

ESTAÇÃO 24 DE AGOSTO DO METRO DO PORTO. INFLUÊNCIA DE ASPECTOS EXECUTIVOS NO COMPORTAMENTO DA ESCAVAÇÃO

24 AUGUST STATION OF THE METRO DO PORTO. EXCAVATION BEHAVIOR AND THE INFLUENCE OF CONSTRUCTION PROCEDURES

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*, cbaiiao@cenorgeo.pt
Brito, José A. Mateus, Cenorgeo, *Lisboa, Portugal*, mbrito@cenorgeo.pt

RESUMO

Descrevem-se as principais actividades desenvolvidas em obra e os aspectos que se consideram mais interessantes resultantes do seu acompanhamento, apresentando-se, simultaneamente, os principais resultados obtidos na instrumentação instalada para controlo do comportamento da obra no decurso dos trabalhos de escavação e dos edifícios localizados na sua envolvente, fazendo-se ainda referência aos ajustes e calibrações dos limites de alerta estabelecidos para os dispositivos de observação instalados, os quais permitiram o normal avanço dos trabalhos. Estes resultados são analisados de uma forma global, numa tentativa de estabelecer possíveis relações causa/efeito entre alguns aspectos executivos e os deslocamentos experimentados pelas edificações envolventes à obra, procurando ainda enquadrá-los no contexto geológico-geotécnico da obra.

ABSTRACT

The most interesting construction aspects of the excavation phase and the results of the field and edifications monitoring plan are described, referring the work of interpreting all the data and making all the necessary adjustments and calibration of the limits established to the different instruments, allowing the normal continuation of the excavation. It will also be made an approach to the establishment of possible cause/effect relations between some of the construction procedures and the displacements imposed to the surrounding buildings, trying simultaneously to relate them to the geological-geotechnical context.

1. INTRODUÇÃO

No trabalho de Conceição *et al.* [1] foi apresentado o projecto de adaptação do sistema de contenção periférica da Estação 24 de Agosto, localizada no Campo com o mesmo nome, a qual se insere na Linha Azul do Metro Ligeiro do Porto.

Neste trabalho são descritas algumas das principais actividades realizadas em obra, dando-se especial atenção às que resultaram em deslocamentos significativos à superfície, nomeadamente nos edifícios localizados na envolvente da escavação. Descrevem-se, ainda, as actividades de acompanhamento e interpretação dos dados obtidos no vasto sistema de observação instalado, as quais resultaram num constante ajuste e calibração dos limites de alerta estabelecidos, permitindo, desta forma, o normal desenrolar dos trabalhos em obra.

São ainda apresentados e analisados vários resultados de toda a instrumentação instalada, tendo-se procurado estabelecer relações causa/efeito entre algumas das actividades realizadas em obra e os deslocamentos registados, sobretudo nos edifícios envolventes, os quais experimentaram importantes assentamentos e rotações durante o período de execução dos trabalhos.

2. DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS ACTIVIDADES DESENVOLVIDAS EM OBRA

2.1 Histórico das actividades desenvolvidas em obra

Tendo como objectivo, para além da descrição dos trabalhos com particular interesse desenvolvidos em obra, procurar estabelecer relações causa/efeito entre estes e os deslocamentos experimentados, quer pela estrutura de contenção e o terreno envolvente, quer pelas edificações mais próximas do recinto a escavar, foram definidos seis períodos de tempo distintos, correspondendo cada um desses períodos a actividades específicas em obra [2], das quais resultaram diferentes comportamentos do conjunto estrutura-terreno-edifícios. Esta organização temporal das diferentes actividades realizadas durante os períodos considerados é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Histórico das actividades desenvolvidas em obra

Período	Descrição	Actividades desenvolvidas
I (até 26/02/2002)	Período anterior ao início dos trabalhos de escavação do recinto	<ul style="list-style-type: none"> – Execução das paredes moldadas a partir da cota inicial do terreno, 95,60 m – Furação para execução dos perfis metálicos verticais nos painéis PMR+PV – Tratamentos do terreno com jet-grouting nos topos da estação – Realização das injeções de impermeabilização do maciço rochoso
II (26/02/2002 até 15/05/2002)	Escavação do recinto até à passagem da TBM (cota 87,0 m)	<ul style="list-style-type: none"> – Escavação até às cotas 87,0 m, na zona central, e 91,0 m, junto às paredes de contenção, execução dos painéis tipo “Berlim” e colocação do sistema de suporte – Passagem da tuneladora pelo recinto da estação
III (15/05/2002 até 08/09/2002)	Escavação do recinto até à cota 80,0 m	<ul style="list-style-type: none"> – Escavação até à cota 80,0 m e colocação dos sistemas de suporte – Conclusão dos trabalhos de impermeabilização do maciço rochoso através de injeções
IV (08/09/2002 até 12/02/2003)	Suspensão dos trabalhos de escavação	<ul style="list-style-type: none"> – Conclusão da execução dos painéis tipo “Berlim” do nível a que se encontrava a escavação – Recalçamento do edifício 19 – Reforço das aduelas do túnel no interior da estação e início do rebaixamento do nível freático a partir do interior do túnel
V (12/02/2003 até 23/06/2003)	Escavação do recinto até à cota de fundo (70,0 m)	<ul style="list-style-type: none"> – Escavação até à cota 70,0 m, execução dos painéis tipo “Berlim” e colocação dos sistemas de suporte – Demolição das aduelas do túnel no interior do recinto
VI (a partir de 23/06/2003)	Desactivação das escoras e das ancoragens e execução das estruturas internas	<ul style="list-style-type: none"> – Execução das estruturas internas e desactivação dos elementos de suporte da estrutura de contenção

2.2 Período I – Período anterior ao início dos trabalhos de escavação do recinto

A obra da Estação 24 de Agosto teve o seu início no ano 2000, tendo o projecto de Adaptação do Projecto de Escavação e Contenção Periférica, solicitado pela Transmetro S.A. após a constatação da impossibilidade de materialização das paredes moldadas até à cota do projecto inicial, sido concluído apenas em Julho de 2001. Este projecto foi elaborado em paralelo com a execução dos trabalhos em obra, nomeadamente com a realização dos painéis de parede moldada até se verificar o esgotamento da capacidade do equipamento [1]. Em Novembro de 2001 foi solicitada ao projectista uma assessoria geotécnica à obra, encontrando-se a partir dessa data um engenheiro da equipa projectista em permanência na obra.

Durante o primeiro período considerado, até ao início dos trabalhos de escavação em Fevereiro de 2002, foram observados deslocamentos muito significativos nos edifícios localizados na envolvente, sobretudo junto à parede Oeste, onde as edificações se encontravam muito próximas da estrutura de contenção. Na Figura 1 apresentam-se os deslocamentos sofridos pelo edifício 18 durante este período, registados num dos alvos ópticos instalado ao nível do segundo piso. Refere-se que este edifício, localizado no alinhamento de um dos perfis de observação instalados e onde se registaram os maiores deslocamentos [1], será utilizado como referência para as análises efectuadas ao longo deste trabalho.

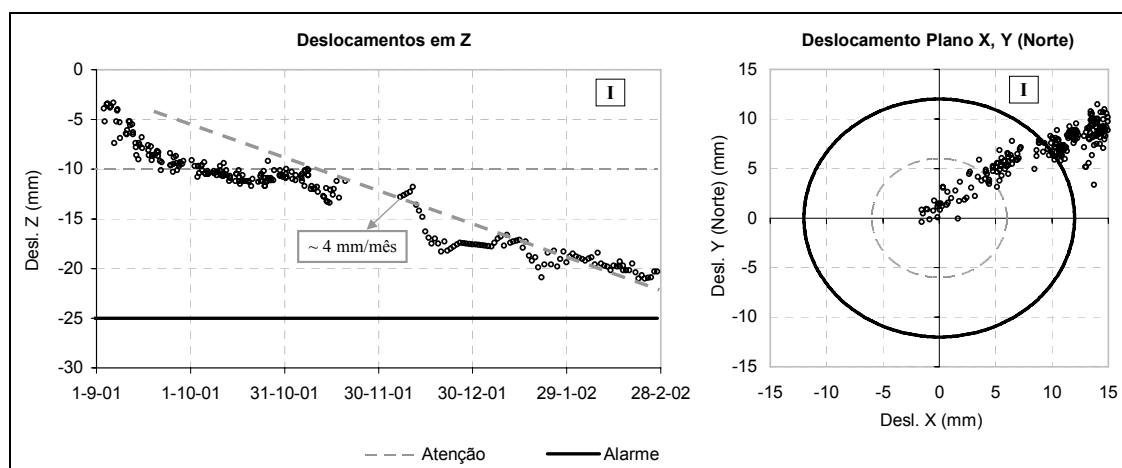


Figura 1 – Deslocamentos registados no edifício 18 no período I

Várias razões foram apontadas para a justificação destas ocorrências, procurando-se de imediato identificar a principal origem destes deslocamentos, os quais estavam a provocar danos não desprezáveis, sobretudo nos edifícios 17 a 22 [1], tendo-se analisado os seguintes aspectos decorrentes das actividades desenvolvidas em obra: vibrações causadas pelo uso do trépano para a escavação dos painéis de parede moldada; vibrações causadas pelo equipamento de furação para a execução dos perfis metálicos nos painéis de recalçamento e das paredes tipo “Berlim”; vibrações causadas pelo equipamento de furação para a execução das injeções de impermeabilização do maciço rochoso.

Para o efeito, foram efectuadas leituras das vibrações provocadas nos edifícios durante os trabalhos de trepanagem e durante o processo de furação para execução dos perfis metálicos e das injeções de impermeabilização, tendo-se procedido, ainda, a uma análise cuidada da informação existente sobre a execução das injeções, nomeadamente os consumos de cimento por manchete e as respectivas pressões de injeção.

Da análise de toda a informação recolhida, constatou-se que as vibrações (relação velocidade/frequência) provocadas nos edifícios instrumentados pela realização da furação à rotopercussão para execução dos perfis metálicos e das injeções, com recurso a martelo de superfície, se localizavam bastante acima dos valores limite estabelecidos como critério de segurança para o tipo de edifícios existentes no lado Oeste da estação.

Apesar dos valores registados nos vibrómetros indicarem claramente que a vibração causada pelo equipamento de furação poderia estar associada ao aparecimento de fissuras e inclusivamente a danos funcionais nos edifícios, tendo em consideração os elementos disponíveis, não era possível afirmar com absoluta certeza se os assentamentos registados estariam relacionados com as mesmas vibrações. Estes poderiam, por exemplo, estar relacionados com os deslocamentos provocados pela execução dos painéis de parede moldada, os quais apresentavam larguras máximas de 5 m, existindo casos documentados onde foram registados assentamentos superiores a 2,5 cm a pequenas distâncias do tardo das paredes [3][4]. Não obstante, considerou-se que as tecnologias de furação utilizadas em obra poderiam estar a provocar fenómenos de adensamento dos saibros mais descomprimidos, em particular junto à superfície do terreno, promovendo o seu assentamento e, em consequência, os deslocamentos registados nos edifícios 17 a 22.

No sentido de reduzir as vibrações provocadas pelos trabalhos de furação, foram analisadas e ponderadas várias soluções alternativas, tendo-se estabelecido os seguintes procedimentos e orientações:

- substituição imediata da tecnologia de furação utilizada na execução dos furos dos trabalhos de injeção, passando a ser utilizada a tecnologia de furação à rotação com coroa diamantada, semelhante à usual na realização das sondagens de prospecção;
- uma vez que na furação à rotopercussão se estava a utilizar um martelo de superfície, com percussão à cabeça, após a realização de um ensaio para medição das vibrações provocadas pela furação realizada à rotopercussão utilizando um martelo de fundo de furo, e de se ter verificado que as vibrações provocadas por esta tecnologia também não se enquadravam dentro dos limites estabelecidos, foi adoptada a tecnologia de furação à rotação usual na realização de estacas moldadas, para a execução dos perfis metálicos de recalçamento dos painéis de parede moldada e dos perfis verticais metálicos na parede tipo Berlim do lado Oeste.

Após a conclusão dos trabalhos incluídos neste período, atendendo aos deslocamentos já ocorridos, os quais contribuíram para o agravamento do estado bastante degradado dos edifícios, procedeu-se a um novo cálculo dos respectivos índices de vulnerabilidade (I_v). Deste modo, devido ao natural agravamento dos referidos índices, foram revistos os limites de atenção e de alarme a respeitar na monitorização dos edifícios, tendo-se procedido a uma “zeragem” da instrumentação dos edifícios aquando do início dos trabalhos de escavação. A descrição da metodologia para determinação do índice I_v já foi apresentada, por exemplo, por Portugal *et al.* [5].

2.3 Período II – Escavação do recinto até à passagem da TBM (cota 87.0 m)

Neste período, de cerca de três meses, limitado pela passagem da TBM, foram efectuados os trabalhos de escavação no interior do recinto da estação até às cotas 87,0 m e 91,0 m, na zona central e junto às paredes de contenção, respectivamente, correspondendo à colocação em serviço do primeiro nível de escoras e de ancoragens. Na Figura 2 apresentam-se aspectos da colocação das escoras e dos macacos hidráulicos para aplicação do pré-esforço. Refere-se,

ainda, que, na parede Este, zona onde o maciço rochoso aflorante ocorre a cotas mais próximas da superfície, se iniciaram nesta fase os trabalhos de execução de painéis “tipo Berlim”.

Os deslocamentos registados durante este período foram muito pouco significativos, sendo, no entanto, interessante salientar dois aspectos particulares, associados aos deslocamentos verticais induzidos à superfície do terreno pela passagem da tuneladora e à recuperação dos deslocamentos horizontais da estrutura de contenção devida à introdução do pré-esforço nas escoras.



Figura 2 – Instalação das escoras e do macaco hidráulico para aplicação do pré-esforço

Estes aspectos estão patentes na Figura 3, onde se apresentam os resultados dos assentamentos registados no edifício 18, verificando-se uma menor taxa dos assentamentos quando comparada com a que consta na Figura 1, sendo visível o reduzido efeito associado à passagem da tuneladora. Os deslocamentos horizontais registados num inclinómetro instalado no tardo das paredes moldadas do lado Oeste, junto ao referido edifício, revelaram a recuperação completa dos mesmos na parede após a aplicação do pré-esforço no primeiro nível de escoramento.

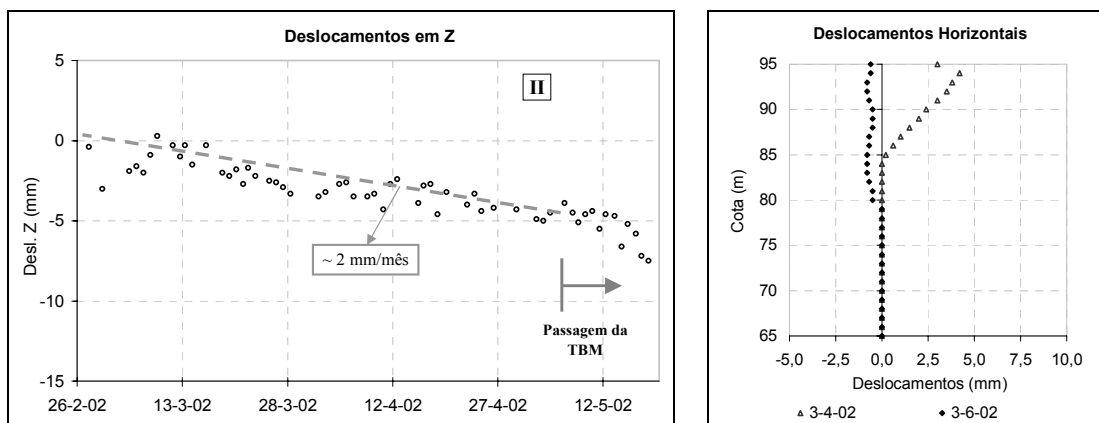


Figura 3 – Assentamentos registados no edifício 18 e deslocamentos horizontais medidos no tardo da parede Oeste no período II

2.4 Período III – Escavação do recinto até à cota 80,0 m

Após a passagem da tuneladora, prosseguiram os trabalhos de escavação até à cota 80,0 m, concluindo-se a instalação dos três níveis de escoramento, altura em que ocorreu a suspensão dos trabalhos, a qual, embora associada a vários factores, se deveu sobretudo aos deslocamentos registados nos edifícios localizados junto à parede Oeste e aos danos por estes entretanto sofridos.

O outro factor que condicionou a suspensão dos trabalhos de escavação após atingida esta cota deveu-se ao facto de, ao contrário do inicialmente previsto no plano geral da empreitada, a tuneladora ter passado em escavação no recinto da Estação 24 de Agosto. Assim, e atendendo à posição dos trabalhos à data, foi necessário compatibilizar a escavação por realizar com o desmonte dos anéis do túnel, definindo-se um novo faseamento que previsse a realização simultânea destes dois importantes trabalhos. Esta situação será descrita mais adiante.

Durante este período, registaram-se significativos acréscimos dos deslocamentos experimentados pelos edifícios localizados junto à parede Oeste, os quais são ilustrados na Figura 4, utilizando-se novamente como referência o edifício 18, tendo-se ainda representado os assentamentos registados no edifício 19. Nessa figura é bem patente a clara tendência instabilizante dos assentamentos, os quais foram acompanhados por deslocamentos horizontais na parede de contenção, patentes nas leituras registadas no inclino-piezómetro I4-PE9 localizado em frente ao edifício 18.

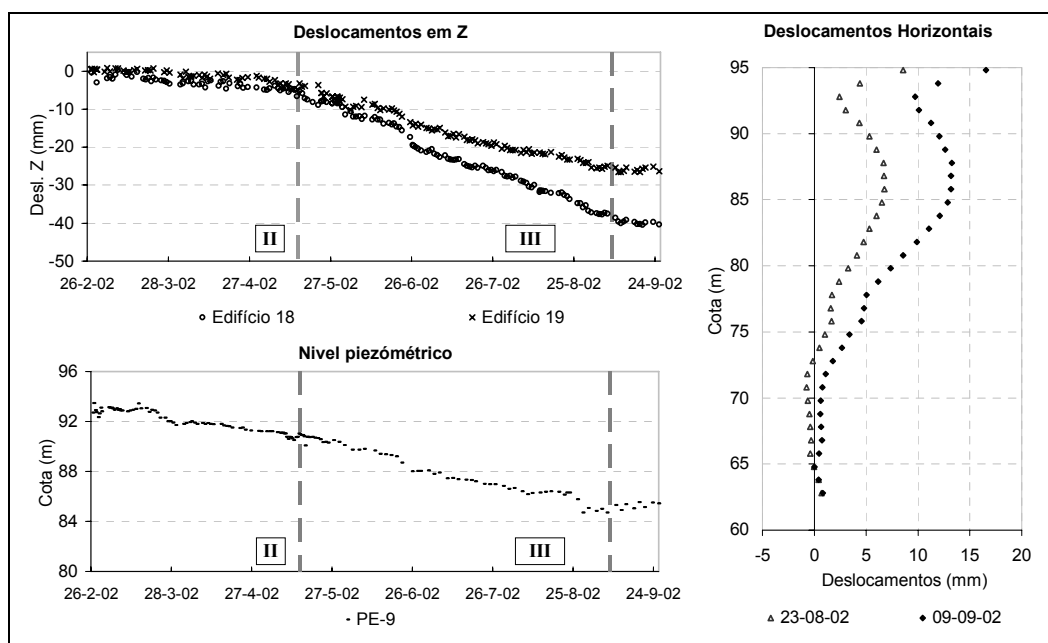


Figura 4 – Leituras da instrumentação localizada junto ao edifício 18 nos períodos II e III

Como se pode observar na Figura 4, os deslocamentos registados durante este período coincidem com uma importante descida do nível freático, cerca de 6,0 m, observada no inclino-piezómetro I4-PE9 localizado junto ao tardoz da parede de contenção.

Atendendo ainda às leituras apresentadas na Figura 4, verifica-se que, assumindo que os deslocamentos verticais medidos nos edifícios correspondem aos assentamentos verificados no tardoz das paredes, se obtém uma relação entre estes e os deslocamentos horizontais máximos da cortina de $\delta_v/\delta_h=3$, relação esta significativamente superior às referidas na bibliografia da

especialidade de cerca de 0,5 a 1[6]. Este facto traduz claramente a importância da consolidação sofrida pelos solos residuais mais alterados existentes à superfície, devida ao aumento da tensão efectiva provocada pelo rebaixamento do nível freático, podendo ainda reflectir parte dos fenómenos verificados antes do início dos trabalhos de escavação (período I), nomeadamente os associados às vibrações inerentes aos diferentes processos executivos usados na obra, cujos efeitos poderiam ainda não ter estabilizado.

Refere-se que, na fase de projecto, foram estimados valores bastante reduzidos para os assentamentos associados ao fenómeno de consolidação dos solos residuais, uma vez que, por um lado, com as soluções adoptadas, se procurou garantir o menor rebaixamento possível do nível freático no exterior do recinto e, por outro, atendendo aos rebaixamentos estimados, se considerou que a compressibilidade dos saibros seria bastante reduzida, tendo em conta as suas propriedades particulares conferidas pela sua estrutura cimentada.

Com efeito, no que respeita ao controlo do rebaixamento do nível freático, apesar de, na solução alternativa desenvolvida, a estrutura de contenção não ter ficha em trechos significativos do perímetro da estação, foi previsto um tratamento com injeções do maciço rochoso, tendo-se procurado inclusivamente a materialização, abaixo da cota de fundo da escavação, de uma cortina impermeável que garantisse o necessário aumento do caminho de percolação da água. Desta forma, tendo em consideração a permeabilidade estimada para o material tratado, o rebaixamento do nível freático obtido nos cálculos numéricos efectuados foi bastante reduzido [1].

No entanto, embora se considere que o tratamento realizado tenha sido bem sucedido no que diz respeito à garantia de condições para execução dos painéis de recalce, não tendo sido verificadas afluições significativas de água durante a sua escavação, admite-se a possibilidade de, abaixo da cota de fundo da estação, o tratamento efectuado não tenha sido suficientemente eficaz. De facto, durante os trabalhos foram medidos caudais bastante elevados provenientes das águas bombadas do fundo da escavação.

Ainda relacionado com este aspecto, refere-se que, no decorrer da obra, no âmbito da assessoria geotécnica prestada, se definiram alguns trabalhos complementares de modo a garantir a maior estanquidade possível às paredes de contenção. Destaca-se, pela sua importância, a realização de um tratamento com colunas de jet-grouting no tardo dos painéis da parede moldada a recalçar, na zona de transição entre o solo residual alterado e o substrato rochoso, criando uma barreira de protecção impermeável. Com efeito, foi possível constatar em obra significativas dificuldades na garantia do necessário encastramento dos painéis no maciço rochoso, situação que, caso não fossem implementadas as medidas já referidas, poderia resultar na criação de uma zona preferencial de passagem de água, podendo posteriormente, na fase de escavação, originar graves problemas de arraste de finos.

Apesar de todas as medidas implementadas para o controlo do rebaixamento do nível freático, verificou-se um rebaixamento significativo do mesmo no tardo das paredes de contenção, tudo indicando que terá sido esta a principal causa dos elevados assentamentos registados na instrumentação instalada nos edifícios.

Considera-se, no entanto, que o rebaixamento verificado não explica por si só os elevados assentamentos experimentados pelos edifícios localizados na envolvente do recinto, sugerindo, estes assentamentos, uma compressibilidade dos solos residuais bastante superior à expectável.

Julga-se que o aumento da compressibilidade destes materiais está relacionado com o facto do aumento da tensão efectiva associado ao rebaixamento do nível freático ter sido suficiente para que este solo, ou parte dele, nomeadamente a zona superficial mais alterada, ter atingido e

ultrapassado a sua “tensão de préconsolidação virtual” ou cedência estrutural, entrando na sua fase de comportamento metaestável, com um conseqüente aumento significativo da sua compressibilidade [7]. Especula-se ainda a possibilidade da quebra das ligações cimentícias do solo ter sido potenciada, ou em grande parte provocada, pelas vibrações resultantes dos processos executivos utilizados. Quaisquer conclusões adicionais e melhor suportadas sobre a causa para os assentamentos experimentados pelos edifícios requererem estudos complementares mais aprofundados.

2.5 Período IV – Suspensão dos trabalhos de escavação

Durante este período de suspensão dos trabalhos, em paralelo com os estudos complementares de interpretação dos assentamentos observados nos edifícios localizados junto à parede Oeste e que resultaram numa nova reanálise da categoria de risco e na definição dos parâmetros de controlo a respeitar nos últimos níveis de escavação, foi elaborado um plano de escavação para permitir a realização deste trabalho em simultâneo com o desmonte das aduelas do túnel.

Relativamente ao primeiro aspecto, as análises efectuadas conduziram à necessidade de se proceder ao recalçamento do edifício 19 e à realização de um estudo analítico para avaliação da capacidade resistente do edifício 20, do qual resultou a necessidade de se proceder ao reforço de alguns elementos estruturais.

No que diz respeito ao faseamento executivo, este teve de garantir, não só a estabilidade da estrutura do túnel a desmontar, como a da própria escavação da estação, tendo sido, ainda, necessário conceber uma sequência de trabalhos que fosse exequível e compatível com os prazos exigidos. Assim, concebeu-se uma estrutura de suporte, com a função de evitar a desarticulação dos referidos anéis na fase em que se procedia à escavação do terreno localizado sobre o túnel.

Esta estrutura, constituída por doze cambotas metálicas colocadas no interior do túnel na zona central da estação, localizadas nas juntas dos anéis, correspondendo a uma extensão total protegida de 15,4 m, permitiu, a partir da superfície do terreno no interior do recinto, a escavação e demolição de um trecho do túnel para criação de uma plataforma na zona central da estação, localizada cerca da cota 76,30 m. A criação desta plataforma possibilitou o ataque frontal, no sentido de ambos os topos da estação, da escavação necessária ao desmonte dos anéis do túnel em condições de segurança.

Um outro factor igualmente importante na análise da estabilidade dos anéis do túnel foi a possibilidade da sua flutuação. Assim, de modo a evitar este fenómeno, preveu-se a execução de um sistema de furos de alívio curtos, realizados na base do túnel, por forma a impedir a instalação de uma pressão hidrostática significativa. Durante este período, apesar de se terem concluído alguns painéis tipo “Berlim”, não se registaram deslocamentos significativos nos vários instrumentos instalados.

2.6 Período V – Escavação do recinto até à cota de fundo (70,0 m)

Após a fase anterior, em que as leituras haviam apresentado uma clara tendência para a estabilização, como resultado do rebaixamento do nível freático agora forçado a partir do interior das aduelas do túnel, voltaram-se a registar deslocamentos significativos, sobretudo assentamentos nos edifícios localizados no lado da parede Oeste.

Em termos de deslocamentos das paredes de contenção, não foram verificados aumentos significativos, mantendo-se o valor máximo registado muito aceitável, cerca de 15 mm, correspondente a uma relação $\delta_{h,m\acute{a}x}/H$ de 0,06%, valor que por si só indicaria um excelente comportamento da obra, facto que não se veio a constatar. Este bom comportamento da estrutura de contenção estará decerto associado a introdução de pré-esforço no sistema de escoramento. Na Figura 5 apresentam-se os resultados da instrumentação instalada junto ao edifício 18 até à conclusão da obra.

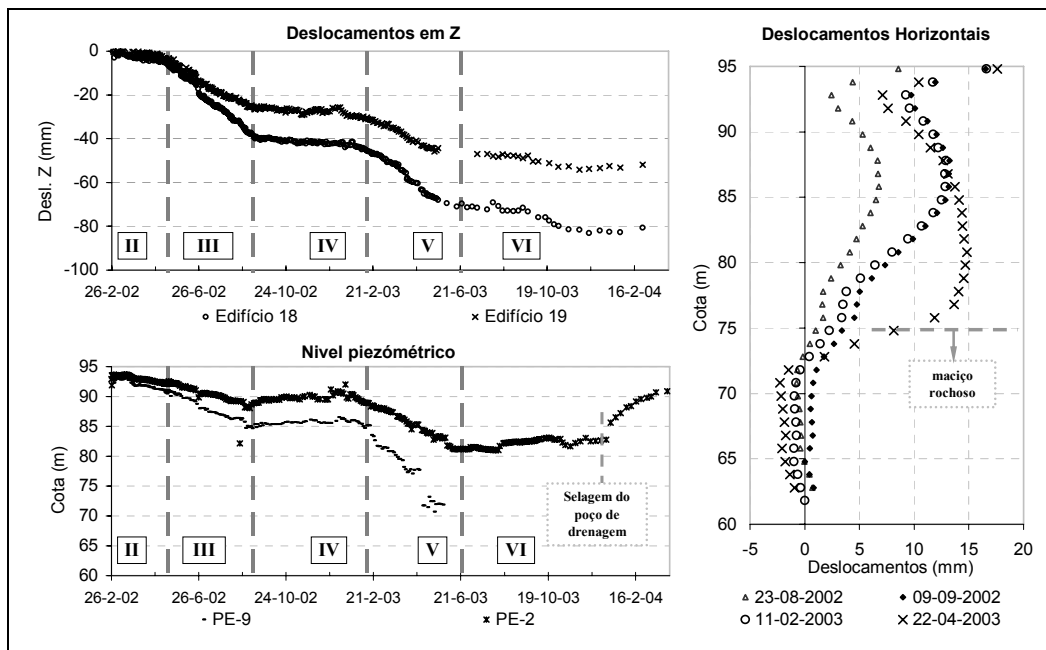


Figura 5 – Leituras finais da instrumentação localizada junto ao edifício 18

Relativamente aos resultados apresentados na Figura 5 podem ser tecidas algumas considerações. Refere-se, em primeiro lugar, o facto de, apesar de se ter procedido ao recalçamento do edifício 19, este ainda sofreu alguns assentamentos após a realização destes trabalhos, considerando-se que tal facto possa estar associado a deslocamentos relacionados com a transferência de cargas do edifício para os elementos verticais de recalce, constituídos por microestacas, e deformações intrínsecas destes elementos.

Em relação aos deslocamentos horizontais da estrutura de contenção, chama-se a atenção para o facto de ser possível identificar claramente a cota a que ocorria o maciço rochoso competente, verificando-se que esta coincide com o topo da zona que sofre deslocamentos praticamente nulos. No que diz respeito ao nível piezométrico, é facilmente perceptível o importante rebaixamento ocorrido nos últimos dois níveis de escavação (período V), o qual foi acompanhado por assentamentos adicionais nos vários edifícios. Na Figura 5 é ainda apresentado o nível freático registado no piezómetro PE-2, mais afastado da escavação, ao lado do edifício 17, sendo possível observar a recuperação do nível freático após a conclusão das estruturas internas da estação e da selagem do poço de bombagem na laje de fundo. Este poço apenas foi selado nesta altura, uma vez que a segurança à flutuação da estação só era garantida após a conclusão da maior parte das estruturas internas da mesma.

Embora não sejam apresentados os resultados relativos aos deslocamentos horizontais e às rotações das fachadas dos edifícios, refere-se que, como seria expectável, foram igualmente registadas rotações importantes das fachadas, referindo-se que no, edifício 18, se atingiu um deslocamento horizontal máximo de 25 mm, e aberturas de físsuras, tendo o estado dos vários

edifícios, ao longo de toda a fase de escavação, sido acompanhado de perto através de constantes vistorias e interpretação dos resultados da instrumentação, intervindo-se sempre que se considerou necessário.

Na Figura 6 são ilustradas duas fases executivas dos trabalhos de escavação dos dois últimos níveis de escavação, nomeadamente o desmonte das aduelas do túnel e a execução dos painéis de recalce das paredes moldadas, operações estas que, apesar dos vários constrangimentos resultantes da necessidade de executar estas duas tarefas em simultâneo, se desenrolaram de forma bastante satisfatória.



Figura 6 – Desmonte das aduelas do túnel e recalce das paredes moldadas

Embora não seja objectivo deste trabalho entrar em grande detalhe no que diz respeito ao comportamento do sistema de escoramento pré-esforçado utilizado, tratando-se de um sistema pouco utilizado no nosso país e que se revelou muito eficaz no controlo dos deslocamentos da estrutura de contenção, apresenta-se na Figura 7 o plano de monitorização instalado neste sistema e o resultado de uma das secções instrumentadas com extensómetros para controlo das tensões desenvolvidas nas escoras. Estas leituras foram efectuadas com medição constante da temperatura, permitindo as necessárias correcções para uma análise adequada do seu comportamento ao longo de toda a escavação.

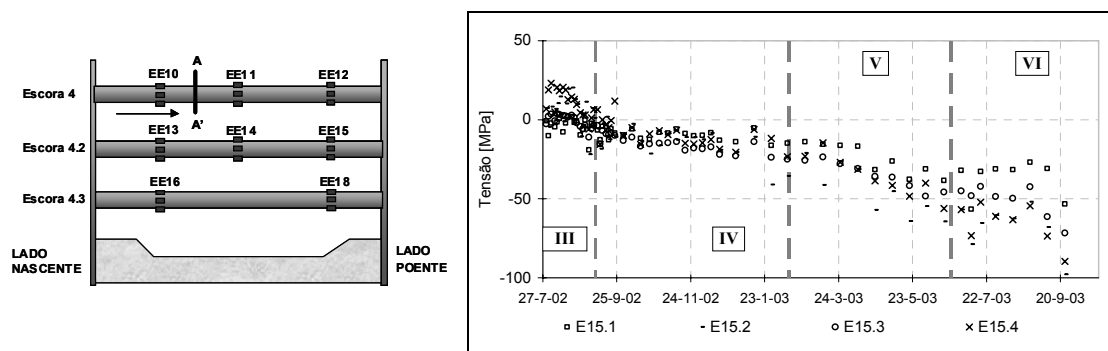


Figura 7 – Instrumentação instalada nas escoras e registos numa das escoras do 2º nível

Na Figura 8 apresentam-se duas vistas da obra após atingido o fundo da escavação, sendo bem perceptível na segunda a grande proximidade desta aos edifícios circundantes.



Figura 8 – Interior do recinto após atingida a cota de fundo da escavação e vista aérea correspondente

2.7 Período VI – Desactivação das escoras e das ancoragens e execução das estruturas internas

Após a conclusão dos trabalhos de escavação foi necessário coordenar a subida das estruturas internas com a desactivação do sistema de escoramento, tendo sido avaliados os possíveis acréscimos de esforços, quer no sistema de escoramento, quer nas paredes de contenção.

Como se pode observar da análise da Figura 5, durante esta fase dos trabalhos ainda foram registados alguns acréscimos de deslocamentos à superfície do terreno, deslocamentos estes expectáveis, não só pela continuação do processo de consolidação dos solos residuais, bem como pelas transferências de cargas dos elementos de suporte provisórios para os vários elementos estruturais da estação e, ainda, devidos a possíveis fenómenos de retracção nas lajes dos vários pisos. Tal como já referido, para garantia da segurança à flutuação da estação e da segurança estrutural da laje de fundo, só após a conclusão da laje de cobertura e da respectiva transferência das cargas para a laje de fundo através dos pilares, foi possível selar definitivamente o poço de bombagem, iniciando-se apenas, a partir desta altura, a recuperação do nível freático local. Esta recuperação é bem patente no gráfico do piezómetro PE-2 apresentado na mesma figura, constatando-se, ainda, que não foi acompanhada por qualquer recuperação dos assentamentos experimentados pelos edifícios.

3. CONCLUSÕES

Apresentaram-se os resultados obtidos na instrumentação instalada para controlo do comportamento da estrutura de contenção e dos edifícios localizados na envolvente da Estação 24 de Agosto, tendo-se procurado interpretar os mesmos, no sentido de estabelecer possíveis relações causa/efeito com alguns aspectos executivos e as actividades desenvolvidas em obra. Com base nos resultados e análises apresentadas neste trabalho foi possível retirar as seguintes conclusões:

- Tendo-se já concluído que a solução original não era claramente a mais indicada para o cenário geológico-geotécnico ocorrente, constatou-se agora que, o próprio processo construtivo de execução das paredes moldadas, resultou em deslocamentos importantes provocados à superfície. De facto, para o edifício analisado ao longo deste trabalho, os assentamentos registados durante os trabalhos de execução das paredes moldadas foram de cerca de 30% dos observados durante a escavação e 20% do total. A principal razão

apontada para este facto foram as vibrações associadas aos processos construtivos, tendo as furações necessárias para os trabalhos de recalce e tratamento do maciço agravado significativamente os efeitos sentidos nos edifícios;

- As medidas adoptadas no projecto para evitar um rebaixamento significativo do nível freático foram insuficientes, tendo-se concluído que este acabou por ser determinante nos elevados assentamentos registados nos edifícios. Apesar desta constatação, é de realçar que este rebaixamento seria, de qualquer forma, inevitável, sendo necessário para a escavação em segurança dos últimos níveis, facto associado à passagem da TBM e à estabilidade dos anéis do túnel no interior da estação;
- O aumento da compressibilidade dos solos residuais, provocado pelo facto de se ter atingido e ultrapassado a sua “tensão de préconsolidação virtual” ou cedência estrutural, poderá ter sido a principal causa dos elevados assentamentos observados nos edifícios, considerando-se, ainda, que a variação da tensão efectiva associada ao rebaixamento do nível freático e a possível quebra das ligações cimentícias do solo originada pelas vibrações resultantes dos processos executivos utilizados, terão estado na origem deste fenómeno. Esta conclusão constitui uma importante recomendação para obras deste tipo a executar em solos residuais;
- Finalmente, salienta-se a extrema importância do plano de observação implementado e da assessoria geotécnica prestada à Transmetro S.A., no controlo, análise e interpretação do comportamento da obra ao longo do decurso dos trabalhos, tendo-se revelado elementos absolutamente fundamentais para a conclusão bem sucedida da obra.

4. AGRADECIMENTOS

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

5. REFERÊNCIAS

- [1] 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. Adaptação do projecto de escavação e contenção periférica*. 10º Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa.
- [2] Cardoso, A., Gonçalves, L., Baião, C., Gaspar, A. (2003). *Estação 24 de Agosto - Repercussões da sua construção nas edificações envolventes*. 1as Jornadas Hispano-Lusas sobre Obras Subterrâneas, Madrid, pp. 137-147.
- [3] Poh, T. Y., Wong, I. H. (1998). *Effects of construction of diaphragm wall panels on adjacent ground: Field trial*. Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering, August, pp. 749-756.
- [4] Poh, T. Y., Goh, A. T., Wong, I. H. (2001). *Ground movements associated with wall construction: Case histories*. Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering, December, pp. 1061-1069.
- [5] Portugal, J., Santo, A., Portugal, A. (2004). *Danos em edifícios induzidos por escavações*. 9º Congresso Nacional de Geotecnia, Aveiro, Volume II, pp. 123-132.
- [6] Puller, M. (1996). *Deep Excavations – a practical manual*, Thomas Telford.
- [7] Fonseca, A. J. P. V. (1996). *Geomecânica dos solos residuais do granito do Porto. Critérios de dimensionamento de fundações directas*. Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.