

# ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA PARA A IMPLANTAÇÃO DO “EL CORTE INGLÉS” EM VILA NOVA DE GAIA

## EXCAVATION AND PERIPHERAL RETAINING WALL FOR THE CONSTRUCTION OF THE “EL CORTE INGLÉS” IN VILA NOVA DE GAIA

Antunes, Pedro, *Mota-Engil Engenharia SA, Lisboa, Portugal, pedro.antunes@mota-engil.pt*  
Gil, Sara, *Mota-Engil Engenharia SA, Lisboa, Portugal, sara.gil@mota-engil.pt*  
Cabaço, Jorge, *Keller Grundbau GmbH, Castanheira, Portugal, jorge.cabaco@keller.pt*  
Lopes, Paulo, *Keller Grundbau GmbH, Castanheira, Portugal, paulo.lopes@keller.pt*  
Cunha, Sérgio, *GEG, Porto, Portugal, scunha@geg.pt*  
Almeida, Henrique, *GEG, Porto, Portugal, halmeida@geg.pt*

### RESUMO

Para a construção dos pisos enterrados do novo edifício do “El Corte Inglés” em Vila Nova de Gaia foi executada uma contenção periférica constituída por estacas armadas com colunas de jet grouting entre elas, ancorada provisoriamente, compreendendo uma escavação geral de 280.000m<sup>3</sup>. Nesta comunicação apresenta-se a solução adoptada, referindo-se essencialmente aos métodos executivos utilizados na construção das estacas armadas, no tipo de jet grouting aplicado, e também sobre os aspectos da instrumentação utilizada. Por último tecem-se alguns comentários sobre o sucesso deste tipo de soluções integradas que compreendem fundações indirectas tradicionais complementadas com técnicas de melhoramento de solo, funcionando aqui como elementos de sustentação de terras.

### ABSTRACT

For the construction of the underground floors of the new building of “El Corte Inglés” in Vila Nova de Gaia, a peripheral excavation support was carried out using reinforced piles with jet grouting columns in between and temporary anchors, which resulted in a general excavation of 280.000m<sup>3</sup>. The adopted solutions are presented in this paper referring essentially to the execution methods used in the construction of the reinforced piles, to the type of jet grouting applied and also to some aspects of the instrumentation used to monitor and evaluate the behaviour of the structure, the supported soil and the surrounding buildings. At last, some comments are made concerning the success of such integrated solutions which comprehend traditional deep foundations complemented with soil improvement techniques, in order to enhance the earth retaining performances.

### 1. INTRODUÇÃO

Esta comunicação pretende dar a conhecer as metodologias utilizadas na execução da contenção periférica, inserida na obra de construção do “El Corte Inglés”, em Vila Nova de Gaia. A metodologia adoptada consistiu na execução de uma cortina de estacas de betão armado de Ø1000mm afastadas 1,30m entre eixos. No intervalo entre estacas foram executadas colunas de jet grouting de Ø800mm. À medida que a escavação na frente da cortina foi avançando, a estabilidade do conjunto foi sendo assegurada com recurso a ancoragens provisórias. O facto de se estar na presença de uma escavação de grandes dimensões realizada numa área densamente urbanizada levou a que toda a sua periferia fosse alvo de uma instrumentação exaustiva.

A Figura 1 ilustra o aspecto geral da obra e envolvente em Fevereiro de 2005, cinco meses após o início da obra.



Figura 1 – Vista geral da obra

## 2. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

Os terrenos interessadas pela obra pertencem à formação dos “Granitos do Porto”, que corresponde grosso modo a um granito alcalino de duas micas, com predomínio de moscovite, de grão médio a grosseiro, leucocrata.

Para avaliação das características dos terrenos interessadas pela obra foram realizadas 30 sondagens de prospecção à rotação, com realização de ensaios SPT e recolha de amostras remexidas e indeformadas com recurso a amostradores Shelby e Mazier. Foram ainda instalados piezómetros e realizados ensaios de permeabilidade tipo Lugeon e ensaios de bombagem.

As sondagens revelaram a existência de depósitos recentes constituídos por aterros, com possanças máximas de 9m, que assentam sobre o maciço granítico. Este maciço apresenta alguma heterogeneidade representada pelos diversos graus de alteração identificados nas sondagens (de W1/W2 a W5).

Foram definidas 9 zonas geológico-geotécnicas (ZG1 a ZG9), estando quatro delas enquadradas no maciço rochoso fracturado e as restantes dentro do maciço rochoso com comportamento de solo (i.e. granito W5).

A campanha de prospecção e ensaios realizada permitiu ao projectista elaborar, com a fiabilidade possível, um modelo geológico-geotécnico capaz de representar em profundidade e segundo o alinhamento da contenção, o maciço interessado. O zonamento geotécnico do maciço daí resultante não só constitui a base para toda a modelação e dimensionamento da contenção da escavação como também fornece conhecimento prévio e um conjunto de informações relevantes e indispensáveis para que em fase de obra se consiga otimizar o desempenho dos processos construtivos.

### 3. HIDROGEOLOGIA

Em termos hidrogeológicos, verificou-se que a água, e com base nos dados obtidos, seria uma constante, tendo sido considerada como factor relevante na estabilidade de toda a obra. Este facto foi fundamental, quer na definição do tipo de contenção a efectuar, quer na execução da própria escavação.

### 4. SOLUÇÃO ADOPTADA PARA A CONTENÇÃO PERIFÉRICA

Será importante referir que a solução inicial preconizada pelo projectista consistia na execução da contenção periférica ao abrigo de uma cortina de estacas secantes. Dado o volume de trabalhos associado, bem como os prazos existentes para a realização da obra optou-se por propor uma alteração ao projecto. A solução consistiu numa cortina de estacas de Ø1000mm afastadas 1,30m entre eixos, com colunas de jet grouting de Ø800mm entre estacas no tardo da contenção. A execução de jet grouting teve como objectivo a substituição das estacas plásticas, secantes, de forma a reduzir ao máximo a afluência de água ao interior da escavação, quer na fase provisória quer na definitiva. Com o intuito de suportar e controlar os impulsos activos todo o sistema foi ancorado provisoriamente, atingindo na zona de maior escavação cinco níveis de ancoragens (Figura 2).



Figura 2 – Vista parcial da contenção

#### 4.1 Estacas

Depois de efectuados os trabalhos de limpeza do terreno, bem como a demolição de alguns edifícios, iniciou-se a execução das estacas. Da análise efectuada aos resultados da campanha de prospecção e ao projecto de execução, optou-se pelo método de furação com recurso a fluidos estabilizadores. A opção recaiu na utilização de polímeros por motivos ambientais, logísticos e pelo facto de dispensarem alguns equipamentos necessários na utilização de bentonites. A furação foi efectuada com recurso à utilização de trados de peões, “carotiers” e baldes de luvas e de fundo plano para a limpeza dos furos.

##### 4.1.1 Utilização de polímeros na execução de estacas

Para a central de polímeros foi mobilizado para a obra um tanque de sedimentação, um tanque de mistura e um silo de armazenamento, numa capacidade total instalada de aproximadamente 60m<sup>3</sup>.

A mistura dos polímeros era efectuada no tanque de mistura, através de ar comprimido, recorrendo-se para este efeito à utilização de um compressor de 4m<sup>3</sup>. Quando o polímero estava preparado enviava-se para a estaca em execução ou para o silo de armazenagem.

Durante a betonagem o fluido estabilizador era transportado, com recurso a bombas, para o tanque de sedimentação passando pelos diversos compartimentos de maneira a promover a sedimentação dos resíduos em suspensão mantendo-se, desta forma, o fluído estabilizador o mais “limpo” possível. Após este processo era novamente enviado para o tanque de mistura onde eram efectuadas as devidas correcções de pH através da adição de hidróxido de sódio.

#### 4.1.2 Controlo de qualidade dos polímeros implementado

Para um correcto funcionamento deste produto, e à semelhança do que acontece com a utilização de bentonite, é necessária a realização de alguns testes durante o decorrer dos trabalhos. Os valores ideais para o correcto funcionamento dos polímeros são os seguintes:

- Viscosidade > 50s;
- pH  $11 < \text{pH} < 12$ ;
- Densidade  $1,0 < D < 1,06$ ;
- Teor de Areia  $1\% < \text{Ta} < 2\%$ .

No decorrer da obra foram controlados com mais frequência o pH e a viscosidade, sendo que a sua medição foi efectuada nas seguintes situações:

- Após a mistura no tanque de mistura;
- Antes de enviar o fluido para a estaca em execução;
- No interior da escavação, durante e no final da furação;
- No último compartimento do tanque de sedimentação, imediatamente antes de enviar o fluído para o tanque de mistura.

O teor em areia e a densidade foram controlados nas seguintes actividades:

- No final da furação, por meio de amostra da base do furo e antes de colocada a armadura;
- No tanque de sedimentação, no último compartimento, antes do seu reenvio para o tanque de mistura para correcções dos vários parâmetros.

No Quadro 1 são apresentados os resultados das leituras dos diversos parâmetros obtidos no período decorrido entre 6 e 9 de Setembro de 2005 e que são representativos dos valores dos obtidos no decorrer da empreitada.

Quadro 1 – Valores dos parâmetros de controlo de qualidade dos polímeros

Nº estaca	Início	Fim	Profundidade (m)	Viscosidade (s)	pH	Densidade	Teor de areia (%)
71	06-Set	06-Set	18,25	60	11,5		
68	06-Set	06-Set	15,30	55	11,0		
65	07-Set	07-Set	15,30	55	11,5		
56	07-Set	07-Set	18,30	55	12,0	1,01	0,25
59	07-Set	08-Set	18,30	48	11,5		
62	08-Set	08-Set	18,30	55	11,5	1,01	0,50
53	08-Set	08-Set	15,30	65	12,0		
44	08-Set	09-Set	16,30	60	11,5		
47	09-Set	10-Set	16,30	67	12		

Na execução da cortina de estacas foram efectuados 10.000m de furação tendo-se registado um sobreconsumo de betão de 12%.

#### 4.2 Colunas de jet grouting

A execução das colunas de jet grouting, teve como objectivo o tratamento dos solos entre as estacas moldadas (Figura 3) com vista à melhoria das condições de escavação pela redução da permeabilidade entre as estacas e, conseqüentemente, pela diminuição de afluência de água à escavação.

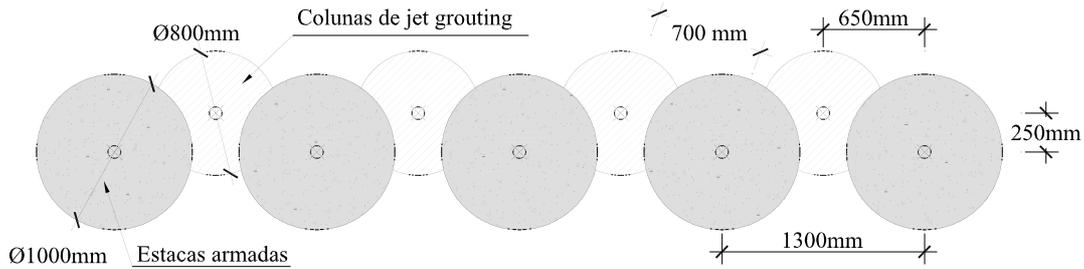


Figura 3 – Esquema de implantação das colunas de jet grouting

A solução desenvolvida foi constituída por colunas de diâmetro 800mm com profundidades definidas até 1,0m abaixo da cota de escavação, garantindo o encastramento em rocha granítica. Foram executados cerca de 406 colunas de jet grouting que variaram entre os 12,00m e os 24,50m de comprimento, perfazendo um total de 7.329ml e comprimentos médios da ordem dos 18,0m.

As colunas de jet grouting foram executadas através do processo triplo, que se caracteriza pela injeção de ar comprimido, água e calda de água e cimento em simultâneo (Figura 4).

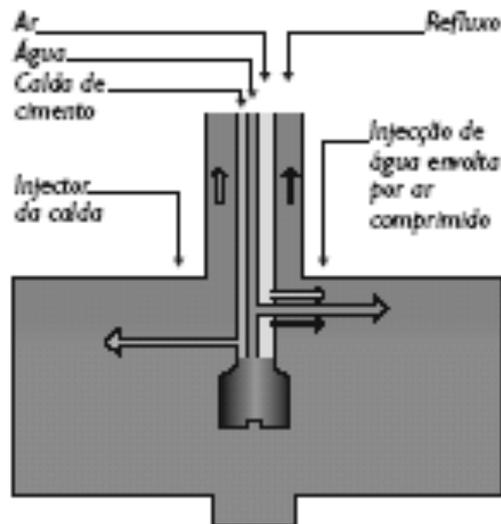


Figura 4 – Processo triplo de execução de jet grouting (Soilcrete T)

No início dos trabalhos foram executadas três colunas de teste com vista a aferir os parâmetros a utilizar para o diâmetro preconizado, tendo-se alcançado diâmetros superiores ao preconizado no projecto (> 0,8m). Na Figura 5 é apresentada uma das colunas de jet grouting de teste que atingiu cerca de 1,4m de diâmetro.



Figura 5 – Coluna de jet grouting de teste ( $\varnothing 1,4\text{m}$ )

Com o intuito de obter o máximo rendimento possível dos trabalhos, foi utilizado um equipamento de pré-furação à roto-percussão que executava a furação em avanço.

De forma a acelerar o processo de execução, o equipamento de execução de colunas de jet grouting estava equipado com um mastro comprido que permitia atingir o máximo de profundidade previsto para as colunas (cerca de 26,0m), executando cada coluna de uma só vez sem necessidade de recorrer à colocação vara a vara.

Face a esta optimização na execução dos trabalhos, conseguiram-se atingir rendimentos médios de 100 a 120m de coluna por cada turno de trabalho.

De referir que foi efectuado um rigoroso controlo de qualidade que se traduziu no seguinte: controle da implantação topográfica de cada furo; controle da verticalidade das varas de furação com aplicação de nível; verificação da profundidade e tipo de terrenos atravessados; registo manual e automático dos parâmetros utilizados – pressões, caudais, velocidade de subida, rotações; verificação da continuidade do refluxo de lama sobranse; verificação das características da calda – quantidades, traço, e peso específico; verificação do peso específico da lama de refluxo.

#### **4.3 Ancoragens provisórias**

O edifício onde ficará sedeado o “El Corte Inglés” é constituído por seis pisos enterrados o que implicou executar uma escavação que atingiu uma altura máxima de 23,0m. De forma a absorver os impulsos activos que iam sendo transmitidos à cortina de contenção por via da escavação, houve a necessidade de utilizar ancoragens provisórias.

Para a contenção da cortina de estacas (Figura 6) foram executados 16.000m de ancoragens de cordões com cargas de serviço compreendidas entre os 400kN e os 650kN, dispostas em 3 a 5 níveis e com comprimentos compreendidos entre os 17,0m (10,0m de comprimento livre e 7,0m de comprimento de selagem) e os 25,0m (16,0m de comprimento livre e 9,0m de comprimento de selagem).

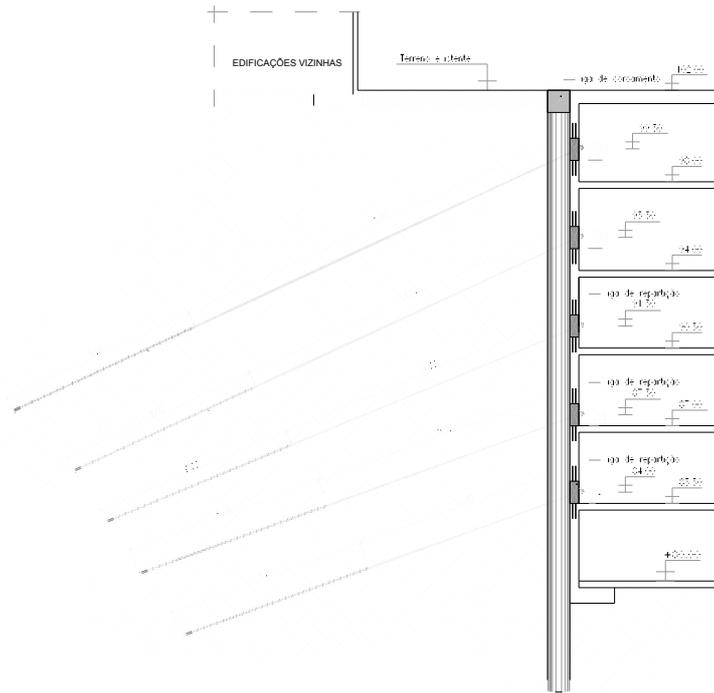


Figura 6 – Corte tipo da cortina ancorada

Para proceder à verificação dos pressupostos de projecto foram realizados dois ensaios prévios em maciços de betão armado efectuados para o efeito. Da avaliação dos resultados destes ensaios concluiu-se que as ancoragens constantes no projecto de execução tinham, em termos de fluências e de alongamentos, um comportamento considerado satisfatório.

Devido a alguma heterogeneidade do maciço granítico o projecto base já previa que num canto da obra não seria possível a execução das estacas até à cota final prevista (4,0m abaixo da cota final da escavação). Por este facto foi estudada uma solução de recalçamento (Figura 7), que se veio a verificar numa zona da obra onde o maciço granítico apresentava estados de alteração e fracturação praticamente inexistentes (W2-1; F2-1).

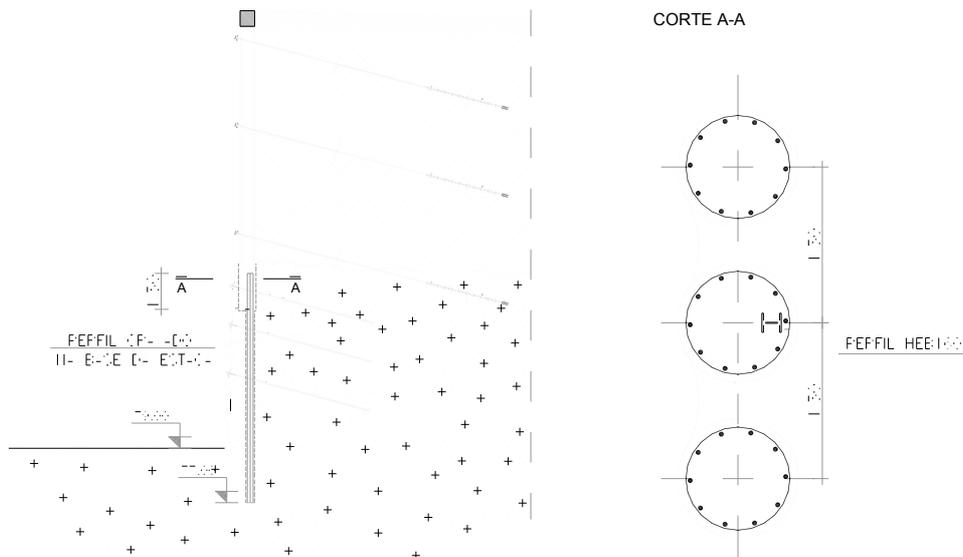


Figura 7 - Corte tipo da solução de recalçamento

## 5. MODELO DE CÁLCULO

Como breve descrição dos modelos de cálculo realizados, refira-se que foram analisados diversos cortes, considerados como condicionantes para a escavação e representativos para o dimensionamento da contenção periférica.

Os diferentes cortes analisados tiveram como base os mesmos critérios de modelação, tendo-se utilizado o programa de cálculo comercial Plaxis, desenvolvido exactamente para a análise de problemas geotécnicos e tendo como base o método dos elementos finitos, com formulação em estado plano de deformação. O recurso a esta aplicação possibilitou a modelação do faseamento construtivo real da escavação para os diferentes cortes admitidos e permitiu estimar, para as diferentes fases de escavação, o comportamento do maciço e dos edifícios vizinhos, ao nível de tensões, deslocamentos e assentamentos, assim como as solicitações ao longo da própria estrutura que se pretendeu dimensionar.

A Figura 8 diz respeito a um dos sete cortes modelados, correspondendo este exemplo a uma situação com 5 níveis de ancoragens espaçadas longitudinalmente de 2,60m e pré-esforços a variar entre 600 e 650kN. Para efeitos de percolação, considerou-se em todos os modelos um  $k$  de  $1.8 \cdot 10^{-5} \text{m/s}$ .

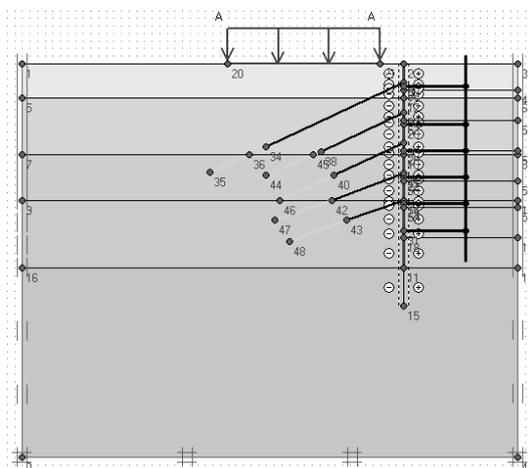


Figura 8 – Modelo de cálculo no paramento Sul (Rua de Raimundo Carvalho)

## 6. INSTRUMENTAÇÃO

De acordo com o referido, a área envolvente à obra é densamente urbanizada, pelo que para além da instrumentação com intuito de acompanhar o comportamento da contenção e do maciço no seu tardo, no decorrer das várias fases da obra, de forma a aferir os modelos e pressupostos de cálculo, foi também implementado um sistema que visou o controlo do comportamento dos edifícios envolventes, face ao desenrolar dos trabalhos.

### 6.1 Contenção

Os instrumentos preconizados para a observação da contenção foram instalados na frente (alvos topográficos do tipo prismas de reflexão total e células de carga), no seu interior (inclinómetros), e no maciço no seu tardo (marcas topográficas e piezómetros). Assim, foram estabelecidos vinte e dois perfis onde se instalaram em cada um deles, e sempre que possível, um alvo, um inclinómetro e uma marca topográfica. Para além destes dispositivos, em alguns dos perfis foram aplicadas células de carga hidráulicas e piezómetros hidráulicos de tubo aberto.

As calhas inclinométricas foram instaladas no interior das estacas de betão armado da cortina, os restantes dispositivos da contenção foram colocados à medida que iam sendo reunidas as condições que o permitiam efectuar. Não se registaram no decorrer da obra aumento das quantidades de dispositivos de instrumentação previstas face aos deslocamentos observados. As quantidades instaladas estão indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Quantidades de instrumentação aplicada na contenção

Dispositivo	Inclinómetros	Piezómetros	Prismas de reflexão total	Marcas de superfície	Células de carga
Quant. total aplicada	22	5	21	17	21
Quant. perfis abrangidos	22	5	21	17	7

## 6.2 Edifícios envolventes

Em redor do perímetro da obra foram identificados vinte e oito edifícios, dos quais se obteve autorização para observar vinte e sete, com características bastante heterogéneas em termos de data de construção, número de pisos e estado de conservação (Figura 9).



Figura 9 – Aspecto geral de uma parte dos edifícios contíguos à obra

No sentido de controlar os movimentos verticais e horizontais dos edifícios foram instalados clinómetros nos edifícios com maior número de pisos, prismas topográficos de reflexão total e réguas topográficas. Tendo em conta as condicionantes da disposição dos edifícios optou-se pela utilização massiva de réguas em detrimento dos prismas topográficos que foram instalados em pontos mais importantes.

Dado que alguns dos edifícios envolventes já exibiam sinais de degradação que incluía fissuras com aberturas de 1cm, e de acordo com o que estava estipulado no projecto, foram instalados fissurómetros tipo Tell-tale nas fissuras estruturais e de maior desenvolvimento. Para além das fissuras também se instalaram fissurómetros em juntas que já apresentavam sinais de abertura. No decorrer da obra a quantidade de dispositivos aumentou ligeiramente no sentido de se observar com mais detalhe zonas que apresentaram deslocamentos superiores aos previstos, estando no Quadro 3 apresentadas as quantidades totais instaladas bem como o número de edifícios onde foram aplicados.

Quadro 3 – Quantidades de instrumentação aplicada nos edifícios

Dispositivo	Fissurómetros	Clinómetros	Prismas de reflexão total	Réguas topográficas
Quant. Total Aplicada	48	6	21	53
Quant. Edifícios abrangidos	22	6	15	24

### 6.3 Periodicidade de leituras

Durante a execução da obra os instrumentos descritos foram lidos com uma periodicidade semanal para permitir um acompanhamento do comportamento dos edifícios e da contenção em função dos trabalhos executados. Em alguns períodos, e em zonas específicas, onde se verificaram deslocamentos acima dos previstos em projecto procedeu-se ao incremento do número de leituras.

### 6.4 Resultados

Na sua generalidade, os resultados obtidos por via da instrumentação revelaram-se em conformidade com as previsões e na mesma ordem de grandeza dos valores apresentados pelos modelos de cálculo adoptados. Dentro do leque de dispositivos instalados, alguns revelaram-se certamente mais importantes que outros, tendo havido um ou outro elemento que se poderia classificar como menos bem sucedido.

Como seria de prever relativamente à cortina propriamente dita, os movimentos são mínimos na direcção paralela à escavação, sendo aqueles predominantemente verticais devidos a assentamentos do maciço e na direcção perpendicular à parede de contenção devido à descompressão desse mesmo maciço.

Fará sentido referir que durante o avanço normal da obra, os modelos de cálculo foram sendo ajustados de modo a que estes se adequassem melhor à realidade e aos resultados. Destaca-se a seguir uma situação que consideramos bastante relevante para a percepção dos problemas que envolvem este tipo de obras e que denotam, por um lado, a necessidade de acompanhar a obra por parte do projectista e, por outro, o carácter evolutivo dos cálculos em geotecnia.

A certa altura da escavação houve um aumento significativo dos assentamentos e deslocamentos da cortina face àquilo que estaria previsto. As obras foram temporariamente suspensas no trecho afectado de forma a analisar o local. Constatou-se que a zona em causa apresentava uma camada aluvionar com características piores em relação àquelas que foram previstas durante a campanha de prospecção geológica e a qual não tinha sido considerada no modelo de cálculo definido para o perfil em causa.

Os resultados dos inclinómetros da zona acima referida viriam a confirmar claramente que as deformações e os deslocamentos detectados eram provocados pela ocorrência daquela camada de piores características mecânicas. Face ao sucedido, o modelo de cálculo realizado para essa zona foi reajustado às novas condições com introdução da referida camada e com as respectivas características mecânicas que lhe foram aferidas e calcularam-se novamente os esforços. Como consequência da alteração do modelo e dos novos resultados obtidos, comprovou-se a necessidade de ajustar o projecto inicial e de recorrer a medidas extraordinárias de estabilização como sejam recalçamentos das fundações, injeções com calda e microestacas, de modo a travar os deslocamentos e a impedir o avanço dos assentamentos na superfície, os quais poderiam acarretar danos para os edifícios envolventes.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Cada vez mais se torna necessário adaptar os projectos de execução à realidade das obras. O ganho está muitas vezes na escolha adequada dos métodos construtivos. Para isso é conveniente que as campanhas de prospecção sejam, tanto quanto possível, exaustivas no conhecimento geológico-geotécnico dos terrenos interessados. Esta importância é ainda mais relevante em zonas onde a natureza heterogénea dos maciços é significativa, como nas zonas urbanas e concretamente neste caso do maciço granítico do Porto.

É por isso que soluções integradas como esta de métodos tradicionais de fundações, com métodos de tratamento e melhoramento de solos se revelaram no presente caso como um sucesso, permitindo realizar a obra com menos meios do que os previstos inicialmente, bem como reduzir os prazos da obra de escavação e contenção periférica.

Por último, mas não menos importante, uma palavra para todo o sistema de monitorização instalado que permitiu, em situações em que se verificaram deslocamentos superiores aos esperados, alertar atempadamente para desta forma executar medidas de prevenção/correção.

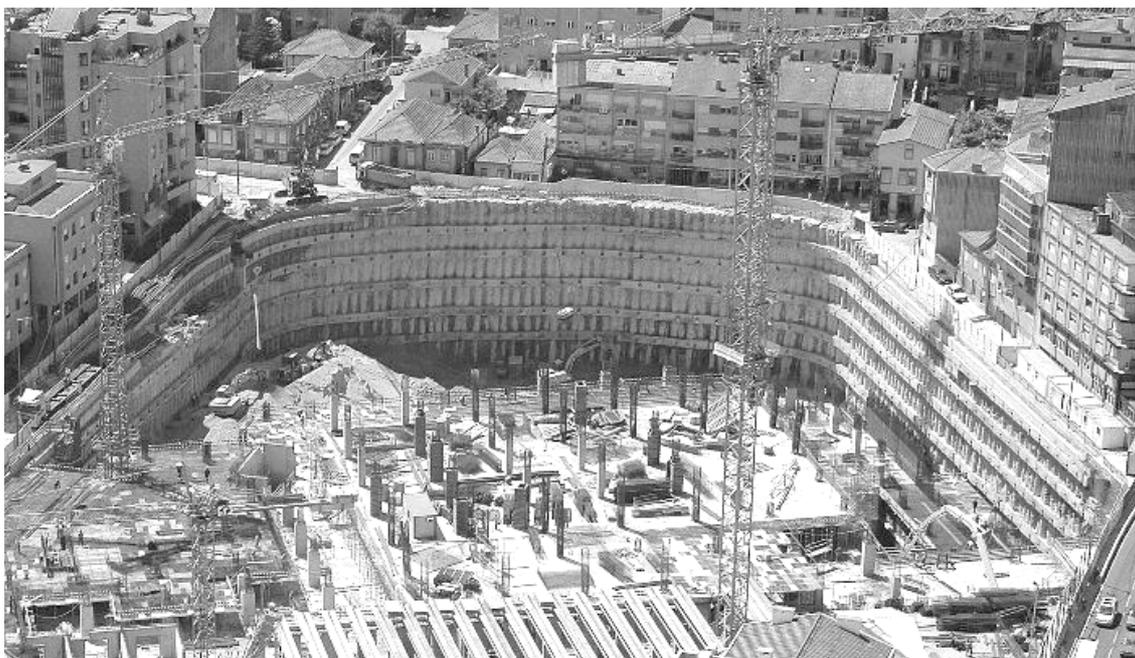


Figura 10 – Aspecto geral da frente Sul da escavação

## **8. AGRADECIMENTOS**

El Corte Inglés

A toda a equipa da Mota-Engil que esteve directamente envolvida, com especial atenção para: Raquel Moutinho, Rui Coelho, Sandra Carvalho e Tiago Silva.

GEG – António Campos e Matos e Hugo Marques

SPGO

GEO – João Ferreira

## **9. REFERÊNCIAS**

Carrington da Costa, J.; Teixeira, C. (1957) – Carta geológica de Portugal na escala 1/50.000 e Notícia Explicativa da folha 9-C, Porto, Serviços Geológicos de Portugal

Dunnicliff, J. (1988) – Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance, Wiley Interscience