

TRATAMENTO DE TERRENO, COM RECURSO A INJECCÕES DE PERMEACÃO, FRACTURACÃO E COMPENSAÇÃO, ANTECEDENDO A PASSAGEM DA TUNELADORA - METRO DO PORTO – PORTUGAL

GROUND TREATMENT, WITH PERMEATION, CLACAGE AND COMPENSATION GROUTING, BEFORE THE PASSAGE OF THE TBM IN OPORTO METRO – PORTUGAL

Falcão, João, *Tecnasol FGE, Porto, Portugal; jfalcao@tecnasol-fge.pt*

Pacheco, Joana, *Tecnasol FGE, Lisboa, Portugal; jpacheco@tecnasol-fge.pt*

Cebola, Duílio, *Tecnasol FGE, Lisboa, Portugal; dcebola@tecnasol-fge.pt*

RESUMO

O presente trabalho tem como objectivo divulgar, sob o ponto de vista executivo, a intervenção efectuada nas obras do Metro do Porto, destinada a consolidar, antes da passagem da tuneladora (TBM), o terreno existente sob um quarteirão de edificios antigos do centro da cidade. A consolidação foi realizada com recurso a injeccões de permeação e de fracturação antes da passagem da TBM e injeccões de compensação durante e após a sua passagem. Todos os trabalhos de injeccão foram comandados e registados com auxílio de um sistema de controlo automático de injeccões. O presente documento abordará a empreitada enquadrando-a no cenário geotécnico existente, apresentando o respectivo projecto executivo, bem como a sequência dos trabalhos, meios de acção utilizados e os resultados, dos trabalhos de injeccões, associando-os, sempre que possível, aos obtidos através da instrumentação.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present a case history, in the practice and results point of view, using permeation, clacage and compensation grouting to consolidate the foundation ground of a group of old buildings in the center of Oporto city, before the passage of the TBM.

1. INTRODUÇÃO

Integrada no Metro Ligeiro do Porto, actualmente em construção, a escavação da Linha C, foi executada com recurso a TBM, entre a Estação de Campanhã e a Estação da Trindade. No seu trajecto final em subida, entre a futura Estação do Bolhão e a Trindade, a tuneladora passou sob nove edificios da Rua Fernandes Tomás com um recobrimento de cerca de três metros e meio em relação às fundações.

Os edificios, em causa, constituem estruturas portantes de alvenaria de granito, com pisos em madeira, ou mistos (madeira associada a betão armado), apresentado um estado de conservação razoavelmente bom, com excepção de alguns andares devolutos. Estes edificios, de fundação directa, apresentam na sua maioria uma cave.

Devido à sua localização no centro da cidades, e o elevado número de estabelecimentos comerciais, estes imóveis são considerados de elevado valor económico.

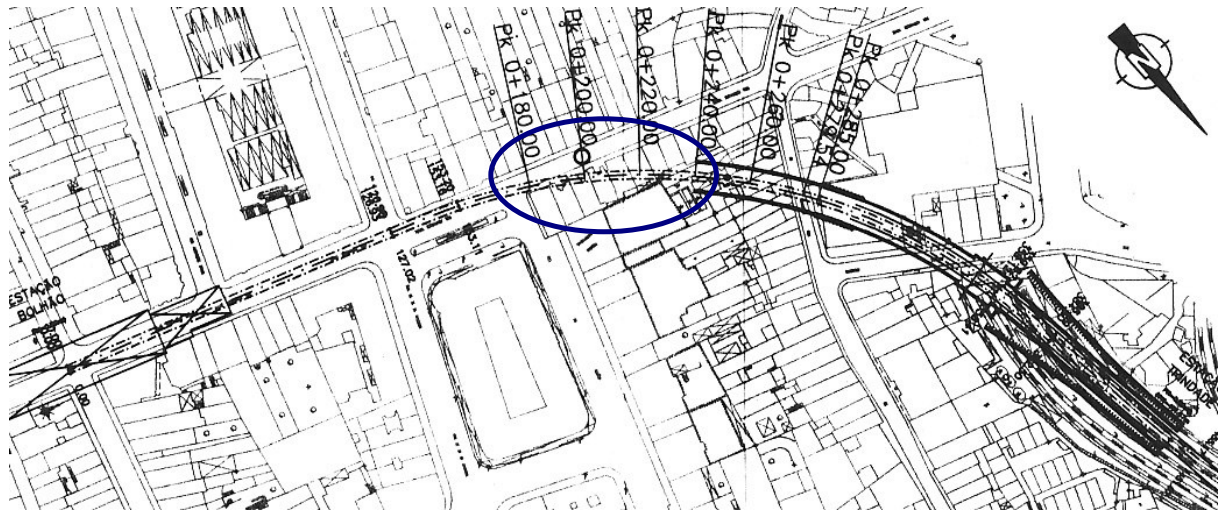


Figura I – Planta de Localização

Em termos litológicos, a zona situada entre a fundação dos edifícios e a abóbada do túnel, caracteriza-se pela presença de solos provenientes da alteração dos granitos do Porto, classificados segundo ASTM como SM (areia siltosa), SC (areia argilosa) e CL (argila magra).

Os resultados das sondagens mais representativas do terreno interessado, são as descritos no quadro seguinte:

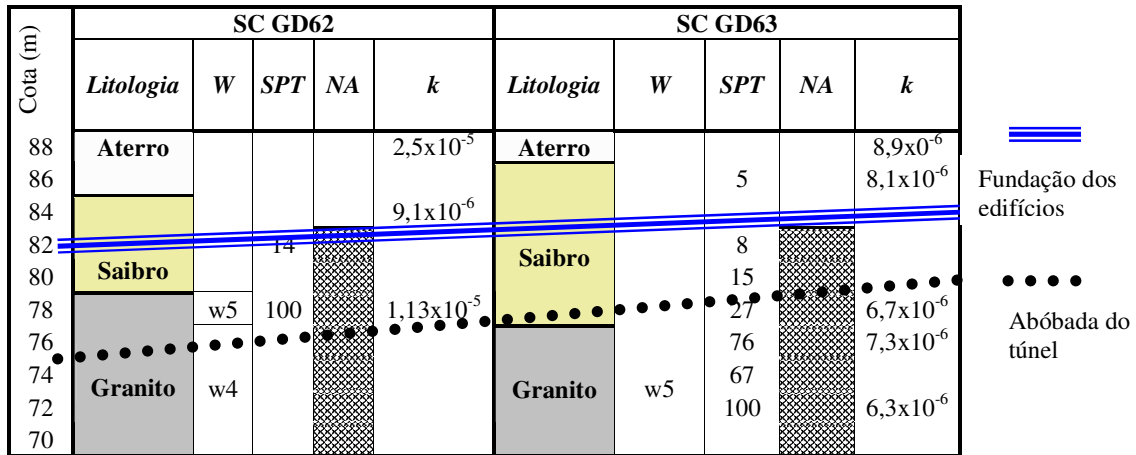


Figura II – Perfil geológico-geotécnico esquemático

Tendo em consideração o atrás descrito, elaborou o projectista uma análise de risco, com base nos assentamentos já verificados em outros locais da cidade no percurso do *TBM*, que, no entanto, nunca tinha tido, até então, um percurso tão superficial.

Esta análise, previu assentamentos, ao nível da cota de fundação, de cerca de 50mm. O estudo, conclui ainda que, estes movimentos, poderiam provocar danos estruturais em sete dos edifícios e danos funcionais em dois deles.

Com o objectivo de evitar estes danos foi elaborado um projecto de execução, que previu a criação de uma zona consolidada entre a abóbada do túnel e a fundação dos edifícios. Esta barreira física, com capacidade resistente superior à que caracterizava os materiais *in situ*, diminuiria a transmissão dos

efeitos de decompressão do terreno induzidos pelo *TBM*, diminuindo os assentamentos ao nível da fundação.

Esta área consolidada, com cerca de 60 m x 20m x 2m, foi materializada pelo reforço do terreno com uma malha dupla de tubos metálicos horizontais (em aço N80 Ø114,3x9,5mm), associado a três linhas de injeção, igualmente horizontais, compostas por tubos de PVC com válvulas espaçadas a cada 0,5m.

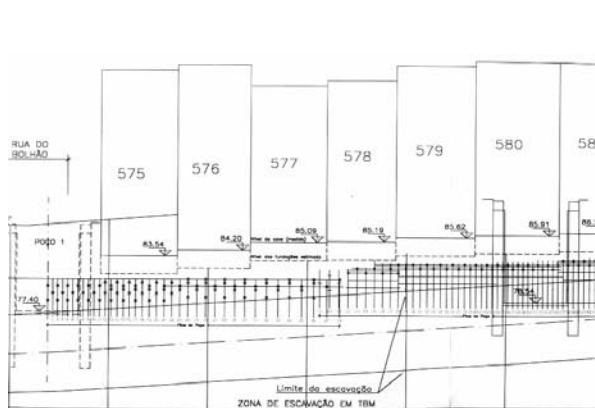


Figura III – Alçado da zona a consolidar

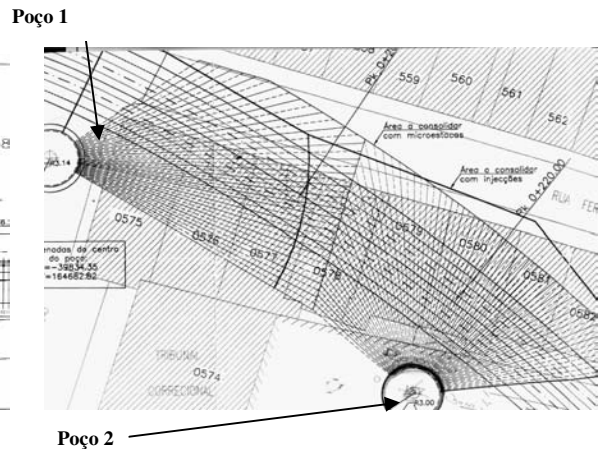


Figura IV – Planta da zona a consolidar

2. METODOLOGIA E SEQUÊNCIA EXECUTIVA

A primeira fase da empreitada, consistiu na escavação de dois Poços (Figura 4) de forma a possibilitar a execução dos furos horizontais para instalação da rede de tubos metálicos e a colocação dos tubos de injeção. Nos dois poços a escavação foi realizada em NATM com recurso a cambotas circulares e com profundidade suficiente para atingir a cota da abóbada do túnel a construir.

No Poço n.º1, com 11m de profundidade, localizado na Rua do Bolhão, a contenção e impermeabilização foi efectuada com fiada dupla de colunas de Jet Grouting Ø 600mm.

No Poço n.º 2, com 6m de profundidade, localizado na Cave do Tribunal Correcional do Porto, a proximidade das paredes do próprio edifício induziu o projectista a evitar uma solução de contenção em Jet Grouting, optando pela execução de uma fiada única de microestacas verticais, composta por tubos (em aço N80 Ø101,6 X 9mm).

A presença do projectista em obra, possibilitou a alteração da espessura dos avanços, face à situação encontrada durante o processo de escavação e contenção. Deste modo, no Poço n.º1, devido à completa impermeabilização das paredes do poço pelas colunas de Jet Grouting, a altura dos avanços foi sendo aumentada durante a escavação. Situação inversa ocorreu durante a escavação do poço n.º2, em que a presença de água no interior da escavação provocou a diminuição da espessura de alguns avanços.

Após a escavação dos Poços, deu-se início aos trabalhos relacionados com a instalação dos tubos metálicos horizontais. A perfuração foi executada à rotação e entubada em todo o seu comprimento, utilizando água como fluido de limpeza.

A primeira fase da injeção de permeação do terreno a tratar, foi efectuada através das válvulas, espaçadas de 0,5m, existentes nos tubos metálicos.

A sequência de execução dos furos teve como objectivo evitar, a perda de calda de cimento para fora da zona a tratar. Deste modo, os trabalhos iniciaram-se nos furos de cota mais baixa, próximos da abóbada do túnel, garantido que em furos posteriores a calda de cimento se situaria entre a fundação dos edifícios e o primeiro alinhamento executado, ou, no mínimo, diminuindo a sua possibilidade de fuga.

Tubos de Injecção em PVC Tubos metálicos TM80

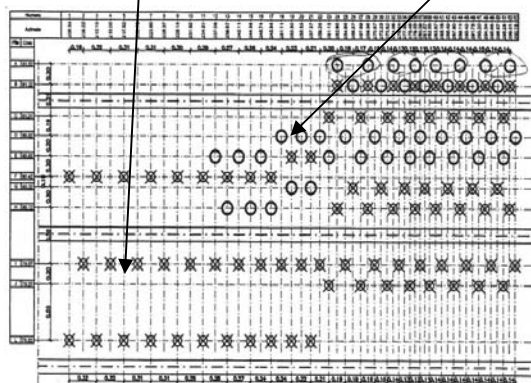


Figura V – Localização dos furos no interior do Poço n.1



Figura VI – Execução dos trabalhos no interior do Poço n.1

Após a finalização dos trabalhos de perfuração e injeção dos tubos metálicos, iniciaram-se os trabalhos de colocação dos tubos de injeção em PVC, através dos quais seria executada fase final da injeção de permeação, bem como as fases posteriores de injeções, fracturação e compensação. A sequência de execução e a metodologia de furação foi idêntica à anteriormente utilizada.

Quadro I – Quantidades de furação executadas

	<i>Poço n. 1</i>	<i>Poço n. 2</i>	<i>TOTAL</i>
Tubos metálicos TM80 Ø114,3 x 9,5mm	1.143 m	1.282,5 m	2.425,5 m
Tubos de injeção em PVC	1.688 m	2.201,5 m	3.889,5 m
<i>TOTAL</i>	<i>2.831 m</i>	<i>3.484 m</i>	<i>6.315 m</i>

Os trabalhos de execução da perfuração e injeção foram acompanhados pela realização de monitorização em tempo real. Esta forneceu informações, no que diz respeito aos deslocamentos verticais dos edifícios situados na área de influência da obra, incluindo, obviamente, aqueles objecto da presente empreitada.

O controlo dos edifícios permitiu verificar a existência de movimentos significativos, durante as primeiras operações de perfuração, que influenciaram o número e quantidades de furos aberto em cada turno de trabalho, bem como a necessidade de efectuar com rapidez os processos de injeção de permeação num furo recentemente aberto.

3. PROCESSOS DE INJEÇÃO

Na execução da área de consolidação, entre a fundação dos nove edifícios da Rua Fernandes Tomás e a abóbada do túnel foram executados três processos de injeção, diferentes e complementares:

1. *Injeção de Permeação*

- Tem como objectivo o preenchimento dos espaços vazios existentes entre as partículas constituinte do terreno, conduzindo a uma diminuição do índice de vazios e a um incremento no nível de consolidação.
- A permeação foi executada na totalidade dos 302 furos realizados, de forma selectiva (válvula a válvula) e repetitiva. Cada válvula foi injectada até ao limite de pressão de 4 bar, em uma ou mais fases de injeção, cada uma destas fases com um limite de volume de 50lt. Após o preenchimento de todos os vazios injectáveis procedeu-se ao início da injeção de fracturação.

2. *Injeção de Fracturação*

- Tem como objectivo realizar um incremento nas características resistentes do terreno. Consiste na abertura de pequenas fissuras, que ao serem preenchidas por calda de cimento a alta pressão comprimem o terreno adjacente, aumentando a sua compacidade.
- A Fracturação foi efectuada em 51 furos, situados abaixo das duas fiadas de tubos metálicos, em válvulas alternadas, isto é com um espaçamento de 1m. A injeção foi seguida e controlada a partir dos valores obtidos pela instrumentação, no que diz respeito aos movimento sofridos pelos edifícios interessados.

3. *Injeção de Compensação*

- Tem como objectivo compensar assentamentos através de um aumento de volume do terreno a tratar. O processo executivo é equivalente ao da injeção de fracturação.
- Foi realizada nas áreas em que os movimentos foram mais significativos, em válvulas espaçadas de 1m, antes e após a passagem da *TBM* sob os edifícios.

Quadro II – Parâmetros de injeção, quantidades injectadas e assentamentos verificados

	Permeação	Fracturação	Compensação
Pressão Limite (bar)	4 bar	30 bar	15 bar
Volume Limite (lt)	50 lt	50 lt	30 lt
	Permeação	Fracturação	Compensação
A - Volume injectado (lt)	356.915 lt	32.498 lt	11.911 lt
B - Volume do terreno a tratar (m ³)	2.400 m ³	254 m ³	342 m ³
% (A/B)	15%	13%	3%
Volume máximo por furo (lt)	9.090 lt	2.928 lt	864 lt
n.º máximo de fases de injeção de uma mesma válvula	4	3	3
Assentamentos máximos (mm)	- 10 mm	+ 4 mm	+ 2 mm
Assentamento máximo durante a passagem da tuneladora (mm)	+ 3 mm		

4. SISTEMA DE CONTROLO AUTOMÁTICO DOS PROCESSOS DE INJEÇÃO

A injeção foi comandada e controlada automaticamente através do sistema VOPI, com capacidade para gerir as 4 linhas de injeção existentes em obra. Este sistema, efectua automaticamente as paragens em cada operação de injeção, com base nos parâmetros de pressão e volume pré-estabelecidos e configurados anteriormente no Datalogger.



Figura VII –VOPI, sistema de controlo e registo contínuo dos parâmetros de injeção

O sistema de controlo e registo contínuo dos parâmetros de injeção (pressão, volume e caudal), permitiu a análise do processo de injeção efectivamente utilizado em de cada válvula através dos gráficos Pressão – Volume, obtidos a partir do software do próprio sistema.

O gráfico I, representa um processo de injeção por permeação. Após a abertura da válvula, aos 19 lt, a penetração da calda no terreno dá-se de forma linear, não provocando a sua fracturação.

O gráfico II, representa um processo de injeção de compensação, em que de uma forma intencional se provoca a fracturação hidráulica do terreno. A calda de cimento, preenche não os vazios existentes, operação já efectuada pela permeação, mas sim vazios provocados pela própria pressão de injeção. Estas roturas vão se dando de forma sistemática, causando diversos picos no gráfico P-V.

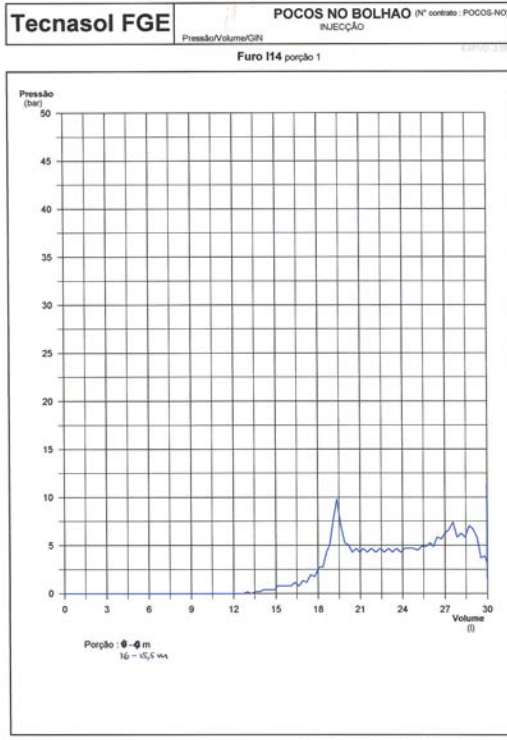


Gráfico I – Pressão / Volume
Injeção de Permeação

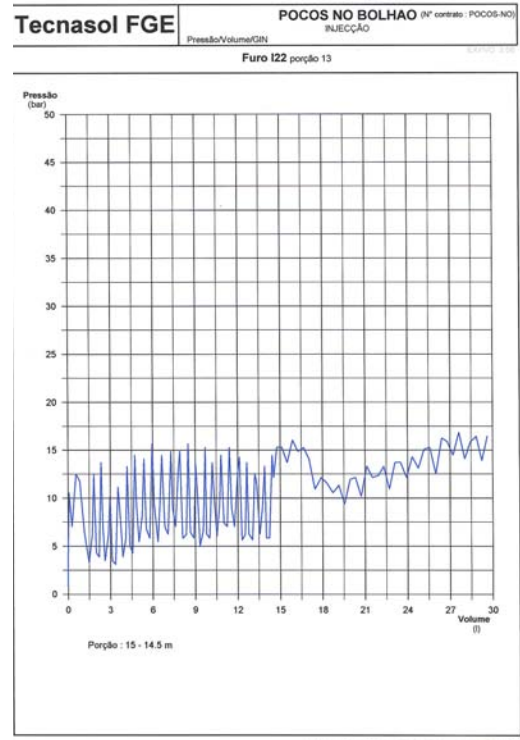


Gráfico II – Pressão / Volume
Injeção de Compensação

Dada a periculosidade da obra, bem como os movimentos causados nos edifícios, intencionais ou provocados pelo próprio desenrolar dos trabalhos, toda a empreitada foi controlada e comandada a partir da instrumentação instalada, superficial (marcas de superfície, fissurímetros, alvos e prismas em edifícios) e em profundidade para controlo dos movimentos durante a passagem do TBM (extensómetros de varas e extensómetros incrementais). Na figura VIII encontra-se representada a planta com a monitorização instalada no local.

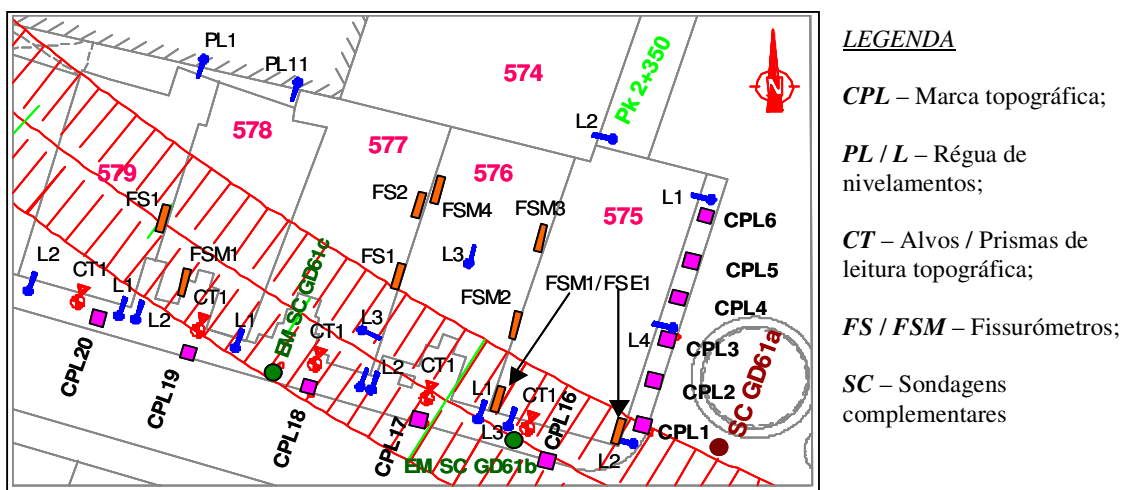
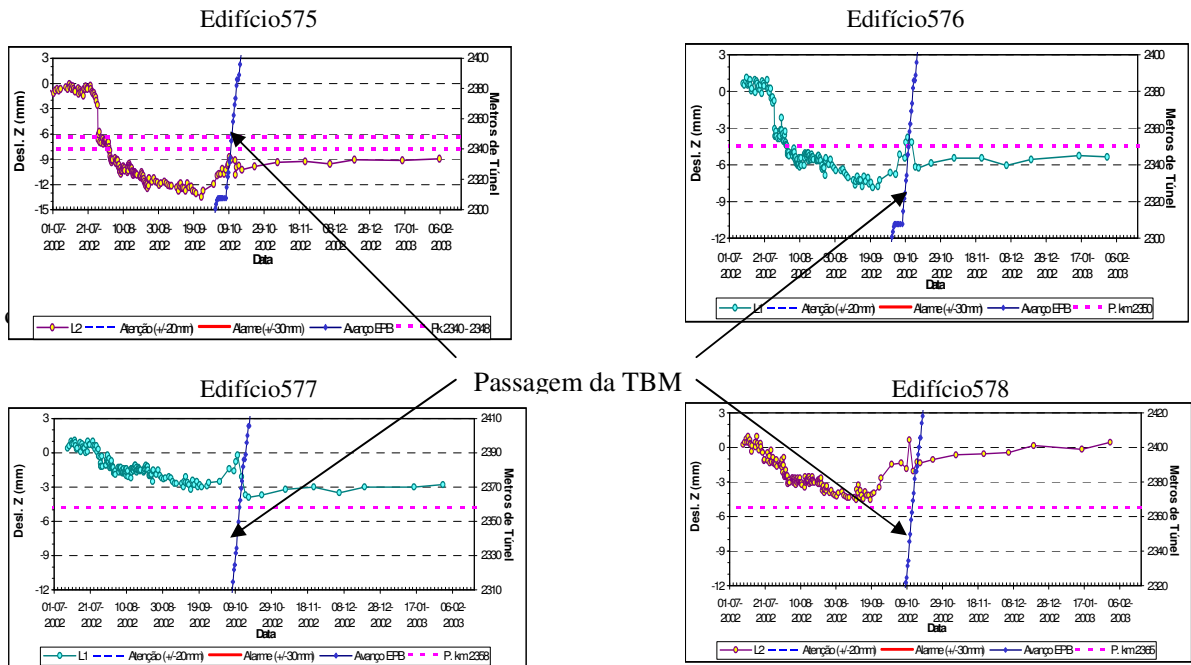


Figura VIII – Planta da Monitorização

No início dos trabalhos de perfuração, foi instalado um sistema de monitorização em tempo real, que com uma periodicidade de 15min, registava os deslocamentos verticais sofridos, através da leitura de prismas colocados nos edifícios.

O gráfico dos deslocamentos verticais denota, em todos os edifícios, com especial realce para o 575:

- movimento descendentes e acentuados no início dos trabalhos de permeação, devidos ao processo de perfuração, que indiciam falta de capacidade resistente do maciço *in situ* antes do início dos trabalhos de consolidação;
- estabilização dos mesmos edifícios na parte final dos trabalhos de permeação, (altura em que foi possível aumentar o rendimento de perfuração);
- movimento ascendente dos edifícios durante as injecções de fracturação e compensação, antes e após a passagem da TBM;
- pequeno movimento descendente durante a passagem da TBM.



5. CONCLUSÕES

O trabalho efectuado, permitiu a passagem da TBM, sob os edifícios da Rua Fernandes Tomás, sem qualquer dano estrutural ou funcional, entre os dias 9 e 17 de Outubro de 2002.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores do presente documento gostariam de realçar o apoio e disponibilidade total das várias equipas envolvidas na obra e presentes no estaleiro sempre que solicitado ou necessário, nomeadamente do projectista - GEODATA, empreiteiro geral - TRANSMETRO e Dono de Obra - METRO DO PORTO.