

ESTAÇÃO 24 DE AGOSTO DO METRO DO PORTO. ADAPTAÇÃO DO PROJECTO DE ESCAVAÇÃO E CONTENÇÃO PERIFÉRICA

24 AGOSTO STATION OF THE METRO DO PORTO. ADAPTATION OF THE EXCAVATION DESIGN

Conceição, Miguel F. Menezes, Cenorgeo, *Lisboa, Portugal, mconceicao@cenorgeo.pt*
Cardoso, André M. Cambão, Cenorgeo, *Lisboa, Portugal, acardoso@cenorgeo.pt*
Baião, Carlos J. Oliveira, Cenorgeo, *Lisboa, Portugal, cbaião@cenorgeo.pt*
Brito, José A. Mateus, Cenorgeo, *Lisboa, Portugal, mbrito@cenorgeo.pt*

RESUMO

Apresenta-se o projecto de adaptação do sistema de contenção periférica do recinto da Estação 24 de Agosto, inserida na Linha Azul do Metro Ligeiro do Porto. Referem-se os vários condicionamentos que conduziram à concepção geral dos diferentes tipos de soluções adoptadas para a contenção dos terrenos envolventes ao recinto, tendo em conta o cenário geológico e hidrogeológico presente. Para além de se descreverem os aspectos particulares de maior interesse, nomeadamente a adopção de um sistema de travamento das paredes de contenção constituído por escoras metálicas pré-esforçadas e a realização de um tratamento de impermeabilização do maciço rochoso através de injeções de calda de cimento, refere-se, ainda, o plano de observação implementado.

ABSTRACT

This paper describes the adaptation project of the retaining structure of the site where the new blue line Metro do Porto Light Rail station 24 August was built. The several restraints which led to the use of different types of solutions and the general design of these solutions are presented. It will also be discussed some of the construction aspects with particular interest, such as a pre-stressed support system and an impermeabilization with an injection treatment. Finally it will be briefly described the observation plan.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Generalidades

A Estação 24 de Agosto localiza-se no Campo com o mesmo nome e insere-se na Linha Azul do Metro Ligeiro do Porto, tendo sido construída pela técnica “cut and cover”.

O projecto de adaptação do sistema de contenção periférica do recinto com cerca 2000 m² de área (80 m x 25 m) e uma altura de escavação de cerca de 24 m, destinado à construção da estação, resultou da necessidade de adaptação do projecto original devido, sobretudo, à constatação de que as condições geológico-geotécnicas na área de implantação da obra eram significativamente diferentes das previstas, verificando-se a impossibilidade de, em trechos consideráveis, executar o sistema de contenção definido inicialmente, o qual era constituído por paredes moldadas. Na Figura 1 apresenta-se uma planta geral de implantação da obra.

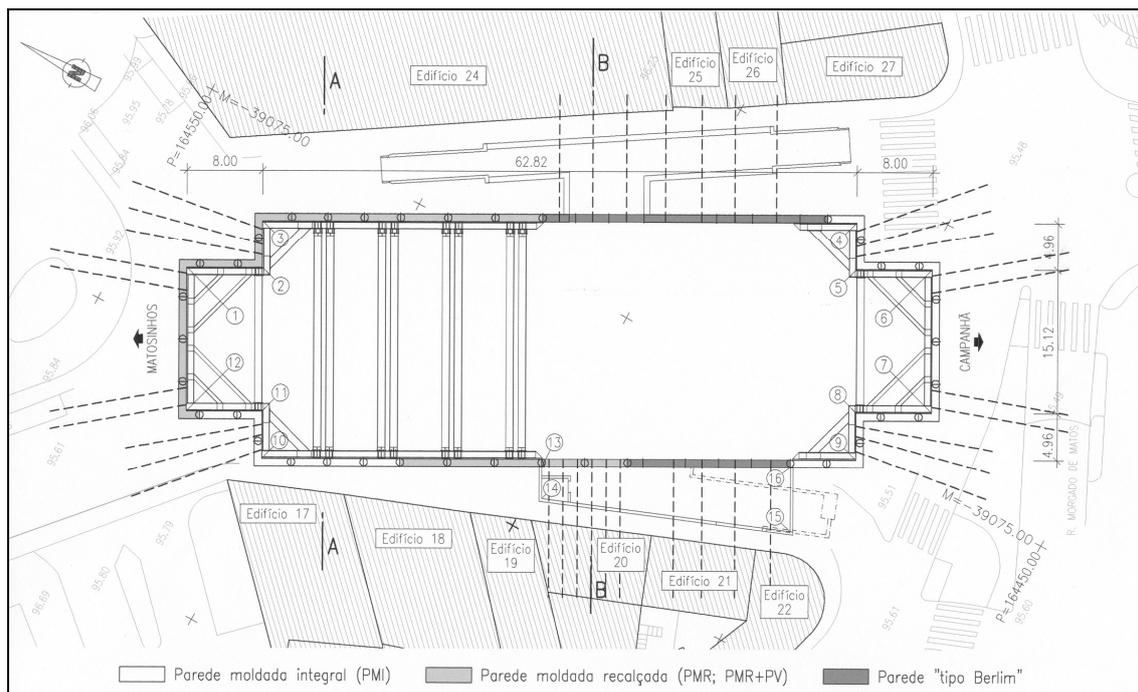


Figura 1 – Planta geral de implantação da obra

1.2 Antecedentes e condicionamentos

Os trabalhos de contenção do recinto da Estação 24 de Agosto foram iniciados no ano 2000, tendo por base o projecto original desenvolvido pelos consultores da Transmetro S.A., no qual se previa um sistema de contenção constituído por painéis de parede moldada com 0,80 m de espessura, realizados a partir da superfície do terreno até uma profundidade de cerca de 6 m abaixo da cota de fundo da escavação, suportados provisoriamente por um sistema de suporte constituído por escoras e ancoragens.

Após o início dos trabalhos verificou-se uma grande dificuldade na execução das paredes moldadas, devida à ocorrência do maciço granítico de melhores características muito próximo da superfície, obrigando ao recurso sistemático e prolongado do trépano, o que acarretava enormes problemas, tanto de ordem económica, como técnica, originando vibrações e ruído que afectavam, quer os moradores dos edifícios existentes na envolvente ao recinto, quer os próprios edifícios.

A constatação de que as condições geológico-geotécnicas na área de implantação da obra eram significativamente diferentes das previstas no projecto original, impossibilitando a execução dos painéis de parede moldada em várias zonas do perímetro da estação, levou à concepção de uma solução alternativa para a execução do sistema de contenção periférica, a qual se descreve seguidamente [1].

Embora tecnicamente, face às condições geológicas encontradas, a solução mais indicada pudesse corresponder à alteração do sistema de contenção periférica para uma cortina de estacas, esta alternativa não foi considerada ajustada no âmbito da empreitada, uma vez que implicava a interrupção dos trabalhos e a desmobilização do pessoal e do equipamento em obra. Assim, foi considerado como dado de base que a solução previsse a execução das paredes moldadas até às cotas permitidas pelas condições geológico-geotécnicas, esgotando-se a

capacidade do equipamento em obra, realizando-se posteriormente o recalçamento das mesmas durante os trabalhos de escavação.

Para além deste factor, outros aspectos condicionaram fortemente o estudo da nova solução, nomeadamente a grande proximidade de edifícios, os quais, à excepção dos edifícios 18 e 24, mais recentes e em betão armado, eram na sua generalidade de alvenaria e em avançado estado de degradação, e a presença do nível freático instalado muito próximo da superfície.

2. CONDIÇÕES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS

2.1 Trabalhos de prospecção

A caracterização geológico-geotécnica geral para a execução da estação havia sido estabelecida com base nos trabalhos de reconhecimento efectuados em duas campanhas de prospecção realizadas em Janeiro e Maio de 2000 [2], incluindo 12 sondagens e ensaios “in situ” e em laboratório (ensaios SPT em quatro sondagens, ensaios pressiométricos em duas sondagens, ensaios de compressão uniaxial em duas amostras, ensaios de permeabilidade do tipo Lefranc e um ensaio de bombagem).

Na fase de adaptação do projecto de escavação e contenção periférica, e com as paredes moldadas em execução, programou-se uma campanha de prospecção complementar de sondagens e ensaios Lugeon. Foram realizadas 12 sondagens adicionais, tendo-se efectuado ensaios de injeção de água tipo Lugeon em oito delas [1].

2.2 Modelo geológico-geotécnico

A estação interessa granitos de grão médio a grosseiro, leucocratas, de duas micas, conhecidos por "granitos do Porto". Como materiais de cobertura ocorrem depósitos recentes de aterros e entulhos, pouco espessos, que regularizam o tecto do substrato granítico natural.

De um modo geral, o granito do Porto apresenta um perfil de meteorização bastante variável e complexo, verificando-se que as partes do maciço não decompostas e/ou desagregadas aparecem predominantemente em núcleos de rocha pouco alterada e bastante rija, o que confere ao maciço uma elevada heterogeneidade com reflexos nos processos construtivos da escavação e da contenção periférica.

Nestas circunstâncias, e com o objectivo de estabelecer o modelo geológico-geotécnico com aplicação específica ao projecto, foi efectuada a classificação visual dos testemunhos das sondagens disponíveis (campanhas de Maio de 2000 e complementar), utilizando-se o critério apresentado de seguida:

- I/I⁻ – rocha sã (I) ou com ligeira alteração (I⁻), sem perda sensível das características mecânicas originais;
- II⁺/II/II⁻ – rocha alterada (II), mais ou menos atingida pela alteração (II/II⁺), dura, suportando a percussão do martelo de mão;
- III⁺/III/III⁻ – rocha decomposta não suportando a percussão do martelo de mão (III), e desagregando-se mais ou menos facilmente (III⁻/III⁺).

O zonamento geotécnico efectuado considerou assim, no essencial, duas grandes unidades geotécnicas (Horizontes A e C) e uma zona de transição, marcando a passagem mais ou menos gradual entre aquelas unidades principais (Horizonte B).

A zona superior, bastante homogénea, é constituída pelos materiais de cobertura e pela parte do maciço constituído totalmente por material rochoso decomposto e/ou desagregado, usualmente designado por saibros graníticos (grau de alteração W_5). A espessura desta zona é superior a 30 m no topo Sul e no canto entre o topo Norte e a parede Oeste.

A zona inferior é bastante heterogénea do ponto de vista geotécnico devido à presença de núcleos de rocha rija no seio de material rochoso decomposto (grau de alteração W_4) ou, inversamente, à presença de zonas mais ou menos limitadas de material rochoso decomposto no seio de rocha pouco alterada, rija e fracturada (grau de alteração W_3). Dada a presença do nível freático muito próximo da superfície, esta heterogeneidade torna-se bastante mais acentuada, em particular nas zonas em que solos residuais se encontram saturados.

A zona de transição considerada corresponde a um horizonte do maciço onde a rocha é predominantemente decomposta, mas bastante compacta e com alguns núcleos rijos aleatoriamente dispersos (grau de alteração W_4). Verificou-se que era nesta zona de transição que se esgotava a capacidade dos meios de escavação existentes em obra para a execução das paredes moldadas.

Estes horizontes geotécnicos estão representados na Figura 2, podendo-se observar que a espessura da zona superior do maciço totalmente decomposta e/ou desagregada é bastante variável ao longo da estação. Nas paredes Este e Oeste, próximo do topo Sul, a espessura desta é praticamente nula, ocorrendo próximo da superfície núcleos de rocha pouco alterada e muito rija, que inviabilizavam a execução de paredes moldadas. Chama-se atenção para o facto de nenhuma das sondagens das campanhas anteriores (sondagens com designação 24A-S) se localizarem nas zonas em que o maciço menos alterado ocorre próximo da superfície.

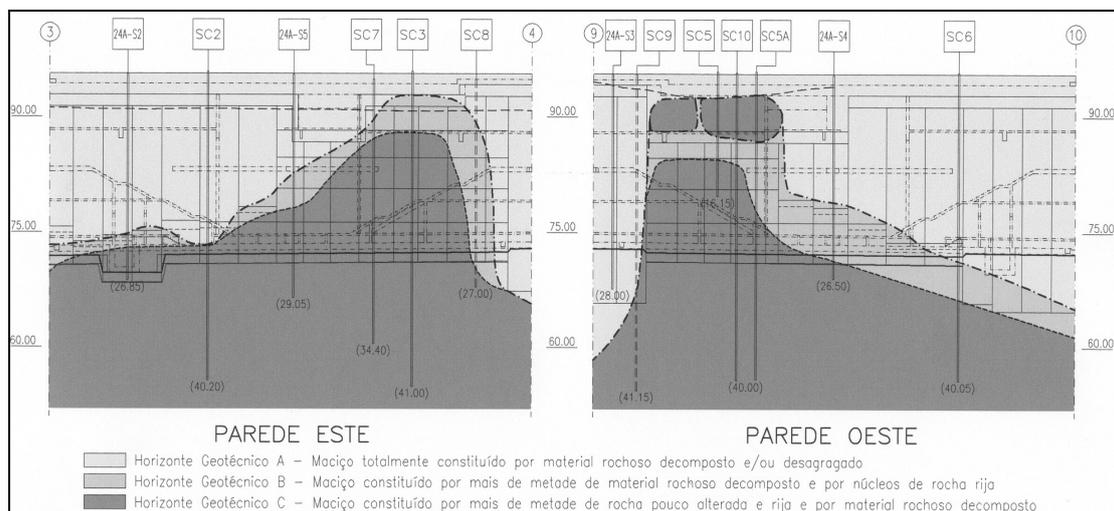


Figura 2 – Alçados geológico-geotécnicos das paredes Este e Oeste

Na zona geotécnica superior, correspondente aos solos de cobertura e aos granitos totalmente decompostos e/ou desagregados, estabeleceram-se 3 classes geotécnicas com base nos resultados dos ensaios SPT, os quais apontavam para um gradual aumento da resistência dos solos residuais com a profundidade. Este aumento de resistência estava aparentemente

relacionado com a descompressão superficial e com a meteorização dos feldspatos e das micas constituintes da rocha.

Os parâmetros geomecânicos atribuídos ao maciço foram estabelecidos com base no zonamento geotécnico, na ponderação dos resultados dos ensaios de caracterização realizados nestas formações, nomeadamente a informação de base disponível [2], e na experiência adquirida em outras obras geotécnicas realizadas nos granitos do Porto. Os parâmetros utilizados são os indicados no Quadro 1.

Quadro 1 – Parâmetros geomecânicos

Horizonte Geotécnico	Classe	γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E (MPa)
A	III ⁻ /III (z < 4,0 m)	19	5	28	10
	III ⁻ /III (4,0 m < z < 10,0 m)	21	30	33	50
	III ⁻ /III (z > 10,0 m)	22	50	35	150
B	III ⁺ /II ⁻	24	100	40	500
C	II/II ⁺	26	300	45	3500

2.3 Modelo hidrogeológico

Para a caracterização das condições hidrogeológicas do maciço recorreu-se à informação obtida nas leituras dos piezómetros e dos níveis de água dos poços existentes nas proximidades da estação, bem como nos ensaios de injeção de água tipo Lugeon efectuados nas sondagens da prospecção complementar, interessando essencialmente as zonas de maciço muito alterado e fracturado (W₄ e W₃).

Na zona de granito decomposto (W₅), onde a percolação por porosidade é relevante, dada a possibilidade de existirem diaclases ligeiramente abertas e irregularmente colmatadas que conduzem a um aumento do coeficiente de permeabilidade, estimou-se, com base na bibliografia existente, um valor da ordem de $K = 10^{-6}$ m/s, equivalente a 10 unidades Lugeon. Na zona inferior de granitos muito alterados a moderadamente alterados (W₄ e W₃), ponderados os resultados dos ensaios Lugeon e aplicando os critérios referidos por Kutzner [3], admitiram-se ordens de grandeza do coeficiente de permeabilidade entre 5×10^{-6} m/s e 10^{-5} m/s (50 a 100 unidades Lugeon).

3. CONCEPÇÃO E DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO

3.1 Concepção e descrição geral

Na concepção da solução, face aos vários condicionamentos referidos, procurou-se, para além de manter a solução original de contenção nas zonas onde a nova interpretação geológico-geotécnica desse garantias da possibilidade de execução das paredes moldadas, recorrer a soluções construtivas que se integrassem facilmente, em termos de processo construtivo, com a solução geral de contenção por paredes moldadas.

Para além desta preocupação, dada a proximidade das estruturas edificadas envolventes à escavação, procurou-se ainda adoptar uma solução que garantisse um controlo efectivo da

afluência de água à escavação, de modo a não provocar um rebaixamento muito significativo no nível freático existente.

Assim, em face dos vários condicionamentos existentes, a solução original foi mantida apenas nas zonas em que se previu que a rocha granítica rija só ocorreria a cotas suficientemente profundas, não criando dificuldades executivas à escavação dos painéis de parede moldada até às cotas previstas no projecto original. Para além desta solução de painéis de parede moldada integral (PMI), considerou-se ainda ajustado estabelecer mais duas soluções tipo distintas para a estrutura de contenção.

A solução adoptada nos casos em que se afigurava possível executar a parede moldada até uma cota próxima da cota final de escavação, consistiu no recalce dos painéis de parede moldada utilizando uma técnica construtiva semelhante à das paredes tipo “Berlim” (PMR). Na situação em que o desnível entre a cota de fundo dos painéis a recalçar e a cota final a atingir pela escavação era significativa, superior a 3,0 m, e implicando a execução de dois níveis de recalçamento, considerou-se ajustado proceder à instalação de perfis metálicos tubulares verticais ($\phi=219,1$ mm, esp=16 mm, em aço laminado Fe360), de modo a assegurar a estabilidade vertical dos painéis (PMR+PV).

Nos casos de impossibilidade de executar painéis de parede moldada a partir de cotas muito próximas da superfície, optou-se por considerar a execução integral das paredes pela técnica tipo “Berlim” (PB). O desenvolvimento das várias soluções adoptadas é indicado na planta da Figura 1, constatando-se facilmente a importância das soluções alternativas, apresentando-se na Figura 3 os cortes tipo das mesmas.

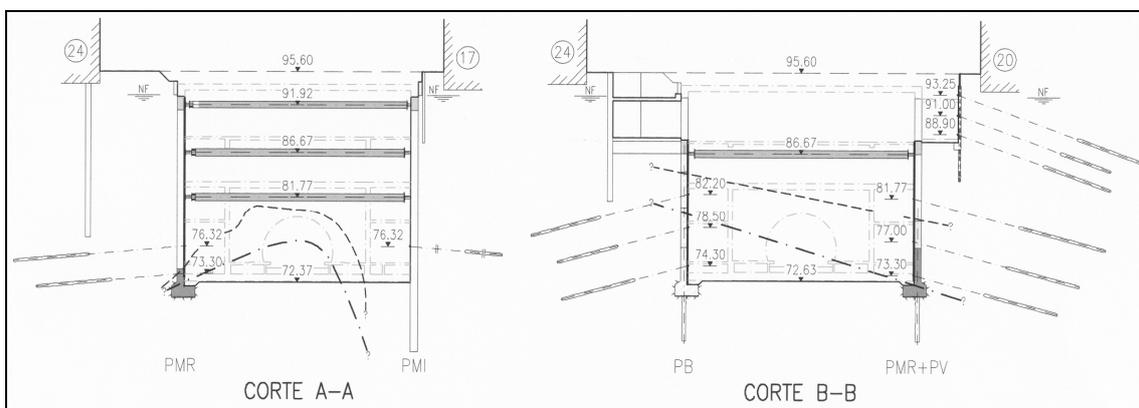


Figura 3 – Cortes tipo das soluções adoptadas

Em função das condições geológico-geotécnicas observadas no decurso da escavação, em especial nos níveis mais profundos, foi prevista a possibilidade de otimizar o faseamento executivo definido no âmbito do projecto para as paredes do tipo Berlim, aumentando as larguras dos painéis, de modo a obviar a desvantagem inerente a esta solução, relacionada com os condicionamentos que impõe ao normal desenrolar da escavação geral da estação.

3.2 Sistemas de suporte das paredes

O suporte global das paredes de contenção da estação foi assegurado por dois tipos distintos de sistemas, escoras e ancoragens. Dadas as diferenças significativas existentes entre o dispositivo geológico-geotécnico assumido no projecto original e o definido no âmbito do projecto de alteração, considerou-se ajustado proceder ao redimensionamento de todo o sistema de

travamento a instalar. Assim, nas zonas onde o maciço granítico pouco alterado se encontrava próximo da superfície, procedeu-se à substituição do sistema de escoramento previsto por um sistema de ancoragens. Esta alteração parcial do sistema de suporte das paredes permitiu disponibilizar um espaço amplo e livre de constrangimentos na zona central da estação, permitindo uma maior rapidez executiva da obra. As ancoragens previstas tinham níveis de pré-esforço variáveis entre 480 kN e 1200 kN, prevendo-se que os bolbos de selagem interessariam as classes III⁻/III (z > 10,0 m), III⁺/II⁻ e II/II⁺.

A solução adoptada para o sistema de escoramento foi igualmente alterada, tendo-se preconizado um sistema de escoramento com a possibilidade da introdução de pré-esforço, recorrendo para isso a um dispositivo colocado numa das extremidades das escoras, que permitisse a instalação de um macaco hidráulico.

A adopção de escoras pré-esforçadas foi sobretudo condicionada pela proximidade dos edifícios e teve três objectivos principais: reduzir os deslocamentos das paredes nas zonas superiores, introduzir a possibilidade de, ao longo da obra, se controlarem os deslocamentos e os esforços observados nas paredes e elementos do próprio sistema de escoramento, através do reajuste do pré-esforço instalado, e permitir retirar as escoras, no final dos trabalhos, de uma forma segura e controlada. As características das escoras, incluindo os níveis de pré-esforço adoptados, são as que se apresentam no Quadro 2, indicando-se ainda a relação entre o pré-esforço instalado e a compressão máxima prevista para os diferentes níveis de escoras, traduzida através de uma percentagem (% $F_{projecto}$).

Quadro 2 – Características das escoras e níveis de pré-esforço adoptados

Nível	Cota [m]	Escora	Pré-esforço [kN/alinhamento]	% $F_{projecto}$
1	91,92	1 tubo Ø711,2/20	500	50
2	86,67	2 tubos Ø812,8/20	2000	40
3	81,77	2 tubos Ø812,8/20	2000	40

Foram considerados três níveis de escoras, coincidindo estes níveis com as zonas superiores da escavação. Todos os elementos foram dimensionados sem a consideração de qualquer travamento vertical ou horizontal intermédio, facilitando os trabalhos de escavação e execução das estruturas definitivas. Na Figura 4 é apresentada a pormenorização adoptada para o sistema de aplicação do pré-esforço no sistema de escoramento.

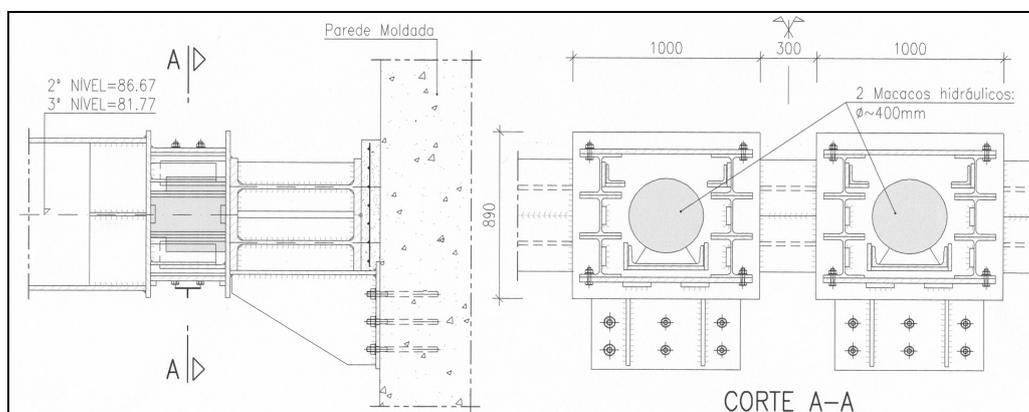


Figura 4 – Pormenores de aplicação do pré-esforço nas escoras

3.3 Injecções de impermeabilização

Nos troços da contenção periférica onde se preconizou a execução de paredes moldadas recalçadas e paredes do tipo “Berlim”, considerou-se previsível a ocorrência de significativas aflúências de água que, caso não se tomassem medidas correctivas, iriam dificultar bastante a execução da obra. Para além deste aspecto, procurou-se sobretudo, dada a proximidade dos edifícios na envolvente da escavação, garantir o menor rebaixamento possível do nível freático no exterior do recinto.

Nestas circunstâncias, considerou-se ajustado proceder à realização de um tratamento do maciço por injecções de calda de cimento, de modo a reduzir a permeabilidade do maciço e, conseqüentemente, os caudais afluentes durante as escavações. Este tratamento consistiu nos seguintes trabalhos de injecção:

- injecções de impermeabilização para a execução das paredes do tipo “Berlim”, realizadas a partir de furos situados a 1 m do tardo da contenção periférica, tendo o objectivo de formar uma cortina de impermeabilização no maciço granítico rijo e fracturado, de maneira a reduzir os caudais afluentes durante as escavações (tratamento T1 indicado na Figura 5);
- injecções de impermeabilização, executadas nos troços onde não foi possível a realização integral das paredes moldadas previstas no projecto original (PMI), criando desta forma uma cortina de impermeabilização, de modo a controlar a percolação de água através do fundo da escavação (tratamento T2 indicado na Figura 5);
- injecções de ligação e colagem, executadas após a realização das sapatas das paredes moldadas recalçadas e das paredes do tipo Berlin, materializando a colagem betão-rocha e a ligação das cortinas superior e inferior (tratamento T3 indicado na Figura 5).

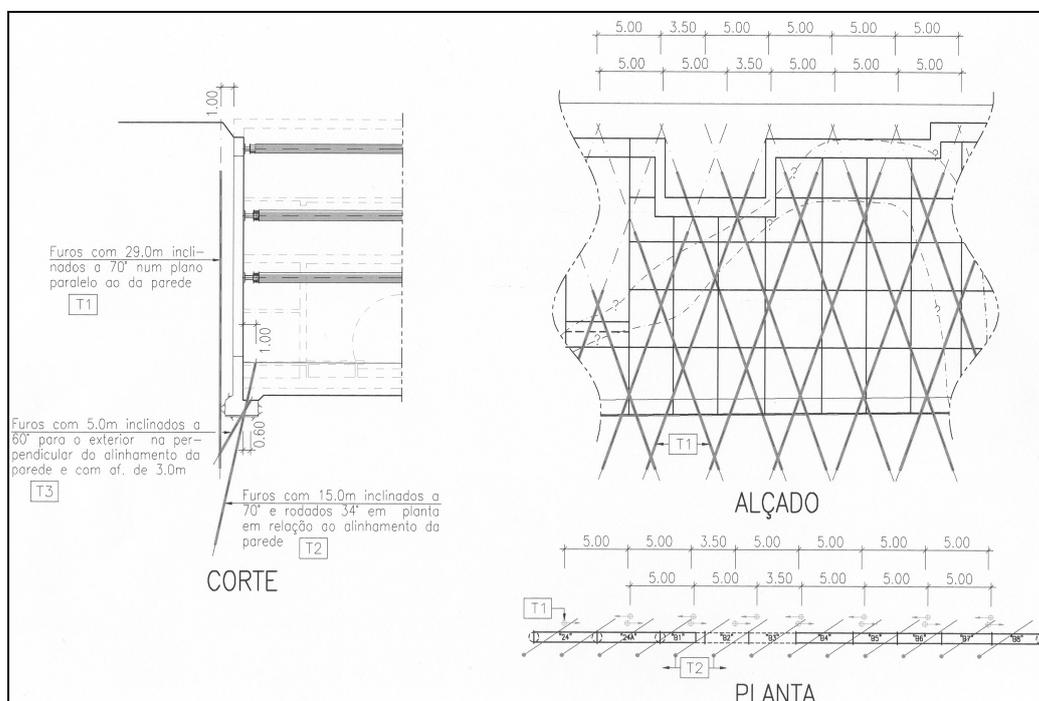


Figura 5 – Definição do tratamento de impermeabilização com injecções

Adicionalmente, previu-se a execução de injecções no topo Norte da estação com o objectivo de consolidar e impermeabilizar o maciço situado na zona de emboquilhamento da tuneladora.

3.4 Consolidação e impermeabilização dos topos da estação

De acordo com a programação inicial dos trabalhos, a passagem da tuneladora pela Estação 24 de Agosto estava prevista ocorrer apenas após a conclusão da escavação do recinto, prevenindo-se o seu “desemboquilhamento” no topo Sul da estação e posterior emboquilhamento no topo Norte. Desta forma, foi necessário prever a execução, a partir da superfície e previamente à passagem do escudo, um conjunto de trabalhos de tratamento dos emboquilhamentos.

Estes trabalhos destinaram-se, por um lado, a criar condições de contenção provisória, para que à medida que avançava a escavação no interior da estação, se garantissem as condições de estabilidade local dos terrenos e se controlassem as condições de acesso de água ao interior do recinto escavado e, por outro lado, conferir ao terreno localizado nas imediações das paredes de topo da estação, suficiente resistência e rigidez, por forma a se assegurar um comportamento adequado em face das deformações induzidas, quer pela execução da estação, quer pela passagem do escudo.

Em face da natureza do maciço interessado considerou-se que, no topo Sul, a solução mais ajustada seria a de criar um rolhão de jet grouting no tardo das paredes de topo da estação, tal como representado na Figura 6, funcionando como uma estrutura monolítica, enquanto que no topo Norte, o tratamento com jet grouting serviria apenas como complemento ao tratamento com injeções entretanto efectuado.

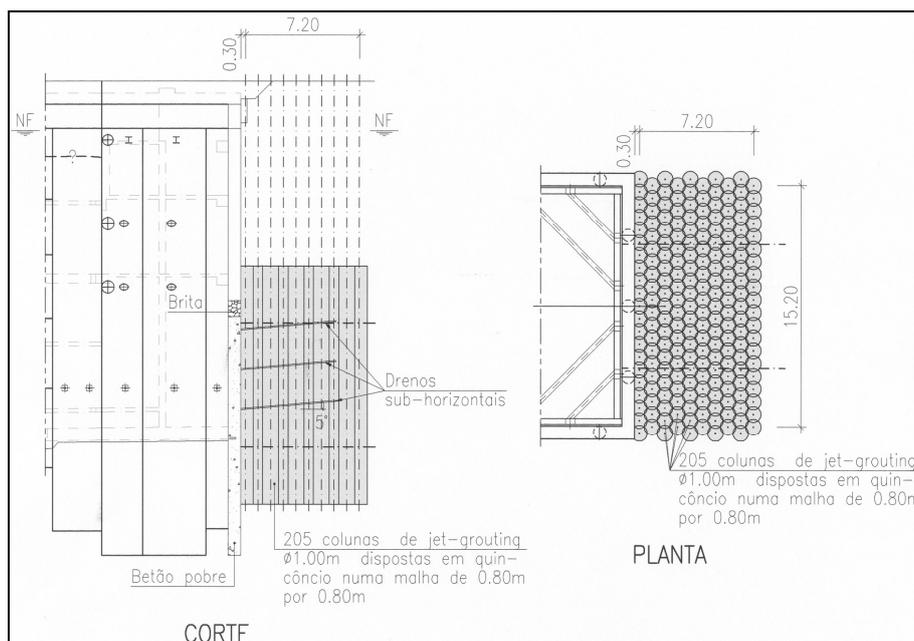


Figura 6 – Consolidação e impermeabilização do topo Sul

4. MODELAÇÃO E DIMENSIONAMENTO

A análise do comportamento do terreno e da sua interacção com as estruturas de contenção foi efectuada pelo método dos elementos finitos, recorrendo ao programa de cálculo automático PLAXIS.

Pretendendo-se, para além da validação das soluções concebidas, obter uma estimativa dos deslocamentos provocados pelos trabalhos de escavação do recinto da estação, considerou-se, para as classes geotécnicas do Horizonte A, constituídas por aterros e solos residuais, que o

maciço apresenta um comportamento elásto-plástico, modelado através da consideração do modelo constitutivo “Hardening-Soil model” do programa PLAXIS. Este modelo, de entre as várias particularidades que o tornam bastante superior aos modelos elásticos perfeitamente plásticos mais utilizados, permite, quer a consideração de uma curva hiperbólica para a relação tensão-deformação, quer a consideração das trajectórias de tensões experimentadas pelo solo, através da definição de parâmetros de deformabilidade em regime elástico, correspondentes a situações de descarga ou recarga. Para as classes geotécnicas localizadas na zona inferior da escavação, correspondentes ao maciço rochoso, considerou-se um comportamento elástico perfeitamente plástico com critério de rotura de Mohr–Coulomb.

Tendo em consideração a existência do nível freático muito próximo da superfície do terreno, foram efectuadas várias análises, nas quais se consideraram situações limites de rebaixamento, conduzindo os rebaixamentos mínimos a esforços máximos nas paredes e o inverso a assentamentos máximos na superfície do terreno. As análises do rebaixamento do nível freático e dos caudais máximos previstos foram efectuadas recorrendo ao programa SEEP/W, tendo-se considerado, para as cortinas de injeção, três valores de permeabilidade localizados no intervalo de $5,0 \times 10^{-7}$ m/s a $1,0 \times 10^{-6}$ m/s. O rebaixamento máximo obtido nos cálculos foi de cerca de 5,0 m.

Tendo em conta as três soluções tipo de contenção estabelecidas, de modo a simular todas as situações limite possíveis de ocorrer, foram realizados vários cálculos, salientando-se o facto de ter sido considerada uma rigidez para o sistema de escoramento correspondente a 80% da sua rigidez teórica e que, nas paredes moldadas recalçadas, de modo a procurar simular o efeito tridimensional do faseamento de execução dos painéis tipo “Berlim”, considerou-se, numa primeira fase associada à escavação, apenas um alívio parcial das tensões, e, numa segunda fase, a execução simultânea do painel e a colocação em serviço das ancoragens.

O alívio a adoptar foi analisado e calibrado na óptica dos seus efeitos, quer nos deslocamentos, quer nos esforços, correspondendo aumentos nestes, a limites opostos do parâmetro controlador do alívio, tendo-se obtido envolventes dos resultados com base em valores razoáveis do mesmo.

Na Figura 7 apresentam-se os principais resultados obtidos nas várias simulações efectuadas, em termos de deslocamentos da parede e da superfície do terreno no seu tardoz, verificando-se que os deslocamentos obtidos foram bastante reduzidos, $\delta_{h,max} = 10$ mm e $\delta_{v,max} = 5$ mm, correspondendo a relações de $\delta_{h,max}/H = 0,04\%$ e de $\delta_{v,max}/H = 0,02\%$.

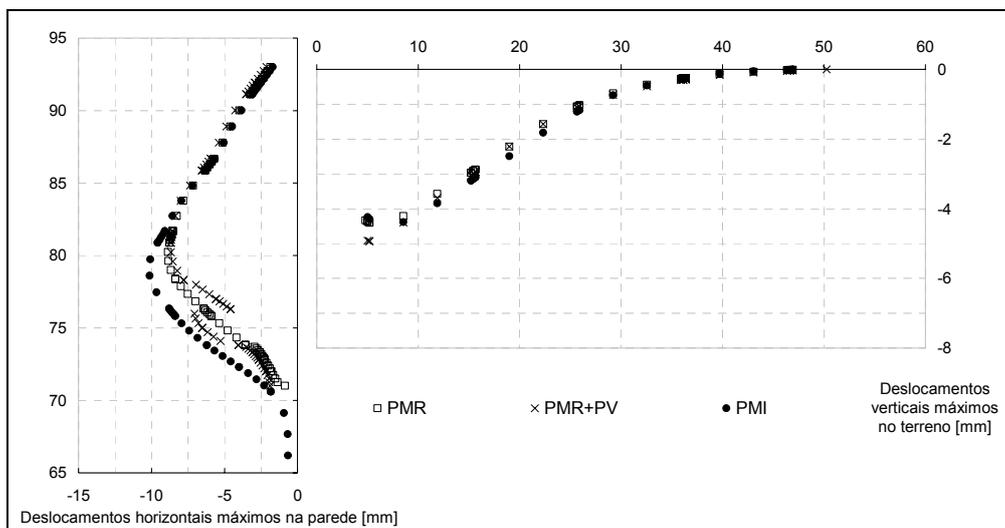


Figura 7 – Deslocamentos estimados para as várias soluções

As análises efectuadas permitiram obter os esforços nas paredes e nos vários elementos de suporte e os deslocamentos associados à escavação, permitindo, desta forma, estabelecer os diferentes níveis de alerta do plano de observação da obra.

5. PLANO DE OBSERVAÇÃO

Tendo em vista a observação e o controlo do comportamento das paredes de contenção e do terreno envolvente, preconizou-se a instalação da seguinte instrumentação:

- 32 marcas topográficas de superfície;
- 3 calhas inclinométricas seladas em furos de sondagem para observação dos deslocamentos horizontais do maciço em profundidade;
- 1 calha inclinométrica embebida num painel de parede moldada para observação dos deslocamentos horizontais na parede Oeste junto ao edifício 17, apontado como o edifício mais crítico;
- 9 piezómetros do tipo Casagrande para acompanhamento da posição do nível freático e 4 piezómetros do mesmo tipo executados no interior do recinto, de modo a observar os gradientes hidráulicos ocorrentes no fundo da escavação;
- 10 células eléctricas para controlo da evolução do pré-esforço nas ancoragens;
- 72 extensómetros eléctricos com leitura de temperatura para controlo dos esforços nas escoras metálicas;
- 12 barras extensiométricas sem leitura de temperatura para controlo dos esforços nas armaduras das paredes de contenção.

A frequência das leituras dos diferentes dispositivos foi relacionada com o ritmo de construção, tendo-se preconizado, no mínimo, leituras semanais e logo após a execução de cada fase de escavação que antecedia a colocação do respectivo nível de ancoragens ou de escoramentos.

Tendo em consideração que a observação da instrumentação no decurso da obra tem por objectivo principal verificar a adequabilidade do processo construtivo preconizado às reais condições geológico-geotécnicas, através da comparação das leituras efectuadas com os resultados obtidos na modelação numérica realizada na fase de projecto, foram definidos os valores limite das grandezas instrumentadas, bem como as medidas a desenvolver caso se registassem valores anómalos.

Para além desta instrumentação, destinada a acompanhar o comportamento da estrutura de contenção e do terreno envolvente, foi definido um apertado sistema de observações dos edifícios envolventes, constituído por alvos topográficos, clinómetros, réguas de nivelamento e fissurómetros.

6. CONCLUSÕES

Apresentou-se a concepção geral do projecto da Adaptação do Projecto de Escavação e Contenção Periférica da Estação 24 de Agosto, salientando-se os vários condicionamentos que conduziram à adopção das diversas soluções desenvolvidas. Foi dada especial atenção aos aspectos particulares do projecto, nomeadamente o recurso a um sistema de escoramento que permitiu a introdução de pré-esforço nas escoras e a realização de injeções de impermeabilização e consolidação do maciço rochoso interessado aos trabalhos de escavação e localizado abaixo da cota final de escavação, procurando materializar uma cortina impermeável que substituísse o efeito das paredes moldadas.

Da descrição apresentada, conclui-se que o principal condicionamento que levou à necessidade da alteração da solução foi a constatação de um cenário geológico-geotécnico distinto do estimado no projecto original. Com a informação disponível, apesar de não se ter reconhecido na prospecção inicial o maciço granítico menos alterado muito próximo da superfície, considera-se que a solução original não era claramente a mais indicada para as condições geológico-geotécnicas ocorrentes. Esta conclusão vem reforçar as recomendações para a concepção de soluções de contenção neste tipo de dispositivo geológico-geotécnico, nomeadamente, a importância da realização de uma prospecção mais refinada que o habitual, procurando despistar a grande heterogeneidade do maciço, e a preocupação de estudar o mesmo na óptica da sua escavabilidade em relação à capacidade do equipamento disponível.

Os vários cálculos realizados recorrendo ao método dos elementos finitos foram fundamentais na definição dos critérios de alerta dos vários instrumentos instalados para controlo do comportamento da obra, tendo o plano de observação preconizado revelado ser absolutamente fulcral para a interpretação dos deslocamentos observados durante a obra.

Os resultados da instrumentação instalada, quer na estrutura de contenção e no terreno, quer nos edifícios localizados na envolvente da obra, são apresentados por *Conceição et al.* [4], onde se procurou relacionar as actividades desenvolvidas em obra com os deslocamentos observados.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Metro do Porto e à Transmetro a autorização concedida para a elaboração deste trabalho e utilização da informação nele contida.

8. REFERÊNCIAS

- [1] Cenor (2002). *Estação 24 de Agosto – Adaptação do Projecto de Escavação e Contenção Periférica*.
- [2] Normetro (2000). *Relatório Técnico. Relatório geotécnico-geomecânico geral dos troços enterrados (Linhas C, S e ramal de ligação C-S)*.
- [3] Kutzner, C. (1985). *Considerations for Rock Permeability and Grouting Criteria*. 15ème Congrès des Grands Barrages, Lausanne, Q58-R17, pp. 315-328.
- [4] Conceição, M. F. M., Cardoso, A. M. C., Baião, C. J. O., Brito, J. A. M. (2006). *Estação 24 de Agosto do Metro do Porto. Influência de aspectos executivos no comportamento da escavação*. 10º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa.