

EXECUÇÃO DAS PAREDES DA ENSECADEIRA COM RECURSO À TECNOLOGIA DE CSM

EXECUTION OF COFFERDAM WALLS USING THE CSM TECHNOLOGY

Peixoto, Artur, Artur Peixoto, Lda, *Braga, Portugal*, *artur.peixoto@apgeotecnia.pt*

RESUMO

No presente resumo são descritas as principais características da Tecnologia CSM - Cutter Soil Mixing e sua aplicação na Ensecadeira do Terminal de Cruzeiros do Porto de Leixões, os componentes do sistema, o faseamento construtivo, o campo de aplicação, a avaliação das particulares vantagens comparativamente com outros sistemas convencionais utilizadas em melhoramento de solos, fundações especiais e contenções periféricas.

ABSTRACT

This summary describes the main feature of CSM - Cutter Soil Mixing Technology and its application at de Leixões Port Cruise Terminal, the system components, main phases execution process, the field application, the evaluation of the particular advantages over other conventional systems used in soil improvement, special foundations and diaphragm walls.

1. A TECNOLOGIA CUTTER SOIL MIXING (CSM)

1.1. Introdução

O princípio de aplicação da técnica de CSM consiste na desagregação do solo por ação mecânica de rodas de corte, cujo movimento de rotação se processa em torno de eixos horizontais, propiciando a mistura de calda de cimento que é injetada simultaneamente com a operação de desagregação. Esta técnica apresenta-se como um desenvolvimento das técnicas de *Deep Soil Mixing* (DSM), utilizando alguns princípios de execução de paredes moldadas, nomeadamente a Hidrofresa.

Alguns exemplos de aplicação desta técnica são as cortinas de contenção de escavações, as cortinas de impermeabilização, a estabilização e reforço de terrenos de fundação, a redução do risco de liquefação de areias e o isolamento de solos contaminados. Projetos recentes bem sucedidos permitem afirmar que esta é uma solução interessante, tanto a nível técnico como económico, tendo já sido implementada com sucesso em diversos países (Gerressen, Schopf □ Stotzer, 2009).

1.2. Sequência e procedimentos de execução

A aplicação desta técnica segue determinados procedimentos que devem ser adaptados às condições do solo e aos requisitos específicos do Projecto



Figura 1 – Pré-escavação

Uma vez definida em planta a localização dos painéis e as respetivas dimensões, procede-se à materialização do alinhamento e à execução de uma pré-escavação para contenção do refluxo.

A execução de uma parede contínua constituída por painéis de CSM é efetuada sequencialmente por painéis primários e secundários, o que permite assegurar que os painéis ficam parcialmente sobrepostos, garantindo-se a solidarização dos mesmos e obtendo-se uma parede contínua.

A ferramenta de corte é conduzida a uma velocidade constante para o interior do maciço, desagregando-o por ação das rodas de corte (cutter wheels). Durante esta fase de corte e descida, a calda de cimento vai sendo injetada pela zona central do Cutter e é efetuado o controlo do volume adicionado ao painel de acordo com os parâmetros adotados



Figura 2 – Corte e mistura em descendente.

A velocidade de descida do equipamento e o volume de calda de cimento devem ser ajustados de forma a otimizar o aproveitamento de energia e criar uma massa de material homogêneo que permita facilmente a descida e a subida do equipamento bem como a introdução de reforços metálicos. Dependendo do tipo de solo e da dificuldade em executar o tratamento, poderá ser necessário o uso de bentonite durante esta fase ou de uma calda mais pobre em cimento. Este procedimento distingue a execução do CSM em 1 fase ou 2 fases e será adiante explicado.

Durante a fase de corte e descida, em complemento à monitorização dos parâmetros de tratamento em tempo real, observa-se o refluxo do material excedente. Um refluxo muito espesso, de baixa trabalhabilidade e mistura pouco homogênea, representa um sintoma de parâmetros de tratamento desajustados.



Figura 3 – Refluxo correto



Figura 4 – Refluxo incorreto

Durante a fase de extração do equipamento CSM, inverte-se o sentido de rotação das rodas de corte e procede-se novamente à injeção de calda de cimento de forma a homogeneizar a mistura.

Concluído o processo de extração do equipamento, os painéis de CSM podem ser armados com perfis metálicos verticais, de acordo com a sua finalidade. Nesse caso, os perfis metálicos são inseridos nos painéis de solo tratado por gravidade ou com recurso a martelos e vibradores, logo após a sua execução.



Figura 5 – Reforço dos painéis através da introdução perfis metálicos

A tecnologia CSM permite a recolha de amostra em fresco a diferentes profundidades e colocação em provetes para posteriores ensaios laboratoriais.



a)



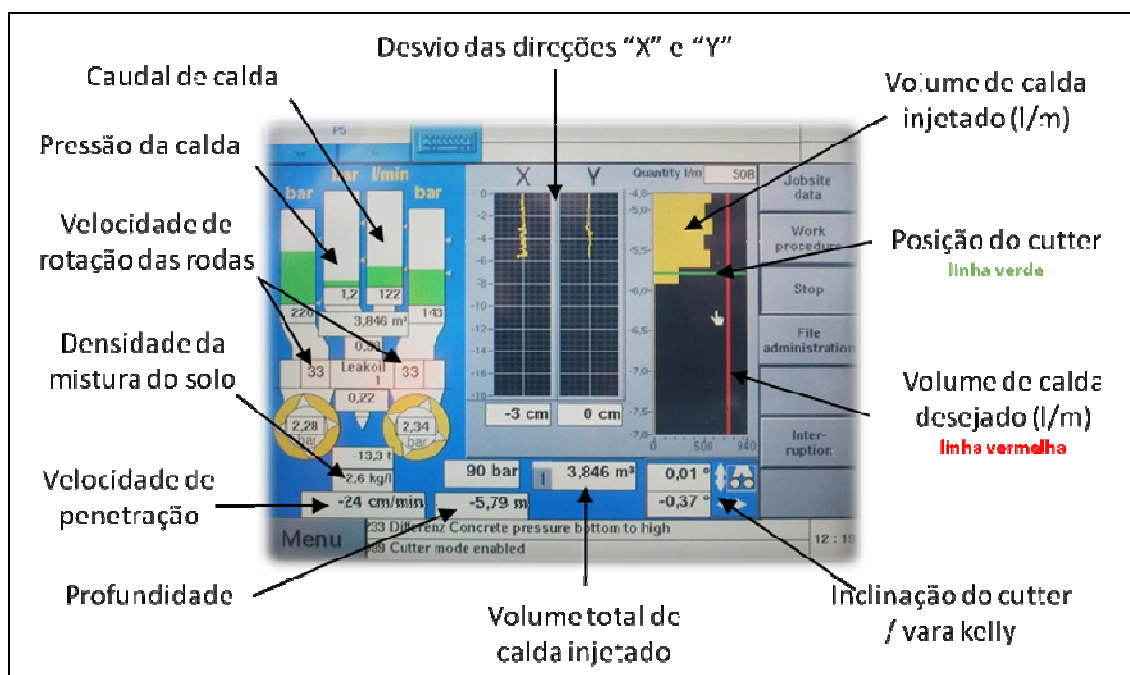
b)

Figura 6 a) e b) – Recolha de amostras em fresco

Tal procedimento representa uma economia de escala considerável em trabalhos complementares para recolha de amostras por carotagem.

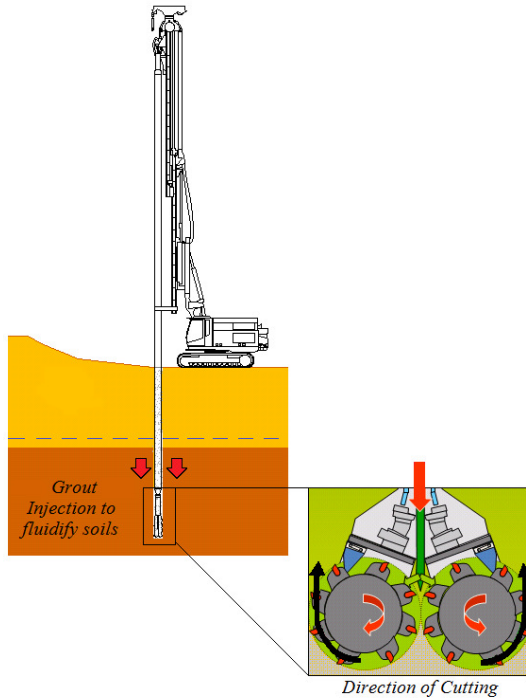
Os equipamentos de CSM incorporam as mais recentes tecnologias de monitorização possibilitando o processamento em tempo real de diversos parâmetros de execução (Lopez, Majewski & Harvey (2005).

Os parâmetros de controlo podem ser ajustados pelo manobrador no decorrer da execução dos painéis, de forma a garantir os pressupostos de projeto e a qualidade da mistura final obtida.

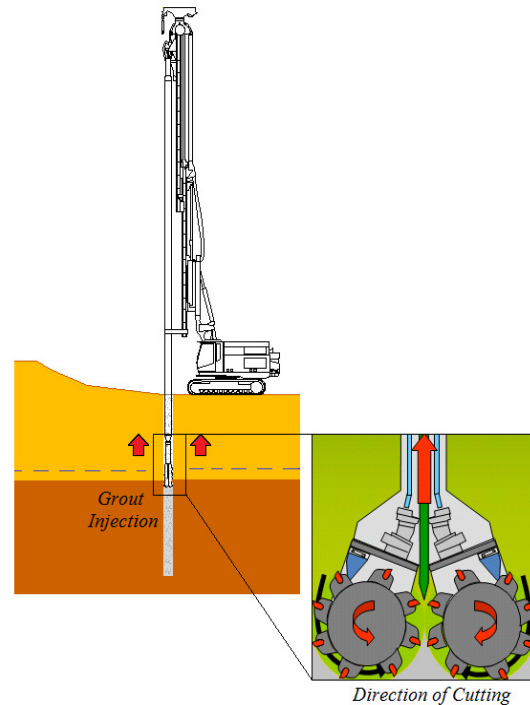


Na Figura 7 Painel de controlo do equipamento CSM

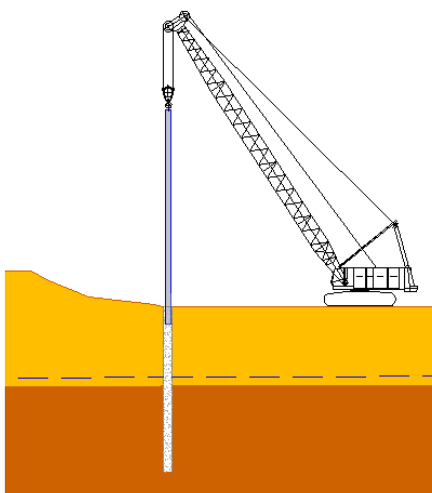
1. Cutting Phase: The mixing tool is driven into the ground. The soil matrix is broken up by the cutting wheels and at the same time a fluid (grout) is injected to fluidify the soil.



2. Withdrawal and Mixing Phase: After reaching the design depth extraction begins and the remaining volume of grout is blended into the soil.



3. Installation of reinforcement: Reinforcing elements, required for structural purposes, can be inserted into the fresh panels.



4. Execution of Continuous Walls: A continuous wall is formed by a series of overlapping primary and secondary panels.

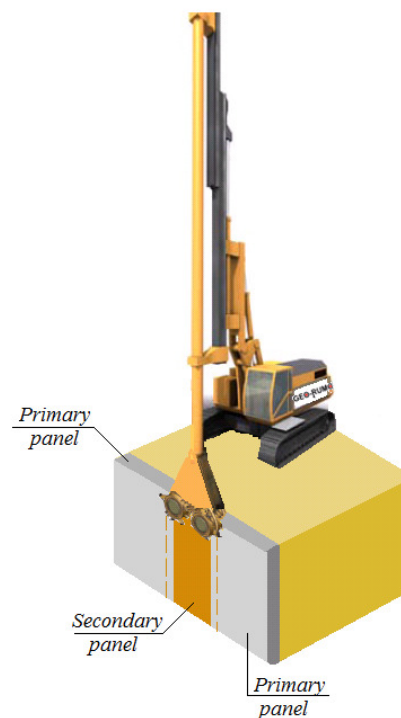


Figure8: Illustration of the main phases of CSM execution process.

Seguidamente descrevem-se os procedimentos gerais para execução da tecnologia CSM em 1 fase ou 2 fases:

Procedimentos de execução CSM em 1 fase:

- Adoção de suspensão de calda de cimento em todo o processo e sempre com a mesma relação a/c
- Corte e mistura em descendente
- Mistura e homogeneização em ascendente
- Utilização de cerca de 2/3 do volume teórico de calda em descendente e 1/3 em ascendente

Aconselhável para:

- baixas profundidades
- solos com elevada matriz arenosa
- solo com teor de humidade elevado ou saturados

Vantagens:

- estaleiro mais simples e processo mais económico
- menor refluxo
- refluxo com elevadas características mecânicas após presa

Procedimentos de execução CSM em 2 fases:

- Adoção de suspensão de bentonite na fase descendente para corte e pré-mistura
- Adoção de suspensão de cimento em fase ascendente para mistura e homogeneização com a massa solo-bentonite.
- Parâmetro de descida independente do parâmetro de subida.
- Possibilidade em adotar uma suspensão de calda de menor concentração de cimento em alternativa à bentonite

Aconselhável para:

- grandes profundidades
- difíceis condições de solo com tempos de descida elevados
- solos com elevada matriz argilosa

Vantagens:

- permite uma interrupção da operação descendente sem problemas.
- menos desgaste de cutter
- facilita a introdução de elementos metálicos no painel
- permite a reutilização da bentonite
- melhor homogeneidade e trabalhabilidade do solo tratado

1.3. Campos de aplicação da tecnologia CSM

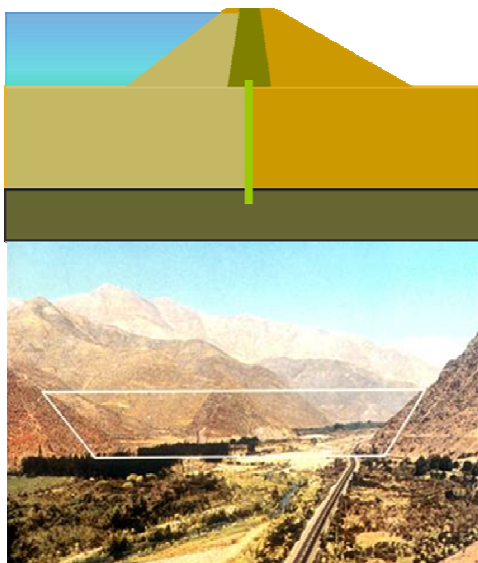


Figura 9 – Cut-off wall



Figura 10 – Contenções periféricas

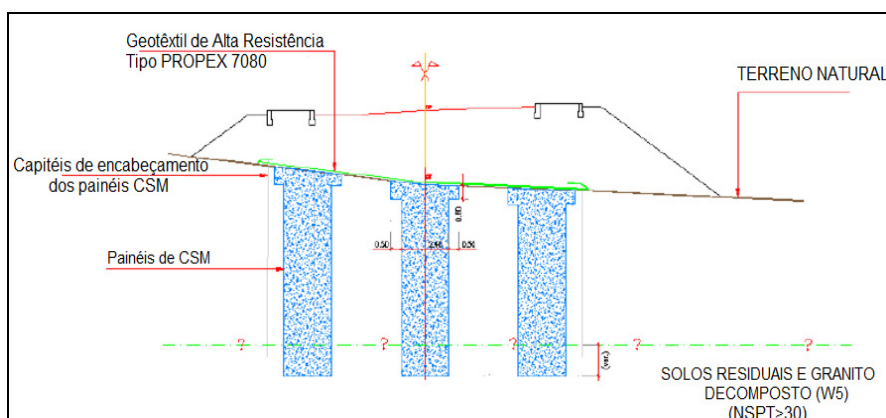
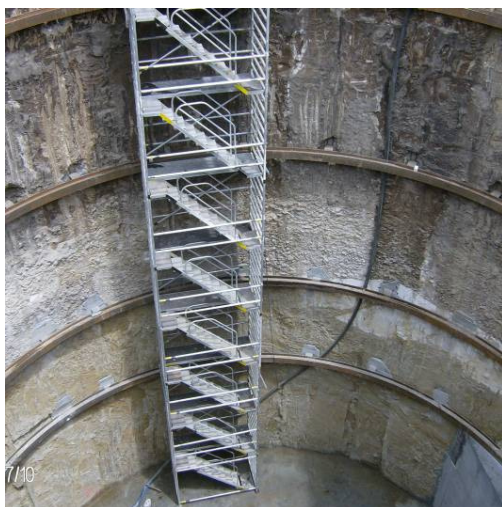


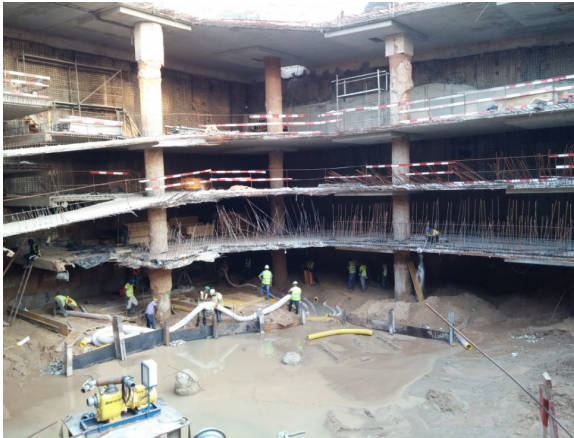
Figura 11 – Exemplo de aplicação em reforço de fundações



a)



b)



c) d)
 Figura 12 a) , b), c), d) – Exemplos de aplicação em escavações profundas

1.4. Métodos convencionais de paredes de contenção



a)



b)



c)



d)

Figura 13 – Métodos convencionais de paredes de contenção: a) Estacas prancha; b) Cortina de estacas ; c) Parede moldada; Soil mixing wall

1.5. Vantagens do CSM em comparação com os métodos convencionais

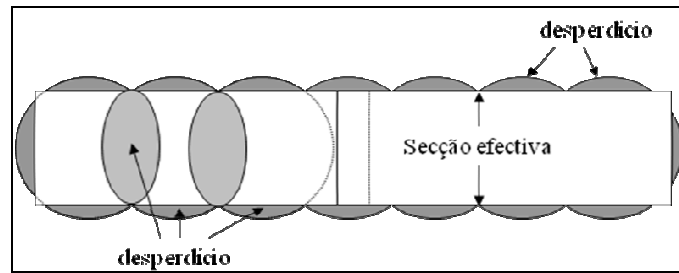
As imagens apresentadas de trabalhos utilizando os métodos convencionais de paredes de contenção, pelo seu bom grau de acabamento, levam a concluir que foram executadas em condições geológico-geotécnicas pouco exigentes, como sejam uma grande homogeneidade dos solos interessados, boa e fácil escalabilidade e a ausência de importantes cargas hidrostáticas sobre as paredes.

Em projetos de elevado risco geotécnico, elevada heterogeneidade de solos interessados, necessidade em materializar encastramentos em formações competentes e presença importante de níveis freáticos, podemos admitir uma importante vantagem na adoção da tecnologia CSM em comparação com os métodos convencionais referidos.

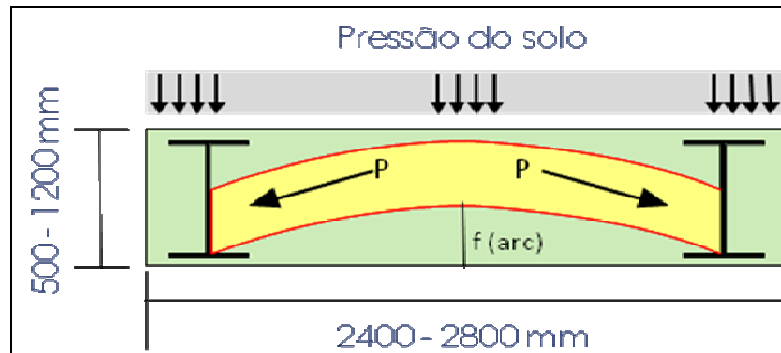
Destacamos:

- O solo é utilizado na construção da parede;
- Menor refluxo de material sobrando a vazadouro;
- Logística e custo de cimento e aço reduzida (não há transporte de betão pronto nem fabrico in-situ de armaduras);
- Pequena unidade base em relação à alta produtividade e grande profundidade possível de atingir com o tratamento;
- Alta precisão na verticalidade através da regulação independentes das *cutter wheels*;
- Princípio da tecnologia *Cutter* permite a penetração em formações competentes;
- Garantia da geometria da seção em toda profundidade do tratamento;
- Monitorização em tempo real, de toda a informação necessária para garantir a qualidade do tratamento;
- Ausência de juntas físicas entre painéis através da sobreposição e fresagem dos painéis primários;
- Menor desperdício de materiais para a mesma seção efetiva;
- Redução do número de juntas para o mesmo desenvolvimento;
- Grande flexibilidade no reforço dos painéis através da aplicação de elementos metálicos;
- Possibilidade em recolher amostras frescas de solo tratada a diferentes profundidades e colocação em provetes;
- Menores custos em trabalhos complementares de recolha de amostras para ensaios laboratoriais;
- A configuração das rodas de corte permite translações horizontais de modo a contornar infraestruturas enterradas de pequena dimensão sem interromper o tratamento;
- Possibilidade em atingir elevadas profundidades, com sistemas guiados por Kelly até 50 metros e suspensos por cabo a ultrapassar os 100 metros com os mais recentes equipamentos;

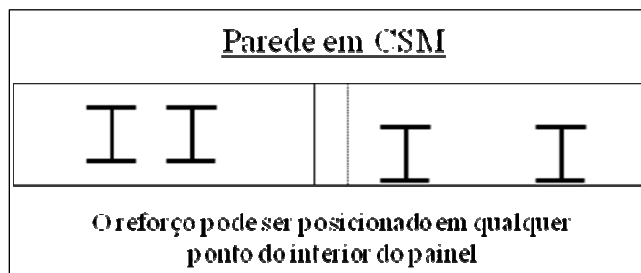
Reforçamos um ponto de extrema importância nos projetos de elevado risco geotécnico em que se adota a tecnologia CSM, como sendo o facto de se obter em tempo real a informação necessária para se detetar anomalias na execução e se poder atuar no sentido de as atempadamente corrigir, evitando os constrangimentos das anomalias detetadas durante uma escavação quando colocado a descoberto o trabalho de contenção.



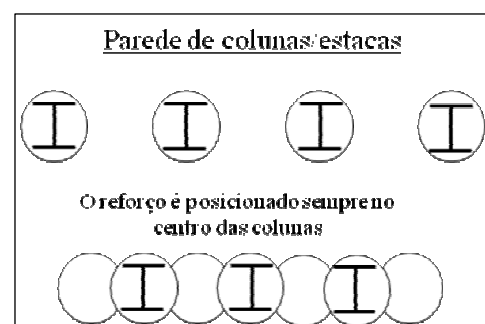
a)



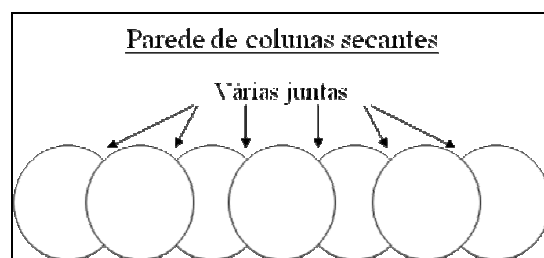
b)



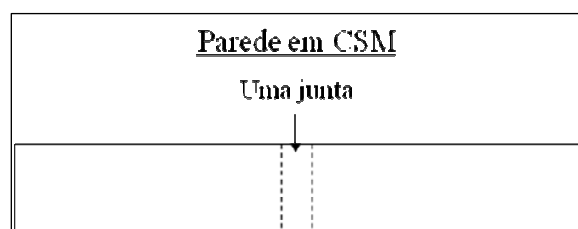
c)



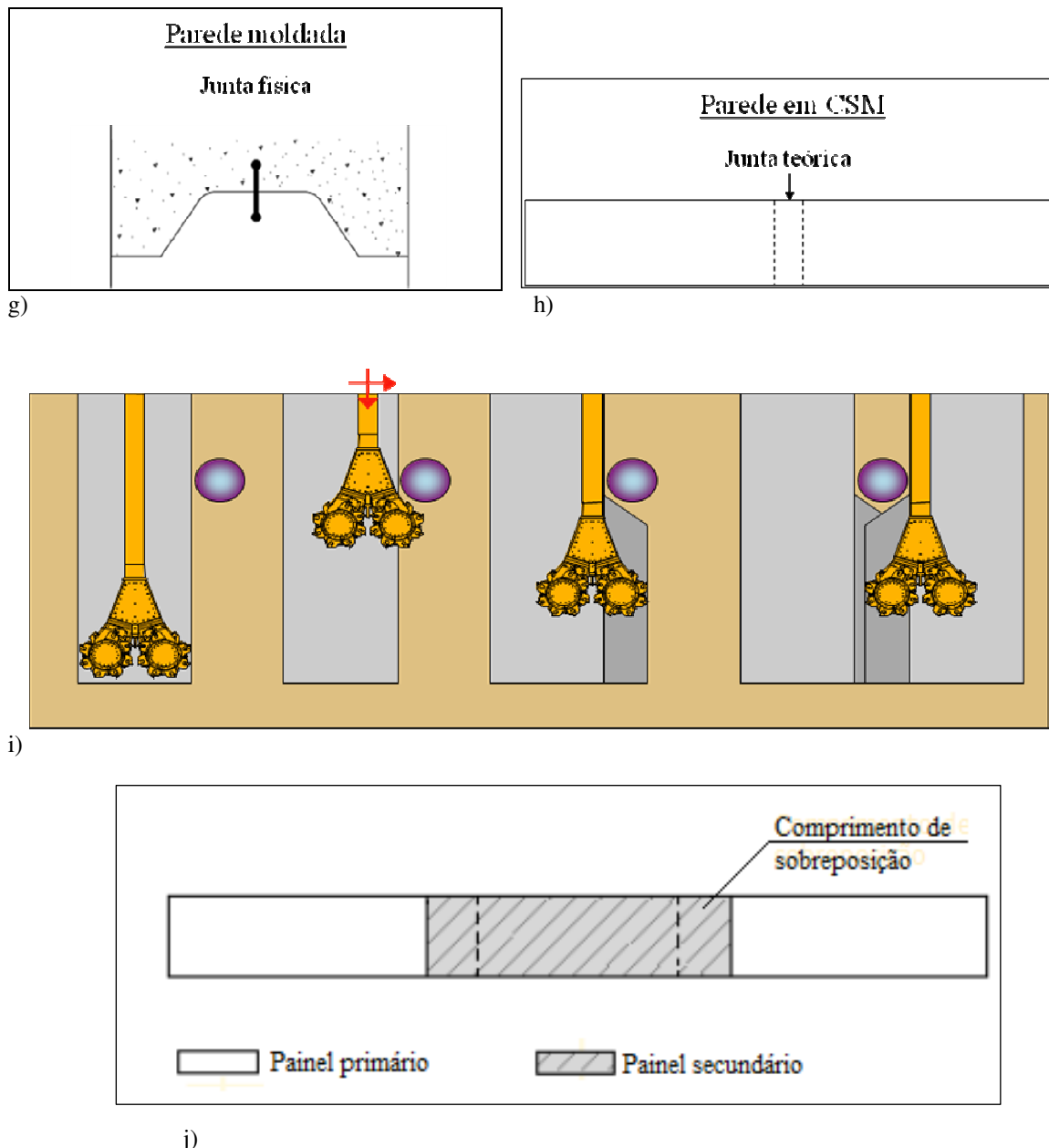
d)



e)



f)



j)

Figura 14 – Vantagem do CSM em comparação com outros métodos convencionais: a) menor desperdício para a mesma seção efetiva; b) várias geometrias de tratamento; c) e d) maior liberdade no posicionamento dos reforços metálicos; e) e f) redução do numero de juntas para o mesmo desenvolvimento; g) e h) Ausência de juntas físicas entre painéis através da sobreposição e fresagem dos painéis primários; i) A configuração das rodas de corte permite translações horizontais de modo a contornar infraestruturas enterradas de pequena dimensão sem interromper o tratamento; j) garantia de uma parede contínua e sem juntas.

2. APLICAÇÃO DA TECNOLOGIA CSM NO TERMINAL DE CRUZEIROS DE LEIXÕES



Figura 15 – Localização da obra

A escavação geral para implantação do edifício do Terminal de Cruzeiros de Leixões foi realizada ao obrigo de diversas soluções técnicas de contenção periférica e impermeabilização, dado o fundo de caixa se encontrar a uma cota inferior à do nível médio das águas do mar.

Foi adotada a solução em CSM em duas zonas distintas, a denominada Zona 1, caracterizada pela presença de um aterro hidráulico com solos selecionados, que permitiu a execução de painéis com 15 metros de profundidade e encastrados 1 metro nas formações W3/W4 e a denominada Zona2, caracterizada pela presença de enrocamento, tendo-se adotado por uma substituição de solos em vala com cerca de 6 metros de profundidade para permitir a execução de painéis CSM até essa cota, prolongando-se os trabalhos de impermeabilização nos enrocamentos por intermédio de micro estacas e injeções de calda de cimento.

A solução em *Cutter Soil Mixing* desenvolveu-se numa extensão de cerca de 305 m e os painéis foram reforçados com perfis metálicos IPE330 e perfis tubulares, em função da secção tipo de tratamento.



Figura 16 – Identificação das diferentes zonas de tratamento



Figura 3 – Aspeto final da cortina de contenção periférica em CSM executada na zona 1



Figura 18 – Aspeto final da cortina de contenção periférica em CSM executada na zona 2

3. CONCLUSÕES

A aplicação da tecnologia CSM como parte da solução de contenção na obra apresentada permitiu obter um comportamento muito satisfatório, quer em termos de estabilidade, quer em termos de deformações ao longo das várias fases de escavação, quer ainda no que respeita ao bom funcionamento como elemento de impermeabilização.

O acompanhamento da obra apresentada permitiu perceber que a obtenção de boas soluções com a técnica de CSM depende de diversos fatores, como as condições geológico-geotécnicas, os requisitos específicos de cada Projeto, a experiência do projetista, a disponibilidade de equipamento apropriado e de pessoal qualificado, entre outras.

A ponderação das vantagens da tecnologia CSM anunciadas face ao risco geotécnico inerente às difíceis condições na zona de implantação do Edifício, terão influenciado na escolha desta tecnologia por parte da equipa projetista.

REFERÊNCIAS

- Gerressen, F. W.; Schopf, M. & Stotzer, E (2009). CSM – Cutter Soil Mixing – Worldwide experiences of a young soil mixing method. *Proceedings of International Symposium on Deep Mixing & Admixture Stabilization*, Okinawa, Japan.
- Lopez, R. A., Majewski, A. & Harvey, T. (2009). Permanent excavation support in urban areas using cutter soil mixing technology: Elliott Avenue case history. *Proceedings of International Foundation Congress and Equipment Expo, Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils, and Geo-Support, Geotechnical Special Publication No. 187*, ASCE, Orlando, Florida, pp. 185-192.
- Sousa, E. (2009). A Técnica de Cutter Soil Mixing Aplicada a Escavações Urbanas. Aspectos Gerais e Caso de Estudo. Tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, FEUP, 182 p
- Pinto, A., Tomásio, R., Pita, X., Cristóvão, A. (2015). Cutter Soil Mixing Solutions at de Leixões Cruise Terminal