

SOLUÇÃO DE CONTENÇÃO COM TRATAMENTO DE SOLOS NO PROJECTO DE QUADRUPLIÇÃO/INSERÇÃO DA LINHA DE ALTA VELOCIDADE EM LISBOA

GROUND IMPROVEMENT SOLUTION FOR RETAINING WALLS FOR THE EXPANSION OF THE HIGH SPEED RAILWAY LINE PLATFORM IN LISBON

Godinho, Pedro; *JetSJ Geotecnia, Lda., Lisboa, Portugal, pgodinho@jetsj.pt*

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

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

Borges, Rui; *Geo-Rumo, Tecnologia de Fundações, S.A., Braga, Portugal, rui.borges@georumo.pt*

RESUMO

No presente artigo são descritos os principais critérios de concepção e de execução adoptados nas soluções de escavação e contenção de terras realizadas no âmbito do Projecto de Quadruplicação e Inserção da Linha de Alta de Velocidade, no troço de Areeiro-Sacavém da Linha do Norte / Linha de Cintura, em Lisboa. Referem-se as principais condicionantes do projecto, nomeadamente a existência de edifícios no tardo das escavações, assim como um viaduto rodoviário e, sobretudo, a altura máxima de escavação de cerca de 13,00m. Descrevem-se ainda a solução adoptada de Cutter Soil Mix (CSM), recente no panorama geotécnico português, e a sua compatibilização com as condicionantes geológico-geotécnicas e de vizinhança. Por último, são apresentados e analisados os principais resultados da instrumentação e observação da obra, e referindo as principais vantagens das soluções com recurso a tecnologia de CSM, comparativamente com as soluções tradicionais.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the main design and execution criteria related with the solutions adopted for the earth retaining structures associated with the excavation performed for the quadruplicating of the high speed railway line insertion, in Lisbon. The main constrains of the excavation project, mainly the location inside an urban and industrial areas as well as excavation depth are pointed out. It's also presented the adopted solution using the CSM technology, which is a fairly recent construction method in Portugal. Finally, the main results of monitoring and survey plan are presented and the technical, economic and environmental advantages of the CSM technique, comparing with some more conventional ground improvement solutions, are pointed out.

1 - INTRODUÇÃO

A tecnologia de Cutter Soil Mixing consiste na mistura de solo com um ligante (cimento, grilha, cal, etc.), com recurso a um conjunto de rodas de corte (Cutters) – análogas às utilizadas em, por exemplo, paredes moldadas realizadas através da tecnologia de hidrofresa, permitindo a produção de painéis rectangulares com a resistência e características químicas ajustadas à composição do solo atravessado. No processo de execução dos painéis, as rodas de corte desagregam a matriz do solo e promovem a mistura com a calda de ligante de modo a promover uma mistura solo-ligante homogénea. Na génese do sistema está, como referido, um par de rodas de corte (Cutters) com a capacidade de rodarem em ambas as direcções. A tecnologia pode ser aplicada em vários enquadramentos geotécnicos desde solos rijos a rochas brandas ou até mesmo através de camadas estratificadas, tornando a utilização deste método bastante universal do ponto de vista geológico e geotécnico. O elevado grau de desenvolvimento do equipamento e método executivo possibilita a criação, de forma económica e com elevada qualidade, de painéis verticais de mistura solo-ligante.

Durante o processo de corte, o solo natural é misturado com a calda ligante, sendo esta introduzida através de injectores, localizados entre as duas rodas de corte. Como já referido, os painéis rectangulares de CSM podem ser produzidos em qualquer tipo de solos e em rochas brandas, com um espessura até 1,50m e profundidades de até cerca 60,00m.

Para o controlo da execução, a informação principal, como por exemplo: velocidade e direcção das rodas de corte, verticalidade dos painéis, pressões de corte, volumes de injeção de calda, entre outros, é continuamente apresentada, em tempo real, ao operador do equipamento, permitindo o respectivo ajuste, igualmente, em tempo real (Figura 1).

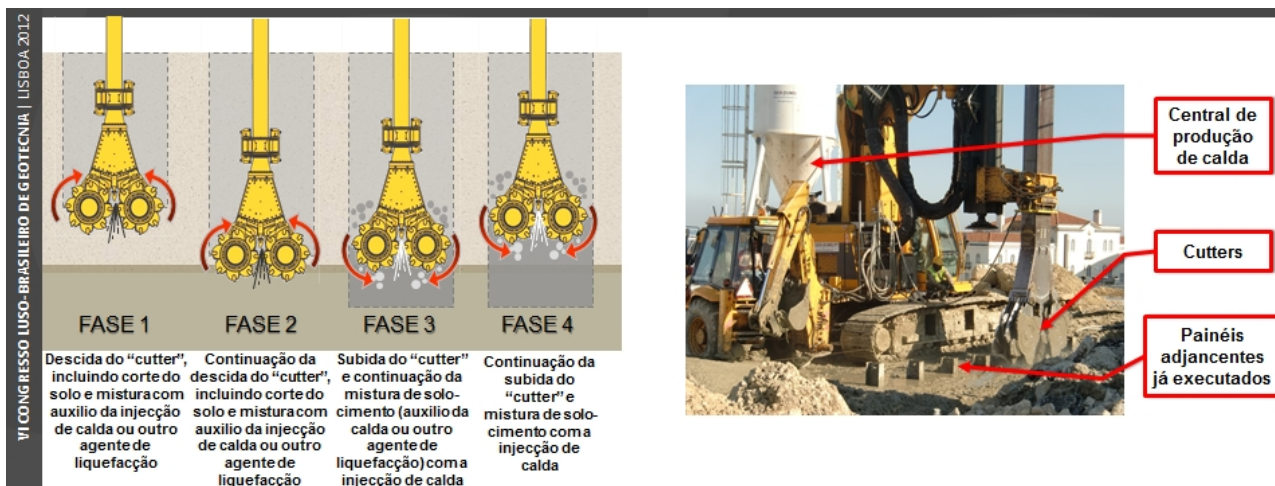


Figura 1 – Faseamento de execução de painéis com recurso à tecnologia de CSM e vista do Cutter.

No âmbito do Projecto de Quadruplicação e Inserção da Linha de Alta de Velocidade, no troço de Areeiro-Sacavém da Linha do Norte / Linha de Cintura, em Lisboa, foi necessário executar escavações de modo a permitir a expansão, para Poente, da plataforma ferroviária existente, assim como a criação de um parque de manobras e manutenção do equipamento circulante. Como tal, e localizando-se a obra em terrenos com utilização industrial, com uma faixa possível de implantação delimitada pela Linha do Norte, a Nascente, e por edificado, a Poente, para vencer o desnível presente entre as duas confrontações, de forma compatibilizada com os condicionamentos existentes, foram executadas quatro (4) estruturas de suporte, com recurso a painéis de solo-cimento, realizados através da tecnologia de CSM, revestidos com uma parede de betão armado.

O conjunto de estruturas de suporte apresenta um desenvolvimento longitudinal total de 700,00m com a altura das mesmas a tomar valores médios de 10,00m, com o muro M2 a atingir os 13,00m. Como referido, a área de intervenção, situada na zona oriental da cidade de Lisboa, encontra-se enquadrada pela Linha do Norte, a Nascente, e pelo tardo dos edifícios cuja fachada principal confronta para a Av. Infante Dom Henrique (Figura 2).

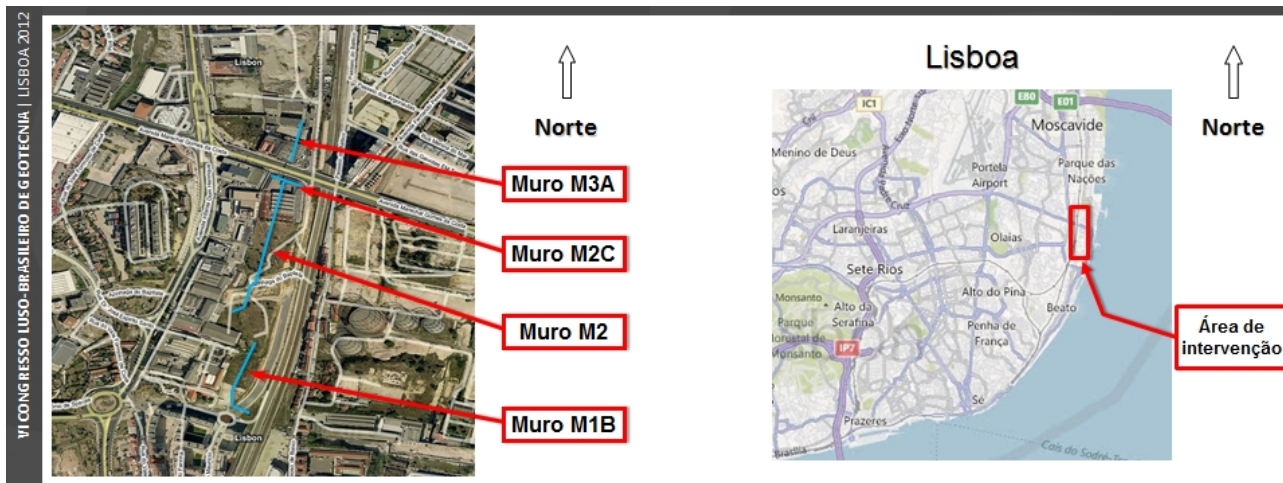


Figura 2 – Fotografia aérea do local de intervenção, antes do início dos trabalhos, e localização da área de intervenção.

A área de intervenção encontrava-se ainda parcialmente ocupada por pavilhões industriais devolutos, cuja totalidade foi previamente demolida. No Muro M2C, devido à presença da Avenida Marechal Gomes Costa, e o viaduto da mesma sobre a Linha do Norte, a execução das estruturas de suporte foi compatibilizada com as ações de demolição e de prolongamento do referido viaduto.

No decorrer das ações de escavação foram identificadas algumas estruturas de betão armado enterradas.

2 - PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1 - Geologia, Geotecnia e Hidrologia

As soluções desenvolvidas foram apoiadas numa caracterização geológica e geotécnica, realizada a partir dos resultados de uma campanha de prospecção geológico-geotécnica, envolvendo a execução de trinta e nove (39) sondagens mecânicas de furação vertical com a execução de ensaios SPT, a cada 1.50 metros. Foram ainda recolhidas amostras remexidas, para posterior tratamento laboratorial (identificação e caracterização dos solos colhidos). Com base na prospecção geológico-geotécnica efectuada, bem como nas informações recolhidas na Carta Geológica de Lisboa, foi possível a caracterização prévia do maciço a escavar. O mesmo era constituído pela unidade litoestratigráfica das Areolas de Braço de Prata. Esta unidade litoestratigráfica encontra-se irregularmente coberta por depósitos coluvionares e aluvionares, datados do Holocénico, e por aterros contemporâneos.

A campanha de prospecção levada a cabo permitiu identificar as seguintes formações, em profundidade:

- Camada de aterro, mais superficial, definida em todas as sondagens e apresenta uma espessura reduzida de 0,50 m.
- Camadas de areolas, constituídas por areias muito finas e siltes greso-carbonatadas, levemente argilo-margosa, com passagens de “cascão” fossilífero, variando em profundidade de medianamente compactas a compactas.
- Pontualmente, camadas de siltes-argilosos, margoso de consistência de muito dura a rijo e de cor cinzento-escuro azulado.

No Quadro 1 apresenta-se um resumo do zonamento geológico-geotécnico efectuado, incluindo os valores dos principais parâmetros geomecânicos considerados:

Quadro 1 - Parâmetros geomecânicos das diferentes zonas geotécnicas consideradas.

Zona Geotécnica	Formação	SPT n	γ (kN/m ³)	E (kPa)	ϕ (°)	c' (kPa)
ZG1	Aterros	-	19	10000	22	0
ZG2	Areolas Medianamente Compactas	20	20	20000	33	0
ZG3	Areolas Compactas	60	21	35000	35	0
Painéis de CSM			22	1000000	600	35

γ Peso específico;

E Módulo de deformabilidade;

c' Coesão drenada;

ϕ' Ângulo de resistência ao corte efectivo.

No que diz respeito a à hidrogeologia do local, a análise das leituras realizadas durante a campanha de prospecção efectuada, revelou a presença de nível freático, em algumas sondagens à profundidade de cerca 10,00m, o que se traduziria, em algumas secções dos muros a executar, a cerca de 5,00m acima da cota final de escavação.

2.2 - Principais Condições de Vizinhança

A área da intervenção insere-se numa zona industrializada, delimitada por arruamentos e por diversas construções vizinhas algumas a preservar e outras a demolir. Destas condicionantes destacam-se os edifícios existentes no topo da escavação, cuja fachada principal confronta a Av. Infante Dom Henrique (a Poente), e o Viaduto da Av. Marechal Gomes da Costa sobre a Linha do Norte, a Sul (Figura 3).



Figura 3 – Principais confrontações dos muros a executar.

No enquadramento descrito, as soluções propostas tentaram minimizar o impacto no normal funcionamento destas estruturas e de todas as infraestruturas, tendo sido compatibilizadas com o levantamento das mesmas, disponível durante a fase de projecto.

3 - SOLUÇÕES PROPOSTAS

Tendo por base os condicionamentos existentes as soluções propostas consistiram, no essencial, na execução de uma parede de contenção constituída por painéis de solo-cimento, realizados a partir da superfície, antes de qualquer trabalho de escavação, com recurso à tecnologia de Cutter Soil Mixing (CSM), posteriormente revestidos com uma parede de betão armado. Na execução da parede em painéis de solo-cimento foram adoptados painéis com $2,40 \times 0,50\text{m}^2$, com uma sobreposição mínima de $0,20\text{m}$ e uma ficha mínima de $4,00\text{m}$, abaixo da cota de fundo da escavação, de forma a garantir a mobilização do impulso passivo, necessário ao equilíbrio e correcto funcionamento da estrutura de suporte (Figura 4).

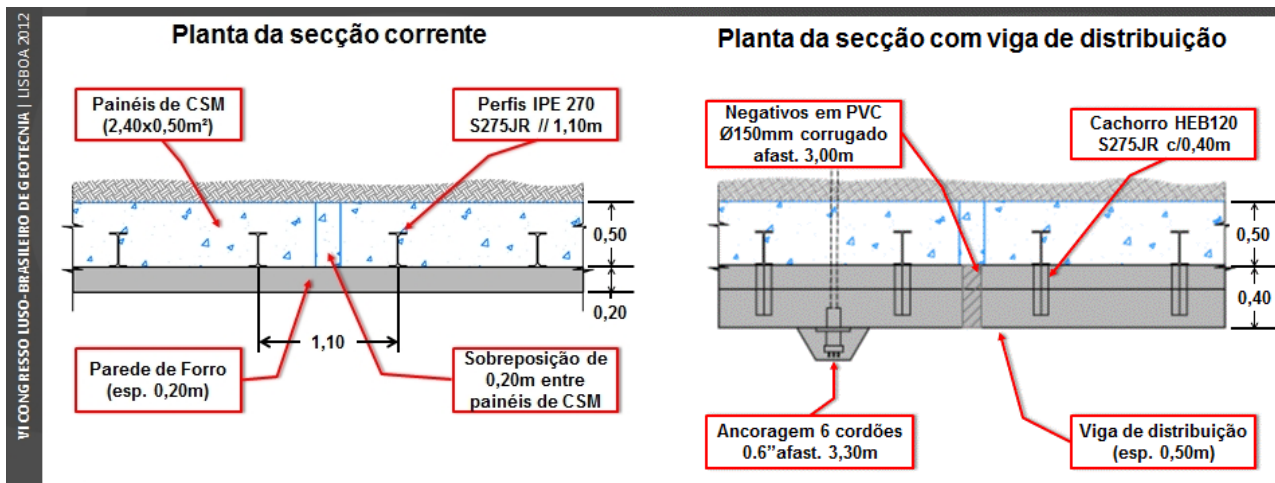


Figura 4 – Planta das duas secções tipo da solução.

Os painéis CSM foram armados verticalmente com perfis em aço laminado, cujas secções transversais, ajustadas aos esforços a que se encontrariam submetidos, foram do tipo IPE270 (S275JR). Os perfis metálicos ficaram afastados de cerca de $1,10\text{m}$ entre si, tendo sido localizados junto à face intradorso dos painéis de CSM, com o eixo da alma orientado na perpendicular à escavação, de forma a facilitar a sua posterior ligação à viga de distribuição.

A parede de contenção, formada pelos painéis, pelos perfis verticais e pela parede de revestimento em betão armado, foi encabeçada por uma viga de coroamento, igualmente, em betão armado, com secção de $0,80 \times 0,70\text{m}^2$, e ancorada definitivamente, em 4, 3 ou 2 níveis de ancoragens, em função da altura total de escavação vencer. As ancoragens foram executadas durante a escavação, de cima para baixo, em paralelo com a realização da parede de revestimento (Figura 5). A solução proposta e implantada permitiu que a escavação, em cada nível, fosse realizada numa única frente, possibilitando a optimização substancial do prazo de execução dos muros.



Figura 5 – Fase intermédia da execução das estruturas de suporte.

As referidas ancoragens, ficaram afastadas entre si de 3,30m e inseridas ao longo de vigas de coroamento e de distribuição, estas últimas com secção de 0,65x0,50 m², sendo a restante superfície, existente entre vigas, revestida com uma parede de betão armado, com uma espessura de 0,20m. As ancoragens são compostas por 6 cordões, de aço de pré-esforço do tipo Y1860S7 (EN 10027), com 7 fios com 0,6". Para a transmissão de carga das ancoragens ao terreno de fundação foram executados bolbos de selagem com 10,00m de comprimento localizados na zona geotécnica ZG3, através da tecnologia de injetor repetida selectiva IRS, recorrendo a obturador duplo e válvulas anti-retorno (Figura 6). Com vista a facilitar a eventual realização de ancoragens de reforço foram deixados negativos tanto nas vigas de coroamento como nas de distribuição.

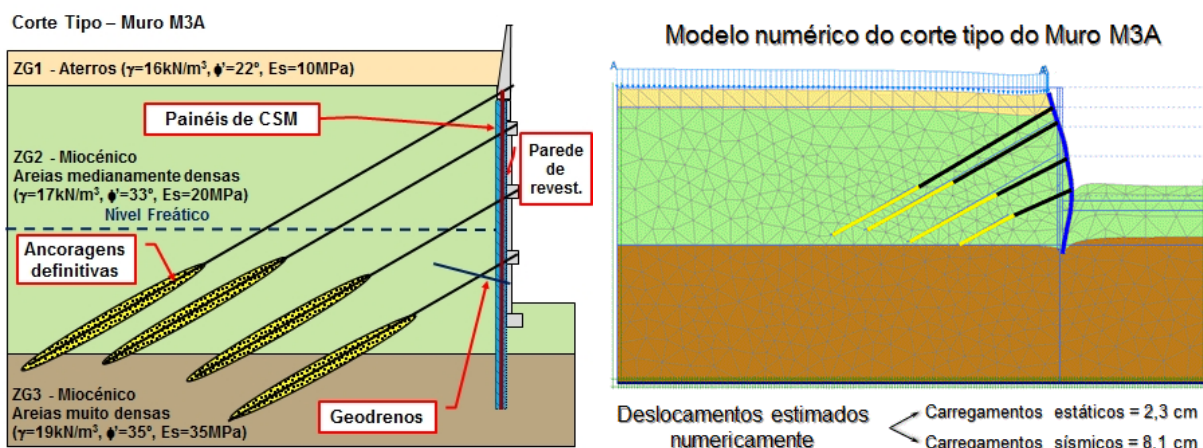


Figura 6 – Corte tipo do Muro M3A e deslocamentos estimados numericamente.

Face à previsível existência de nível freático acima da cota da base de escavação, instalaram-se geodrenos Ø50mm, materializados por tubos PVC crepinado envoltos em geotêxtil de separação, não tecido, com no mínimo 200g/m².

4 - DIMENSIONAMENTO

Com o objectivo de avaliar as deformações e os esforços mobilizados para os diversos elementos da estrutura de contenção proposta, recorreu-se à modelação da geometria prevista, num programa de elementos finitos, especialmente concebido para este tipo de aplicações e que respeitou o critério de rotura de Hardening-Soil.

A análise realizada consistiu no estudo das secções mais representativas de cada muro de suporte, no total de 7 secções tipo, com o intuito de avaliar as deformações, estados de tensão e a estabilidade do maciço a conter, bem como a estimar os factores de segurança associados a cada fase do processo construtivo, de modo a melhor avaliar e compreender a evolução dos esforços e das deformações a que a estrutura, como um todo, e os painéis de CSM, em particular, se encontrariam submetidos (Figura 7).

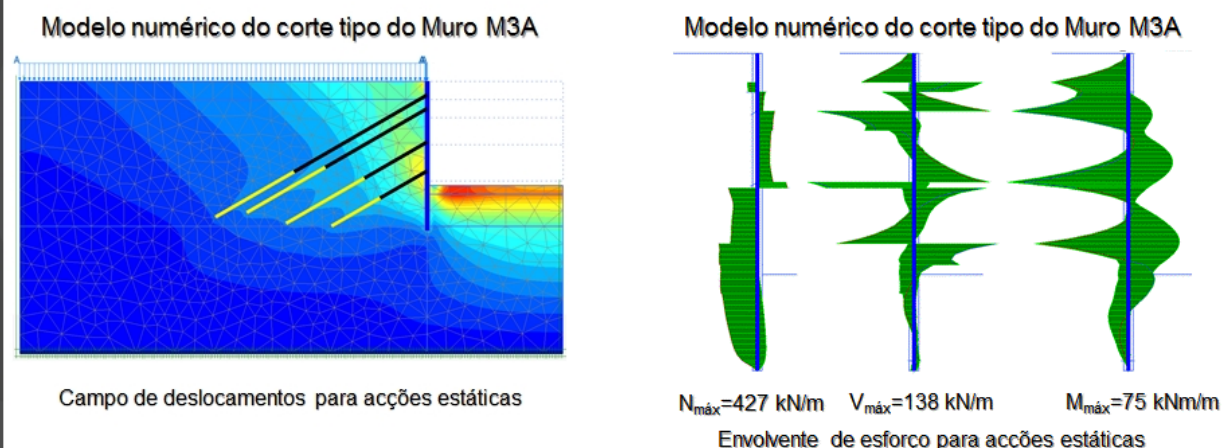


Figura 7 – Campo de deslocamentos e envolvente de esforços determinados numericamente para o M3A.

Nas verificações de segurança foi adoptada a regulamentação nacional e internacional em vigor ou, em situações não previstas regulamentarmente, metodologias de cálculo reconhecidamente comprovadas (Bustamante e Doix, 1985). Os terrenos interessados foram modelados a partir dos parâmetros geomecânicos apresentados no Quadro 1.

Tratando-se de uma secção heterogénea formada pelos painéis de CSM, armados com perfis metálicos IPE270, e pela parede de revestimento em betão armado, betonado contra os painéis de CSM foi considerando no dimensionamento das soluções, de uma forma conservativa, que o momento flector resistente da secção final é apenas a soma dos momentos resistentes das duas secções.

5 - ENSAIOS PRÉVIOS

5.1 - Ancoragens

De uma forma análoga, de modo a otimizar os comprimentos de selagem das ancoragens definitivas, devido à sua extensão e diâmetro de selagem a executar, foram realizados quatro (4) ensaios prévios de ancoragens. Os ensaios foram divididos entre o Muro M2, com dois (2) ensaios, e o Muro M3A, com outros dois (2) ensaios (Figura 8).

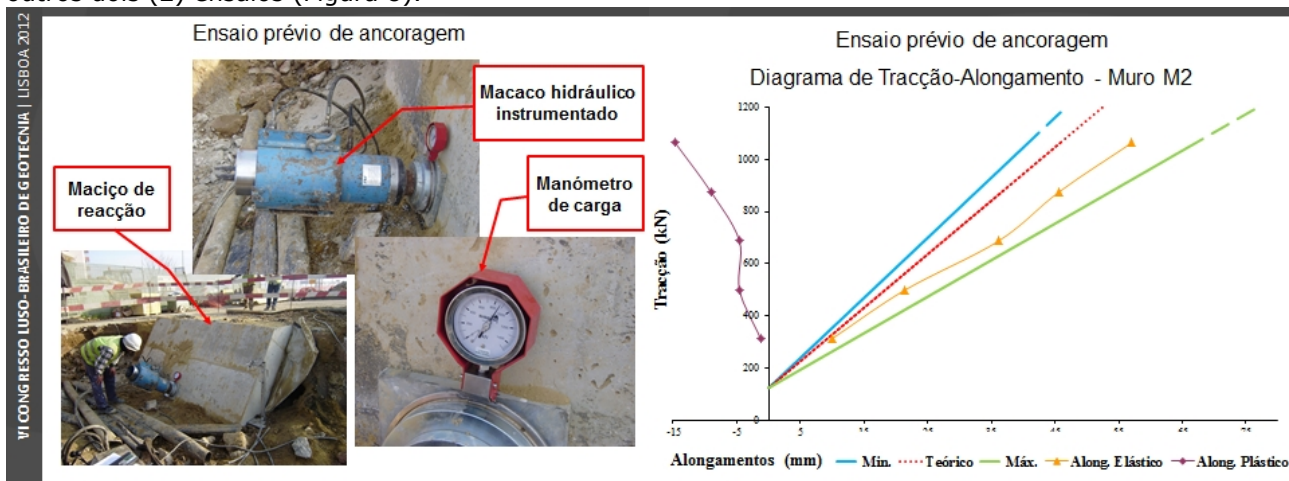


Figura 8 – Vista do ensaio prévio de ancoragem e diagrama de tracção/alongamento medido durante o mesmo.

Através da realização destes ensaios prévios provou-se ser possível, no presente enquadramento geotécnico, a mobilização de uma tensão tangencial calda-solo (Zona Geotécnica ZG3) com um valor de, pelo menos, 275 kPa, sendo que, para efeitos de dimensionamento e de cálculo da capacidade resistente dos bolbos de selagem, se havia inicialmente considerado uma tensão tangencial com um valor de 200 kPa.

5.2 - Painéis de CSM

Como tem vindo a ser espelhado no presente artigo, o recurso à tecnologia de CSM é ainda relativamente recente no panorama geotécnico português. Este facto dificulta o recurso a metodologias previamente testadas para o estabelecimento prévio de parâmetros de rácios de ligante por metro cúbico de solo para a obtenção dos valores de resistência e de deformabilidade requeridos em projecto. Como tal, no âmbito de toda a empreitada dos quatro (4) muros, foram executados dois (2) painéis teste, com um comprimento de 6,00m com o objectivo de ajustar os principais parâmetros de execução.

Os parâmetros finais para garantir o valor de 4,00 MPa de resistência à compressão simples não confinada e o valor de módulo de deformabilidade de 1,0 GPa, ambos aos 28 dias, conforme definido no projecto, foram os seguintes (Quadro 2):

Quadro 2 - Parâmetros estabelecidos, com base nos painéis de ensaio, para a execução dos painéis de CSM.

Relação A/C da calda mãe	Quantidade de cimento da calda mãe (kg/m³)	Programação da quantidade de calda mãe a introduzir (l/m)	Quantidade de cimento introduzida na execução do painel (kg/m³)
0,9	750	1065	600

6 - FASEAMENTO CONSTRUTIVO

Apresenta-se em seguida, de forma sucinta, um resumo do faseamento dos trabalhos executados recorrendo a fotografias tiradas no local, durante a obra, para o Muro M3A.

6.1 - Fase 1

- Preparação de plataforma de trabalho e execução dos painéis CSM, com geometria e comprimento total que garantisse o encastramento mínimo definido em Projecto, tendo em consideração os parâmetros calibrados através dos painéis de teste.
- Colocação dos perfis verticais IPE270 (NP EN 10025), no interior dos painéis, imediatamente após a conclusão destes e antes do início de presa do cimento. Estes perfis foram colocados junto à face visível dos painéis de forma a facilitar a sua posterior ligação, através de cachorros metálicos, às vigas de distribuição em betão armado (Figura 9).

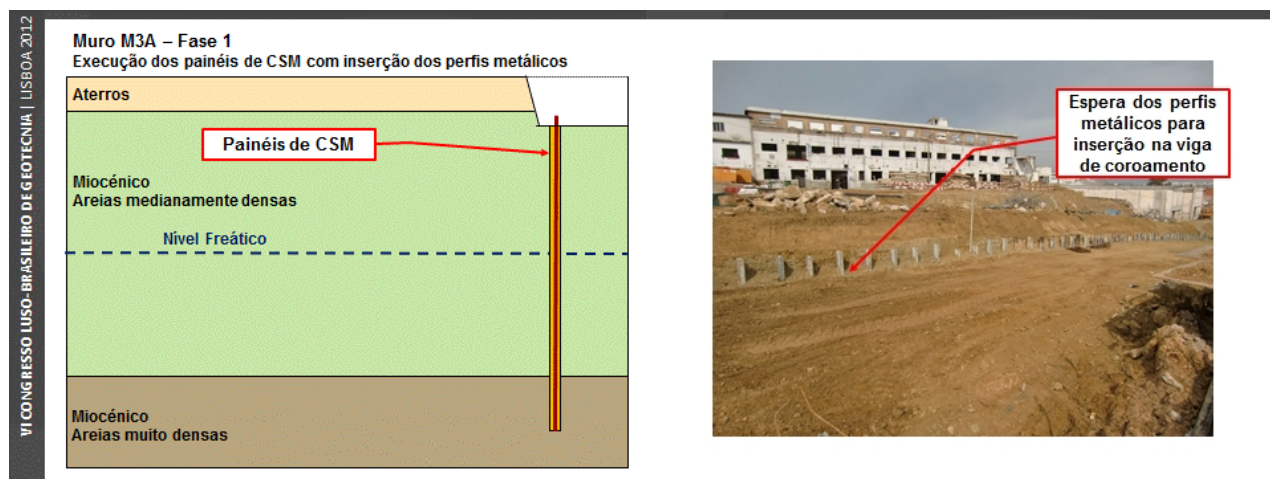


Figura 9 – Fase 1 do faseamento construtivo do Muro M3A

6.2 - Fase 2

- Execução da viga de coroamento, em betão armado, com os negativos para as ancoragens, de forma a solidarizar todos os painéis e todos os perfis verticais IPE, embebidos nos mesmos painéis.
- Execução do 1º nível de ancoragens definitivas, localizado na viga de coroamento. (Figura 10).

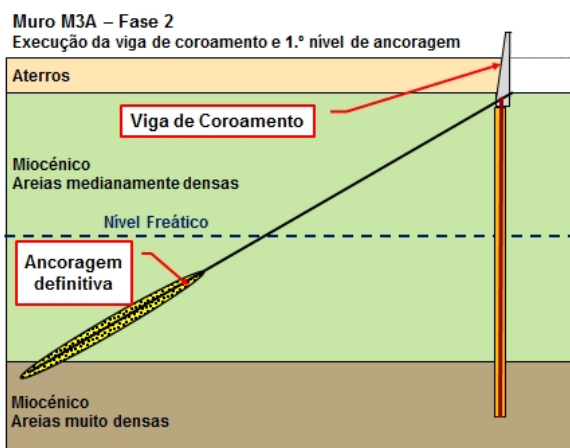


Figura 10 – Fase 2 do faseamento construtivo do Muro M3A.

6.3 - Fase 3, 4 e 5

- e) Escavação em todo o alçado do muro até, no máximo, 0,50m abaixo do 2º nível de ancoragens, compatibilizada com a execução da parede de revestimento em betão armado. Execução da viga de distribuição e do 2º nível de ancoragens, seguindo as metodologias descritas nos pontos anteriores, incluindo instalação de Alvos Topográficos (Figura 11).

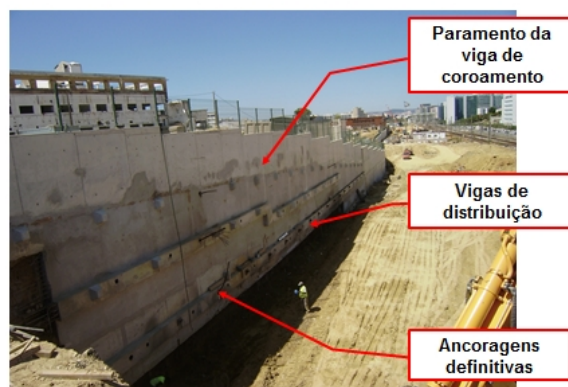
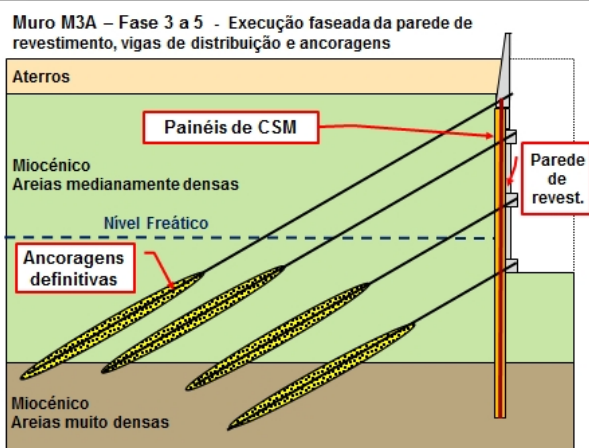


Figura 11 – Fase 3 a 5 do faseamento construtivo do Muro M3A

6.4 - Fase 6

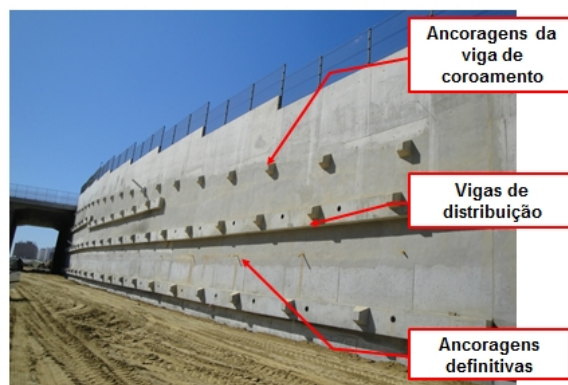
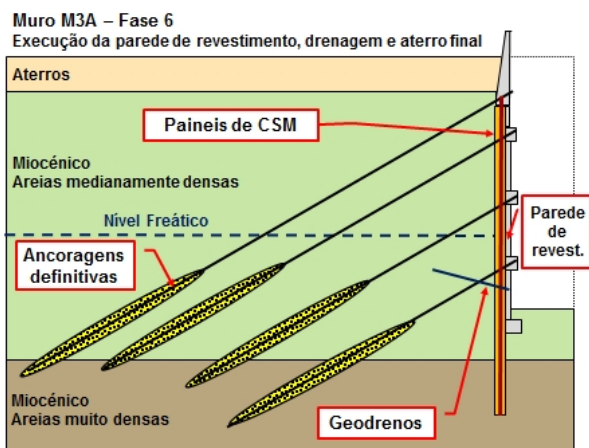


Figura 12 – Fase 6 do faseamento construtivo do Muro M3A

- f) Continuação da escavação, com a repetição das etapas anteriores, até atingir a cota do fundo da escavação, com a instalação dos geodrenos $\phi 50\text{mm}$, com 6,00m de comprimento mínimo e execução da sapata de fundação (Figura 12).

7 - INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Sendo a instrumentação uma comprovada ferramenta de verificação e validação da solução adoptada, não só na fase construtiva, mas igualmente durante a fase de serviço, foi implementado um Plano de Instrumentação e Observação (PIO), com o objectivo de medir o comportamento da estrutura. No enquadramento descrito, foram instalados os seguintes dispositivos:

- 65 Alvos topográficos (A), distribuídos pelos vários alçados da contenção periférica;
- 22 Células de carga (C), para aferição da carga instalada nas ancoragens;
- 11 Inclínómetros (I), a tardo da contenção periférica.

Estes aparelhos permitiram a definição de um total de 23 perfis verticais de observação, procedendo-se à leitura dos mesmos com uma periodicidade semanal, em fase de obra, e uma vez por trimestre durante os primeiros 3 anos após a conclusão dos trabalhos.

A partir dos resultados dos cálculos realizados para o dimensionamento das soluções foram definidos critérios de alerta e de alarme, assim como medidas de reforço, caso os referidos critérios viessem eventualmente a ser atingidos.

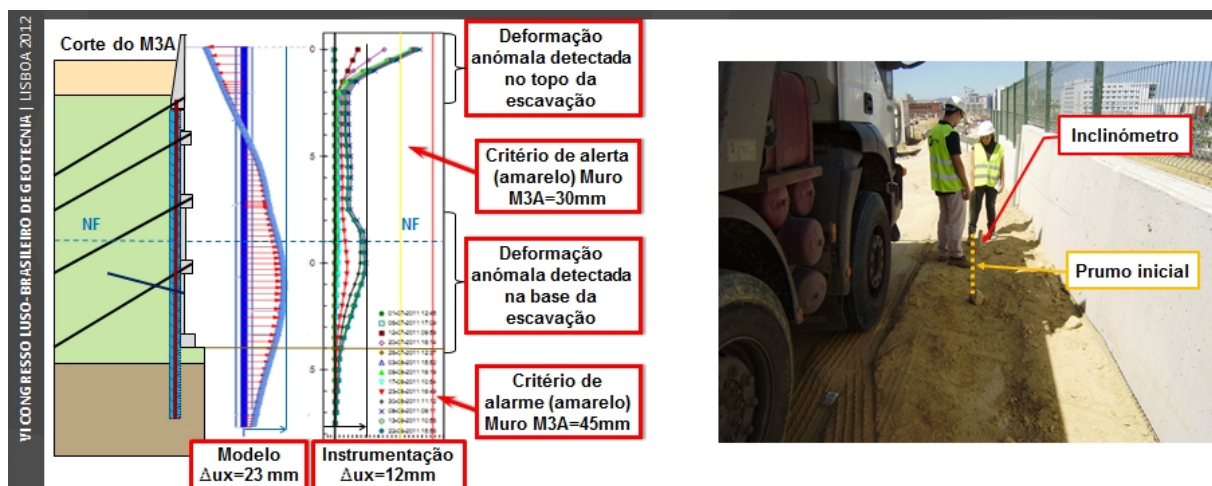


Figura 13 – Análise comparativa das deformações estimadas e medidas para o Muro M3A

Verificou-se que, no decorrer da obra, os deslocamentos apresentados pelas estruturas de suporte eram, em geral, inferiores aos estimados numericamente. Igualmente, através dos dados da instrumentação foi possível detectar duas situações anómalas no Muro M3A. Nos primeiros metros do inclínómetro, extensão correspondente ao muro sobre a viga de coroamento, foram detectados deslocamentos excessivos na direcção da escavação, valores que não eram confirmados pelos alvos topográficos. Nos últimos 4 metros de escavação, profundidade coincidente com a posição estimada do nível freático, foi igualmente detectada uma deformação da contenção na direcção da escavação.

Após análise destas ocorrências, constatou-se que no tardo da contenção, o tráfego de veículos pesado tinha deformado em calhas inclinométricas excessivamente, e, por questões de organização de trabalhos, a não realização dos geodrenos imediatamente após a execução da escavação, tinha comprometido a capacidade de drenagem da estrutura de suporte. Este facto terá promovido o estabelecimento de impulso hidrostático no tardo da contenção, situação que não havia sido considerada em projecto (Figura 13).

8 - PRINCIPAIS QUANTIDADES

As principais quantidades associadas aos trabalhos descritos apresentam-se em seguida no Quadro 3.

Quadro 3 - Principais estimativas de quantidades.

Material	Painéis de CSM c/ 0,50m de esp.		Perfis IPE 270		Ancoragens Definitivas		Cofragem	Betão	Aço
Unidades de medição	un	m ³	un	ml	un	ml	m ²	m ³	kg
Valor total	225	3.406	440	6.195	356	7.573	7.977	1.612	243.277

9 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

As soluções apresentadas destacaram-se, pela sua dimensão, e, acima de tudo, pela aposta numa tecnologia recente, permitindo demonstrar, na sequência de realizações anteriores, como as apresentadas em trabalhos anteriores (Pinto, 2011), a excelente aplicabilidade da tecnologia de CSM em diferentes tipos de soluções e de ambientes geológicos e geotécnicos.

- a) O recurso a uma parede combinada de painéis de solo/cimento revestidos com parede em betão armado possibilitou, em primeiro plano, uma solução que prima pelo tratamento do solo existente e utilização do mesmo como parte constituinte da estrutura final, em detrimento da mera substituição do solo, como são exemplo a generalidade das soluções tradicionais com claras vantagens económicas e ambientais. Em segundo plano, a garantia do confinamento do maciço ao longo de todas as fases de escavação.

Esta segunda valência apresenta ainda uma dupla economia já que, face, por exemplo, a uma solução de Berlim definitivo, é possível a abertura de grandes frentes de escavação, sem a necessidade de painelização do faseamento construtivo, assim como ainda o controlo do sobreconsumo de betão visto a face de betonagem ser constituída pelos painéis de solo-cimento executados ao abrigo da tecnologia de CSM. A solução implantada apresenta assim, e comparativamente com soluções tradicionais, uma economia de tempo e de material aplicado em obra, com a garantia de um acabamento final de qualidade superior.

- b) A tecnologia de CSM permite igualmente o reforço dos painéis com perfis metálicos, conseguindo-se assim um aumento da resistência ao corte e à flexão. O reforço com os perfis metálicos possibilita igualmente a interligação com outros elementos estruturais como lajes, no presente caso as vigas de distribuição.
- c) O próprio comportamento, praticamente impermeável, dos painéis de CSM, assim como a ausência de juntas construtivas, possibilita a escavação abaixo do nível freático, como de resto já tinha sido apresentado em Fernandes M.M. (2010), aspecto este que, na falta de elementos de caracterização da presença e posição do nível freático, constitui ainda uma vantagem adicional face a uma solução tradicional de Berlim definitivo.
- d) O grau de sofisticação do equipamento de execução garante o ajuste e correcção, em tempo real, dos parâmetros de execução dos painéis, assim como um registo contínuo das diferentes variáveis geométricas e construtivas de cada painel.
- e) Comparativamente com outras soluções clássicas como cortinas de estacas ou paredes moldadas, a solução de painéis de CSM combinada com parede de revestimento em betão armado apresenta as vantagens:
 - a. Cortina de estacas: possibilita um acabamento final de melhor qualidade se comparado com o revestimento da cortina de estacas através de betão projectado. O volume total de betão consumido é menor com vantagens económicas e ambientais;
 - b. Paredes moldadas com recurso a grab hidráulico: possibilita um acabamento final de melhor qualidade e sem juntas, além de apresentar uma maior facilidade na escavação de materiais mas competentes, como seja o caso das areolas compactas com intercalações com cascões. O volume total de betão consumido é menor com vantagens económicas e ambientais.

No entanto, com a presente empreitada, foram também identificadas algumas limitações do recurso à tecnologia de CSM. As grandes dimensões e peso do equipamento e sobretudo a mais preponderante para o sucesso ou fracasso da estrutura final, a necessidade de um controlo de qualidade de execução muito exigente, inerente a qualquer técnica de tratamento de solos (Simon, 2009), são dois pontos que podem ainda condicionar uma maior aplicação desta técnica.

Duma forma geral, e com base na informação recolhida até à data pela instrumentação instalada nas estruturas de suporte, as soluções implantadas têm vindo a demonstrar um bom comportamento estrutural e geotécnico (Figura 14).

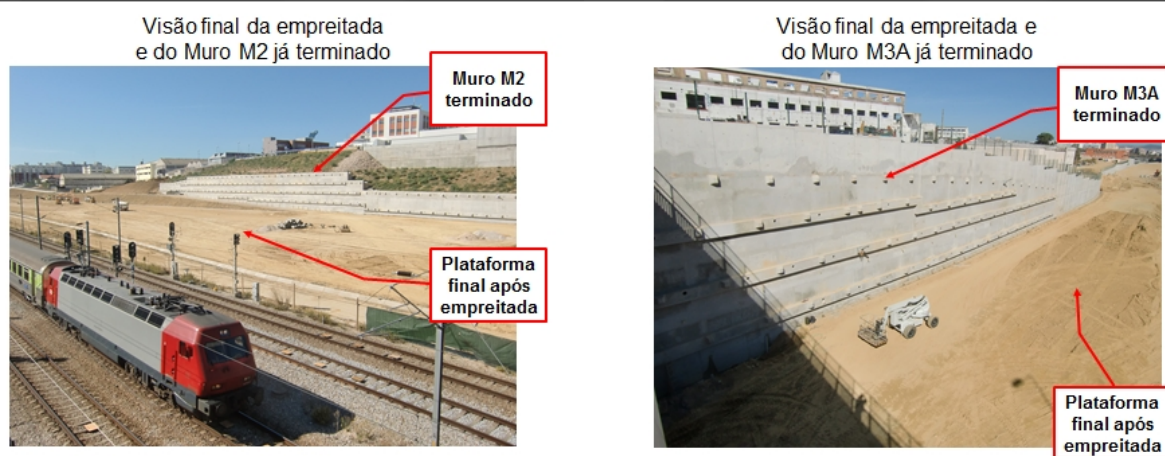


Figura 14 – Fotografias das estruturas finalizadas assim como da plataforma final

Como nota final, nunca é demais frisar o papel de destaque da instrumentação como modo de aferição do comportamento das soluções e do efeito que as mesmas têm na sua envolvente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todas as entidades envolvidas no processo a autorização para a redacção e publicação do presente artigo. Consideram ainda importante sublinhar que a solução implementada resultou de um trabalho de equipa, no âmbito do qual deve ser destacado o papel importante da empresa REFER, Dono de Obra e Fiscalização, Obrecol, empreiteiro geral, GeoRumo, empreiteiro dos trabalhos de geotecnia, e Profico, revisor do Projecto.

REFERÊNCIAS

- 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.
- Fernandes, M. M; Peixoto, A.; Pinto, A.; Pita, A.; Gomes, A. T.; Pedro, A. (2010). A Técnica de Cutter Soil Mixing aplicada a escavações urbanas" – *V Congresso Luso Brasileiro de Geotecnia*, Gramado - RS, Brasil, Sessão Paralela 2 – Escavações Profundas em Áreas Urbanas, publicado em CD.
- Pinto, A., Tomásio, R., Pita, X., Godinho, P., Peixoto, A. (2011). Ground Improvement Solutions using Cutter Soil Mixing Technology, *Proceedings of the 1st International Conference on Advances in Geotechnical Engineering*, Perth, Austrália, pp.511–518.
- Simon, B. (2009). Projet national de recherche et développement. Amélioration des sols par inclusions verticales rigides. *Travaux n°862*, pp.65-72.