização dos painéis de CSM e dos respectivos perfis metálicos verticais foi executada uma viga de coroamento antes do início dos trabalhos de escavação.

Após a execução da viga de coroamento, procedeu-se à escavação até 0.5 m abaixo da cota prevista para o 1º nível de travamento (laje do piso "0"). Após a execução do 1º nível de escavação foram soldados aos perfis verticais IPE da estrutura de contenção os perfis metálicos HEA horizontais que viriam a garantir posteriormente a ligação entre a estrutura de contenção e as bandas de laje (Figura 10).

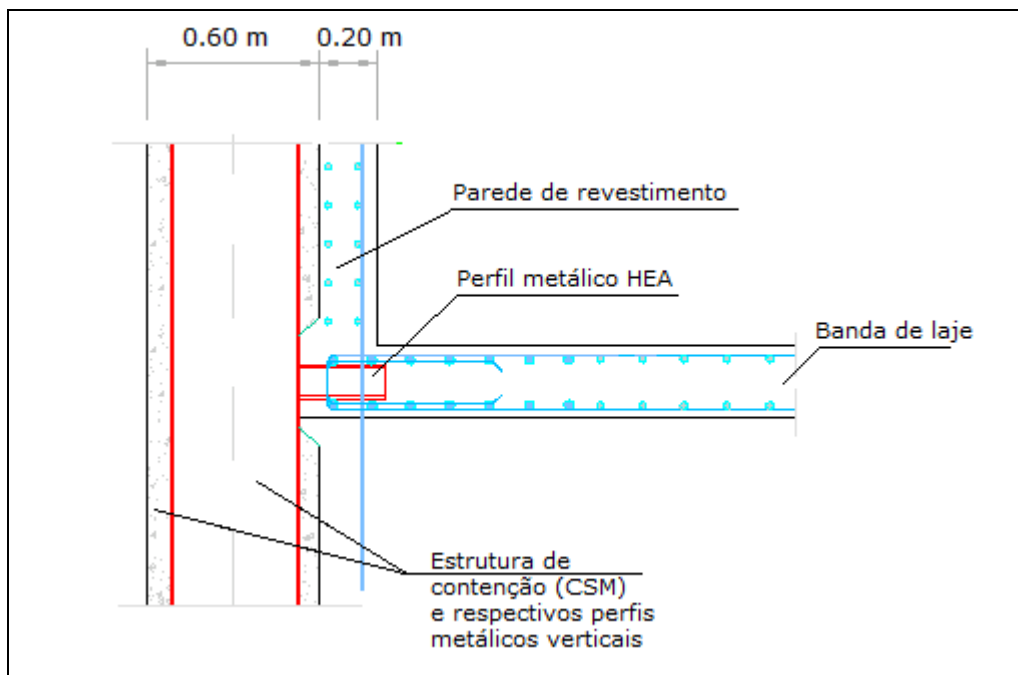


Figura 10 – Representação em corte do pormenor de ligação das bandas de laje à estrutura de contenção

Procedeu-se em seguida à execução do 1º nível de bandas de laje, de forma a obter um quadro rígido de travamento da estrutura de contenção, instalando-se em seguida os alvos topográficos previstos.

A fase seguinte consistiu na escavação até 0,5 m abaixo da cota prevista para o 2º nível de travamento (laje do piso "-2"). As figuras 11, 12 e 13 mostram imagens da obra durante esta fase.



Figura 11 – Fotografia da obra durante a fase de escavação após a execução do 1º nível de travamento



Figura 12 – Fotografia da obra durante a escavação abaixo do 1º nível de travamento



Figura 13 – Fotografia da obra após a escavação para a execução do 2º nível de travamento

Após a realização das bandas de laje do 2º nível de travamento, executou-se a escavação não condicionada até à profundidade máxima (Figura 14). É de salientar que os painéis de CSM foram executados até uma profundidade que permitiu minimizar a afluência de água ao recinto de escavação, o que facilitou todo o processo de escavação.



Figura 14 – Fotografia da obra após a escavação até à profundidade máxima

Uma vez atingida a profundidade máxima de escavação foi executada a laje de fundo e a estrutura definitiva interior do parque de estacionamento, tendo sido desactivadas as microestacas de apoio provisório. Na Figura 15 pode observar-se o aspecto geral na fase final da obra.



Figura 15 – Aspecto geral na fase final da obra

6 - CONTROLO DE QUALIDADE E OBSERVAÇÃO DA OBRA

O controlo de qualidade na obra em estudo foi realizado a vários níveis. Numa primeira fase, durante a execução dos painéis de CSM, através do controlo dos parâmetros de execução efectuado em tempo real pelo manobrador do equipamento e numa segunda fase, através de ensaios laboratoriais de provetes recolhidos dos painéis da estrutura de contenção bem como através de ensaios de arranque das microestacas de fundação provisórias. Paralelamente efectuou-se a observação da obra ao longo da execução da escavação, tendo-se realizado leituras dos aparelhos de monitorização instalados de acordo com o Plano de Observação e Instrumentação previsto.

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão uniaxial realizados sobre provetes recolhidos dos painéis de CSM da estrutura de contenção encontram-se resumidos no Quadro 3. Na execução dos painéis de CSM foi utilizado cimento do tipo CEM II A-S 52,5N CE PM-CP2 NF.

Quadro 3- Resumo dos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão uniaxial realizados sobre provetes dos painéis de CSM da estrutura de contenção

| Série de ensaios | Nº de provetes ensaiados | Resistência à compressão uniaxial (MPa) | | | |
|------------------|--------------------------|---|--------|---------|---------|
| | | 3 dias | 7 dias | 14 dias | 28 dias |
| Série I | 6 | 4.4 | 6.5 | 8.4 | - |
| Série II | 6 | - | 2.5 | 4.5 | 8.0 |
| Série III | 4 | - | 2.5 | 4.5 | - |
| Série IV | 4 | - | 2.5 | 6.0 | - |

A resistência à compressão uniaxial dos provetes ensaiados a partir dos 14 dias foi, em todas as séries de ensaios, superior à resistência exigida em projecto (4 MPa) o que permitiu validar os pressupostos considerados.

Para proceder à verificação dos pressupostos de projecto no que respeita às microestacas de apoio provisório das bandas de laje, foram realizados, conforme referido, ensaios de arranque em microestacas executadas para o efeito. Os resultados dos ensaios de arranque indicaram um comportamento satisfatório destes elementos, tendo-se prosseguido posteriormente com maior segurança para a execução da obra.

A Figura 16 mostra a localização dos aparelhos de monitorização implementados em obra no âmbito do Plano de Instrumentação e Observação preconizado. Foram instalados 3 inclinómetros no tardo da estrutura de contenção e 19 alvos topográficos na estrutura de contenção e no primeiro nível de bandas de laje. Na generalidade, os resultados obtidos por via da instrumentação corresponderam aos valores previstos através das modelações numéricas efectuadas. Como seria de esperar, na direcção paralela à estrutura de contenção não se verificou praticamente a ocorrência de deslocamentos horizontais e, na direcção perpendicular à estrutura de contenção, ocorreram deslocamentos horizontais com algum significado, ainda que inferiores aos valores definidos como critérios de alerta e próximos dos valores esperados.

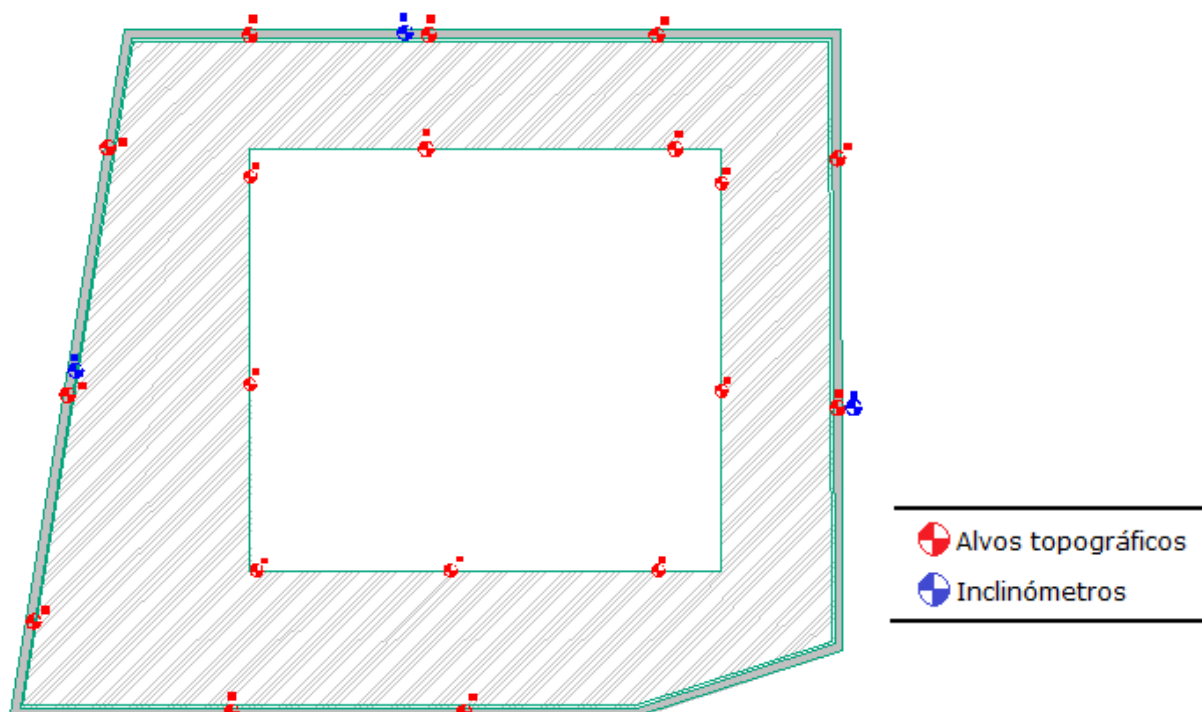


Figura 16 – Distribuição dos alvos topográficos e dos inclinómetros instalados no âmbito do Plano de Instrumentação e Observação da obra

É de salientar a importância do controlo e da monitorização da obra como ferramenta imprescindível ao nível da gestão do risco da obra e do seu meio envolvente, permitindo antecipar problemas e a tomada de medidas de prevenção atempadamente, em especial quando se trata de intervenções em meio urbano.

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução adoptada permitiu responder, de uma forma geral, aos objectivos pretendidos contornando os condicionalismos existentes, tendo-se efectuado em condições de segurança a escavação de face vertical com uma altura média de 14 m, garantido em simultâneo a limitação da afluência de água ao interior da escavação.

O recurso a travamentos horizontais por meio de bandas de laje constitui uma das vantagens mais significativas da solução apresentada, uma vez que permite integrar em fase provisória elementos da estrutura definitiva, tirando o máximo partido dos mesmos e evitando gastos adicionais em elementos de travamento horizontal provisório como ancoragens ou escoras metálicas. Em relação a uma solução alternativa com ancoragens pré-esforçadas, a solução de travamento por meio de bandas de laje apresenta as vantagens de não ocupação dos terrenos vizinhos e o facto de permitir ultrapassar a dificuldade de realização de ancoragens abaixo do nível freático, por vezes associada a fenómenos de erosão interna. O caso de estudo apresentado constitui um exemplo de uma solução de contenção para uma escavação em meio urbano bastante interessante do ponto de vista técnico e económico.

REFERÊNCIAS

- Arnold, M., Beckhaus, K. and Wiedenmann, U. (2011). Cut-off wall construction using Cutter Soil Mixing: a case study. *Geotechnik*, volume 34: pages 11-21.
- Bringiotti, M., Dossi, M. and Nicastro, D. (2009). Miscelazione profonda dei terreni: metodi classici e tecnologie innovative – CSM by BAUER. *Geofluid 2009*.
- Fiorotto, R., Schöpf, M. and Stötzer, E. (2005). Cutter Soil Mixing (CSM) An innovation in Soil mixing for creating Cut-off and Retaining walls. *In:16 ICSMGE: International Conference on soil mechanics and geotechnical engineering*, Osaka-Japan.
- Matos Fernandes, M., Peixoto, A., Pinto, A., Pita, X., Topa Gomes, A. e Gomes Pedro, A. (2010). Cutter Soil Mixing aplicada a escavações urbanas. *COBRAMSEG 2010: Engenharia Geotécnica para o desenvolvimento, inovação e sustentabilidade. COBRAMSEG 2010 - Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, 2010, Gramado, Brasil.