

SOLUÇÕES DE RECALÇAMENTO DE FUNDAÇÕES E PAVIMENTOS DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS NO LOCAL DA ANTIGA TREFILARIA - SACAVÉM

UNDERPINNING SOLUTIONS OF INDUSTRIAL BUILDINGS LOCATED AT THE OLD STEEL PROCESSING PLANT AREA – SACAVÉM

Pinto, Alexandre, *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, apinto@jetsj.pt*

Tomásio, Rui, *JetSJ Geotecnia, Lisboa, Portugal, rtomasio@jetsj.pt*

Neto, Rui, *Kerpro, Lda, Lisboa, Portugal, kerpro@mail.telepac.pt*

Ferrão, Ana, *Kerpro, Lda, Lisboa, Portugal, accferrao@gmail.com*

Aguiar, Olavo, *Kerpro, Lda, Lisboa, Portugal, olavonaguiar@gmail.com*

RESUMO

No presente artigo são descritos os principais critérios de concepção e de execução adoptados nas soluções de recalçamento das fundações e dos pavimentos térreos dos edifícios industriais localizados no local da antiga Trefilaria, em Sacavém, junto ao Rio Trancão. Atendendo aos principais condicionamentos existentes, designadamente: os edifícios já se encontrarem construídos sobre uma camada de aterro e o cenário geológico dominado pela bacia aluvionar do rio Trancão, foram adoptadas soluções de escavação de compensação dos materiais de aterro e de execução de microestacas de secção tubular metálica, sempre que possível, cravadas, para fundação e apoio de uma laje em betão armado que materializou os novos pavimentos térreos. São ainda destacadas as análises realizadas ao processo de consolidação dos materiais aluvionares, antes dos trabalhos realizados, assim como de controlo de execução das microestacas. Por fim, são apresentados e analisados os principais resultados de cerca de 4 anos de instrumentação e observação da obra.

ABSTRACT

The aim of this paper is to present the main design and execution criteria for the adopted solutions for the underpinning of the pavements and structures of the industrial buildings located on the site of the old steel processing plant, next to the Trancão river. Taking into account the main existing constraints, including: the fact that the buildings were already built, over a layer of fill, as well as the geological scenario, dominated by the alluvial basin of the Trancão river, the solutions have been developed in order to allow the excavation of the fill materials, as well as the execution of steel, with hollow section, driven micropiles, to support a new reinforced concrete slab. The consolidation process of the alluvial materials, as well as and the main results of about 4 years of site instrumentation and observation, also, are presented.

1. INTRODUÇÃO

No presente artigo são apresentadas as soluções de tratamento dos solos de fundação, de fundação dos pavimentos térreos e de recalçamento das fundações existentes das naves industriais, em estrutura metálica, que se localizam no local da antiga Trefilaria, em Sacavém, junto ao Rio Trancão.

A zona em análise sofreu um reperfilamento anterior à execução dos armazéns, o qual determinou a execução de aterros, com espessuras variáveis entre cerca de 2,0m a 3,0m, sobre os solos aluvionares saturados, originando fenómenos de consolidação destes últimos.

A avaliação dos condicionamentos existentes, nomeadamente estruturais, geotécnicos, de ocupação e de prazo, juntamente com a monitorização sistemática da evolução dos assentamentos, permitiu reconhecer a necessidade de uma intervenção de recalçamento da solução de fundações inicialmente adoptada, de tipo directo por sapatas sobre o aterro e de realização de novas fundações para os pavimentos interiores dos armazéns, através da execução de microestacas (Bullivant et al., 1996). O recalçamento das estruturas existentes e as fundações dos pavimentos interiores visaram permitir, em simultâneo, a transferência das cargas das estruturas para o substrato Miocénico competente, sem necessidade de mobilização das formações aluvionares subconsolidadas. Estas medidas foram ainda complementadas com a escavação dos solos de aterro existentes no interior dos armazéns, diminuindo a carga aplicada sobre os aluviões e, conseqüentemente, aumentando o seu grau de consolidação. Em casos pontuais, em que a espessura dos aluviões se veio a mostrar mais reduzida e, como tal, com o processo de consolidação quase terminado, procedeu-se à substituição do aterro existente por agregados leves, permitindo, desta forma, compensar o incremento de carga provocado pelas sobrecargas de utilização.

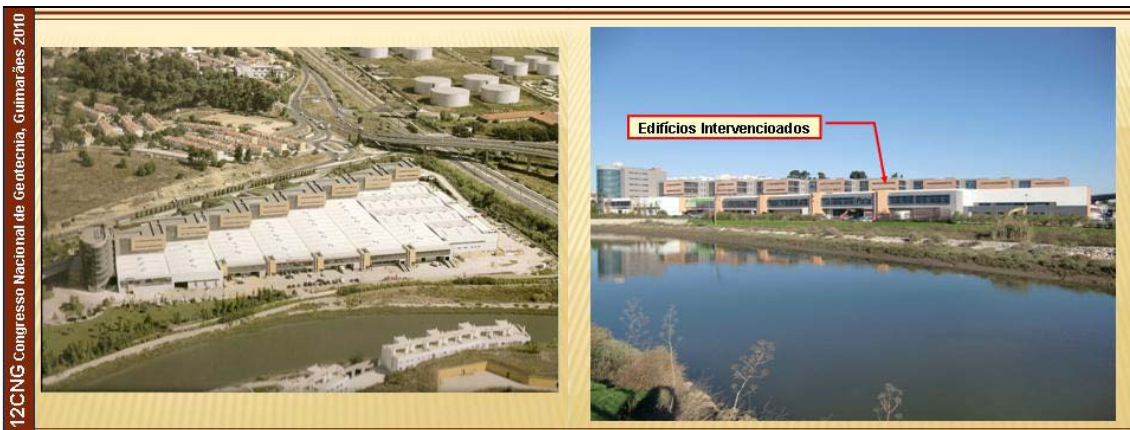


Figura 1 – Vistas da área de intervenção

Face ao enquadramento da intervenção, nomeadamente no que se refere ao binómio prazo/metros lineares de microestacas a executar, foram utilizadas microestacas cravadas, em ferro fundido dúctil, tipo TRM Ø170,0 x 10,6mm, em todas as zonas, à excepção dos locais onde o processo de cravação era susceptível de induzir demasiadas vibrações à estrutura existente, como era o caso das microestacas de recalçamento das sapatas existentes, em que se utilizaram microestacas tubulares em aço N80 (API 5A) Ø177,8 x 10,0mm, colocadas através de furação à rotação e dispendo de injeção de selagem (sistema IRS) nos últimos 12,0m, contabilizados, como referência, a partir da cota da base das microestacas cravadas localizadas a menor distância.

2. PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

2.1. Geologia e geotecnia

De acordo com a informação geológica e geotécnica, recolhida através das campanhas de prospecção realizadas, a quais incluíram: a realização de 5 sondagens à rotação com recolha contínua de amostras e execução de ensaios SPT, a realização de 5 ensaios CPTU (com

execução de ensaios de dissipação ao nível dos lodos argilosos) e a realização de 19 ensaios de corte com molinete a diversas profundidades, foram identificados os seguintes terrenos interessados pela intervenção, sendo agrupados e classificados, a partir da superfície, do seguinte modo (Figura 2):

- **Depósitos de aterro:** constituídos por aterros fundamentalmente areno-argilosos com zonas pedregosas, acastanhados, com espessuras entre 4,50m e 5,50m;
- **Depósitos aluvionares:** subjacentes às formações anteriores, apresentando espessuras entre os 26,0m e os 58,0m, sendo que, por vezes, foram detectadas lenticulas arenosas intercaladas, que condicionaram os fenómenos de consolidação, em termos de modelação e de velocidade de consolidação. Estas formações são essencialmente constituídas por lodos argilo-siltosos com pequenas passagens areno-siltosas, negros e argila silto-lodosa, cinzento escura;
- **Substrato Miocénico:** subjacente às formações anteriormente referidas, inicialmente encontra-se mais descomprimido, melhorando em profundidade. Os materiais presentes podem ser descritos como intercalações de areias finas siltosas, mais ou menos lodosas, com passagens fracamente lodosas, cinzento escuras; areias médias a finas siltosas, levemente lodosas, com fragmentos conquíferos, acinzentadas e acastanhadas; areias greso-carbonatadas; argilas siltosas, micáceas; calcarenitoossilífero amarelado, fracturado e com passagens friáveis; argila margosa.

A realização de ensaios endométricos, sobre amostra intactas recolhidas ao nível dos materiais aluvionares, permitiu avaliar os parâmetros geotécnicos que governam os fenómenos de consolidação, nomeadamente o índice de compressibilidade, o coeficiente de consolidação, o índice de vazios e a permeabilidade. A partir destes parâmetros foi, por sua vez, possível estimar o valor dos assentamentos máximos, por consolidação, do terreno e, sobretudo, a sua evolução ao longo do tempo. Face às inúmeras variáveis que influenciam estes fenómenos, foram realizadas duas simulações que permitiram enquadrar, por excesso e por defeito, os assentamentos registados pela instrumentação (Figura 10).

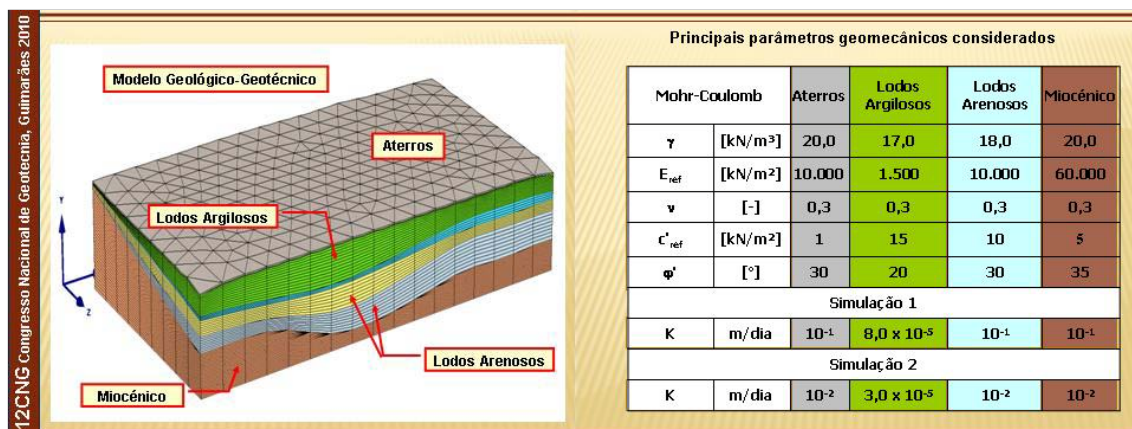


Figura 2 – Zonamento geológico - geotécnico tridimensional e principais parâmetros geomecânicos considerados na modelação do terreno

2.2. Condições de vizinhança

Face à coexistência dos trabalhos de recalçamento em determinados armazéns, com a ocupação e exploração de outros, mostrou-se necessário a adopção de soluções estruturais integradas e que condicionassem, ao mínimo, a utilização dos referidos armazéns. Os maiores condicionamentos verificados respeitavam à ocupação dos blocos 6/7/16/17, os quais só puderam ser desocupados após a conclusão dos trabalhos na generalidade dos armazéns adjacentes.

3. PRINCIPAIS SOLUÇÕES

3.1. Substituição de aterros existentes por agregados leves

Nas zonas onde se verificava a existência de pequenas taxas de assentamento, adoptou-se uma solução de remoção praticamente total do material constituinte dos aterros, realizados acima da cota da antiga Trefilaria, e substituição por agregados leves do tipo “GeoLeca”, permitindo assim aumentar o grau de consolidação dos materiais aluvionares e, conseqüentemente, reduzir a taxa de assentamentos existente. A implementação desta solução implicou a demolição do massame existente, a escavação do aterro e a posterior colocação da “Geoleca” devidamente envolvida em geotêxtil, de forma a minimizar a sua colmatação a longo prazo. Em complemento a estes trabalhos foi realizado o recalçamento das sapatas existentes através de microestacas e vigas de recalçamento, à semelhança das soluções que serão descritas adiante (Figura 3).

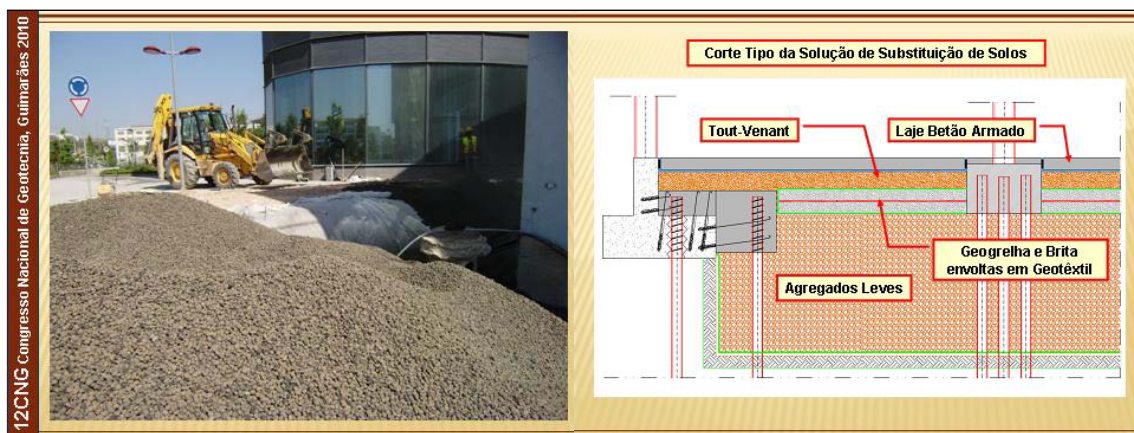


Figura 3 – Vista da substituição dos aterros por agregados leves em zonas pontuais da área de intervenção

3.2. Recalçamento das fundações da estrutura existente

A solução de recalçamento das fundações da estrutura existente consistiu, essencialmente, no recalçamento das sapatas de fundação da estrutura metálica, através de microestacas solidarizadas, com barras de costura pré-esforçadas, aos maciços de encabeçamento e às vigas de recalçamento (Figura 4).

Nesta operação foram utilizadas microestacas, com furação executada por rotação, constituídas por tubos metálicos em aço do tipo N80 (API 5A), com secção em coroa circular e diâmetro mínimo correspondente a $\varnothing 177,8\text{mm}$ e $10,0\text{mm}$ de espessura de parede, com tensão de cedência superior a 562MPa e tensão de rotura superior a 703MPa , acomodando uma carga axial de serviço com valor máximo de 1400kN . Salienta-se ainda, que de forma a rigidificar as uniões entre troços de tubo metálico que constituem a mesma microestaca foram utilizadas uniões exteriores, com diâmetro mínimo de 193mm . Todas as microestacas dispuseram, em todo o seu comprimento, de um varão $\varnothing 50\text{mm}$, em aço A500/550, ligado com conectores mecânicos entre troços, com o objectivo conjunto de aumentar a resistência à tracção na zona das uniões dos tubos (numa fase inicial em que poderia ser mobilizado atrito negativo), de compensar, a longo prazo, a eventual perda de secção dos tubos devido à corrosão e ainda de verificar a verticalidade dos mesmos.

O comprimento máximo total das microestacas executadas por furação à rotação atingiu profundidades da ordem dos $70,0\text{m}$, garantindo assim que o comprimento de selagem, de $12,0\text{m}$, se localizava sempre no substrato Miocénico, competente e geologicamente estável.

Para selagem das microestacas foi adoptado o sistema de injeção repetitiva e selectiva (Bustamante e Doix, 1985), tendo-se recorrido a válvulas anti-retorno, com capacidade para acomodar a pressão exterior da água, e a obturador duplo, com capacidade para injeção a alta pressão. As válvulas apresentavam um afastamento máximo de 1,0m entre si e apenas foram colocadas na zona do bolbo de selagem. De forma a minimizar a perturbação dos materiais lodosos, a furação ao nível dos mesmos foi realizada, sempre que possível, sem recurso a água.

No que se refere às barras pré-esforçadas, de costura dos elementos de recalçamento às sapatas existentes, utilizaram-se barras do tipo “Gewi” Ø32mm pré-injectadas, em aço A500/550, pré-esforçadas através da aplicação de momento torsor em ambas as extremidades (Figura 4 e Figura 5).



Figura 4 – Vista das vigas de recalçamento das sapatas interiores da estrutura metálica existente



Figura 5 – Vista da sequência de execução das vigas de recalçamento das sapatas exteriores

3.3. Fundação das novas lajes do piso térreo

A monitorização sistemática dos assentamentos permitiu confirmar que, face à magnitude dos mesmos, a escavação dos aterros existentes era fundamental, de forma a diminuir a carga aplicada sobre os materiais aluvionares subconsolidados. Esta operação permitiu uma significativa diminuição da taxa de assentamentos verificada, contudo implicou, necessariamente, a implementação de uma solução de fundação indirecta para as novas lajes fungiformes, em betão armado, dos pavimentos térreos dos armazéns.

No enquadramento descrito, foram utilizadas microestacas, executadas por cravação e via seca, constituídas por tubos metálicos em ferro fundido dúctil, do tipo TRM, com secção em coroa circular, diâmetro exterior mínimo Ø170mm e 10,6mm de espessura de parede, com tensão de cedência superior a 300MPa e tensão de rotura superior a 420MPa, acomodando uma carga axial de serviço com o valor máximo de 1300kN (Figura 6 e Figura 7). Esta solução apresentou ainda vantagens económicas e de prazo, pois permitiu a obtenção de rendimentos superiores a 450m/dia.

Tendo em consideração que as uniões de ligação entre troços de microestaca apenas funcionam adequadamente à compressão, e reconhecendo a existência de fenómenos de consolidação que, conseqüentemente, possibilitariam o desenvolvimento de atrito negativo ao longo do fuste das microestacas, utilizaram-se, pelas mesmas razões já adoptadas para as microestacas realizadas por furação à rotação, varões tipo “Gewi” Ø50mm (com conectores mecânicos entre troços) selados no interior das mesmas, ao longo de todo o comprimento. O recurso à cravação por via seca permitiu, igualmente, a minimização da mobilização de atrito negativo (Kempfert et al., 2006). Uma vez que o sistema adoptado para a cravação das microestacas não previa a injeção exterior das mesmas, o critério de paragem do processo de cravação (30mm/minuto) conduziu à necessidade de serem atingidos comprimentos máximos da ordem dos 65,0m. A execução das microestacas cravadas numa malha de 3,80x3,80m² permitiu ainda o tratamento do terreno confinado entre as mesmas.



Figura 6 – Vista do equipamento de cravação das microestacas e da colocação do varão Ø50mm



Figura 7 – Vista dos trabalhos de escavação dos materiais de aterro e inícios da betonagem dos maciços e vigas de recalçamento

A solução estrutural adoptada para as lajes dos pavimentos dos armazéns, de modo a permitir acomodar uma sobrecarga uniformemente distribuída de $40,0\text{kN/m}^2$, consistiu em lajes fungiformes com $0,30\text{m}$ de espessura corrente e capiteis com $0,80\text{m}$ de espessura e área em planta de $1,0 \times 1,0\text{m}^2$. As microestacas que materializam os apoios da laje foram executadas numa malha quadrada com $3,80\text{m}$ de lado. De forma a garantir a protecção dos tubos acima da cota de escavação, os mesmos foram envolvidos em calda de cimento com o auxílio de uma cofragem perdida $\text{Ø}400\text{mm}$.

4. DIMENSIONAMENTO

A validação da concepção adoptada na intervenção descrita no presente artigo, foi conseguida através da modelação tridimensional do cenário geológico-geotécnico identificado através da informação proveniente das sondagens de prospecção, cruzada com a informação proveniente da grande quantidade de aparelhos de instrumentação instalados em “pontos-chave” das estruturas existentes. Neste enquadramento, o andamento a curva de assentamentos ao longo do tempo foi aproximado através do software Plaxis 3D Foundation (Figura 2), recorrendo a dois cenários. O primeiro cenário simulava uma situação em que a permeabilidade dos solos era relativamente elevada, sendo que o segundo cenário utilizava valores inferiores dos coeficientes de permeabilidade (Figura 10). O dimensionamento dos diferentes elementos de betão armado, nomeadamente das lajes de pavimento, foi realizado com recurso ao software SAP2000 V.12 (Figura 8). Na verificação da segurança dos diversos elementos estruturais foi adoptada a regulamentação nacional e internacional em vigor ou, em situações não previstas regulamentarmente, metodologias de cálculo reconhecidamente comprovadas como, por exemplo, a formulação analítica de colunas em meio elástico para a verificação da susceptibilidade das microestacas para experimentarem fenómenos de encurvadura por varejamento (Shields, 2007) e (Cadden et al., 2002), ao nível dos lodos subconsolidados, ou o dimensionamento do comprimento de selagem das microestacas executadas à rotação, através de ábacos apropriados (Bustamante e Doix, 1985). Os terrenos interessados foram modelados a partir dos parâmetros geomecânicos já apresentados (figura 2).

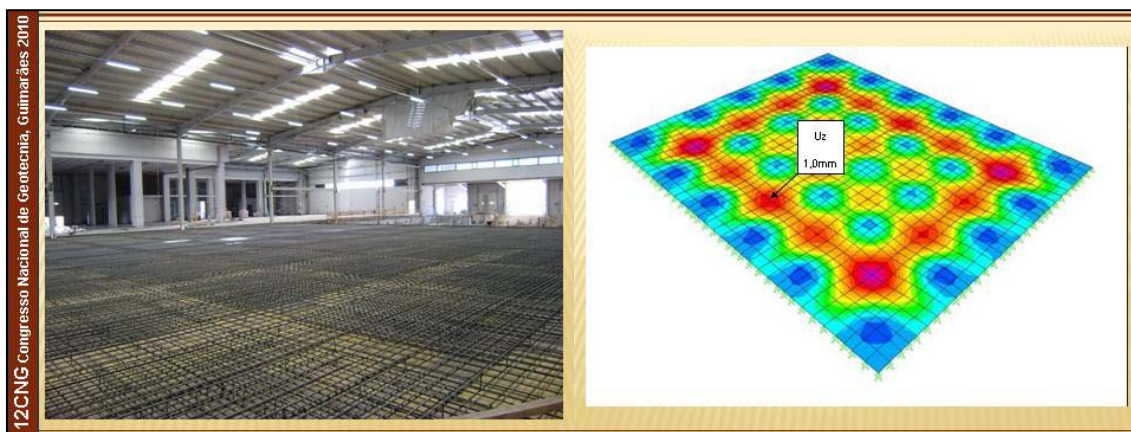


Figura 8 – Vista dos trabalhos de cofragem e colocação de armaduras das lajes e pormenor de elementos técnicos contemplados no dimensionamento

5. INSTRUMENTAÇÃO E OBSERVAÇÃO

Tendo por base o enquadramento da obra, o Plano de Instrumentação e Observação (PIO) foi implementado antes do início dos trabalhos de reforço e recalçamento das fundações, tendo constituído uma peça fundamental, face à complexidade do cenário geotécnico local, na

definição de uma solução adequada às solicitações. A título de exemplo, pode-se referir que o PIO apresentou-se como uma ferramenta imprescindível para a confirmação que os lodos subconsolidados se encontravam sob um acentuado processo de consolidação, provocado pelos aterros realizados no início dos trabalhos, que chegava a atingir, em certos locais, taxas de assentamento de 1,0mm/dia (Figura 9).

No enquadramento descrito, foram instalados, antes e durante a obra, os seguintes aparelhos:

- Cerca de 100 alvos topográficos, no interior e no exterior da estrutura metálica dos armazéns, para avaliar os assentamentos globais e diferenciais entre diferentes pontos da estrutura;
- 11 marcas de nivelamento ao longo dos diversos pórticos da fachada principal, para avaliar, através de nivelamento geométrico, os assentamentos verticais da fachada localizada na zona mais gravosa;
- 3 inclinómetros no interior de alguns dos furos das sondagens de prospecção geotécnica, para avaliar a eventual susceptibilidade das formações aluvionares para apresentarem movimentos horizontais em profundidade, uma vez que o substrato Miocénico revelava uma acentuada pendente no sentido do leito do Rio Trancão;
- 4 inclinómetros no interior de algumas microestacas definitivas, para avaliar a logo prazo os aspectos referidos acima e a eventual susceptibilidade das microestacas para encurvar após a aplicação das sobrecargas de utilização;
- 5 piezómetros para avaliar as variações do nível freático, de modo a permitir confirmar a cota da base da escavação.

Os aparelhos instalados foram lidos, numa primeira fase, com uma periodicidade semanal, de modo a permitir recolher informação para interpretar a evolução dos assentamentos. Numa segunda fase, após a realização da maioria dos trabalhos de escavação e execução das microestacas, as leituras passaram a ser realizadas com uma periodicidade mensal, uma vez que a magnitude da taxa de evolução dos movimentos registados foi significativamente inferior.

Refere-se ainda, que os resultados produzidos pela vasta gama de aparelhos instalados permitiu, ao indicarem um elevado desalinhamento na verticalidade dos montantes dos pórticos metálicos, confirmar a necessidade de proceder ao reforço dos elementos de contraventamento da estrutura metálica, de forma a acomodarem a “nova” componente horizontal proveniente das cargas permanentes da estrutura deformada, no sentido correspondente à maior espessura dos materiais aluvionares.

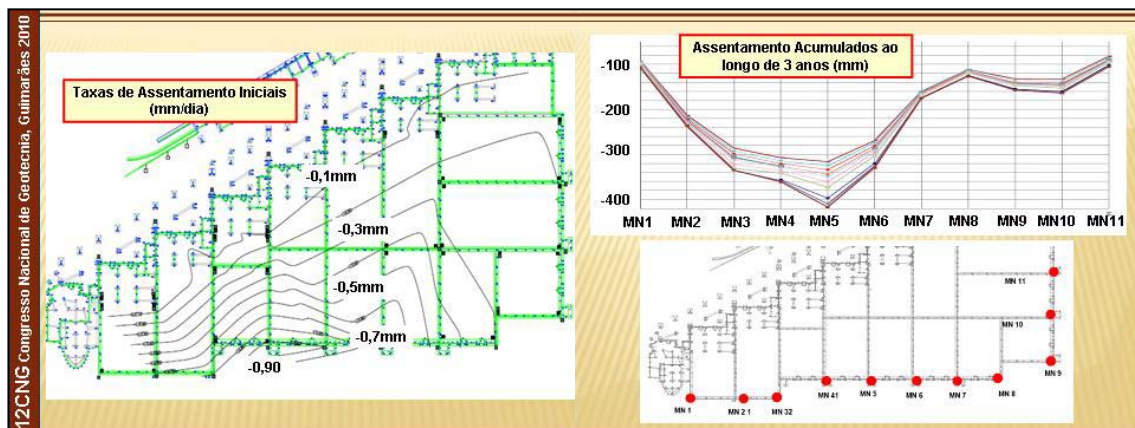


Figura 9 – Planta com as isolinhas da taxa de assentamento inicial e gráfico com os níveis de assentamento acumulados nos diversos pórticos da fachada principal

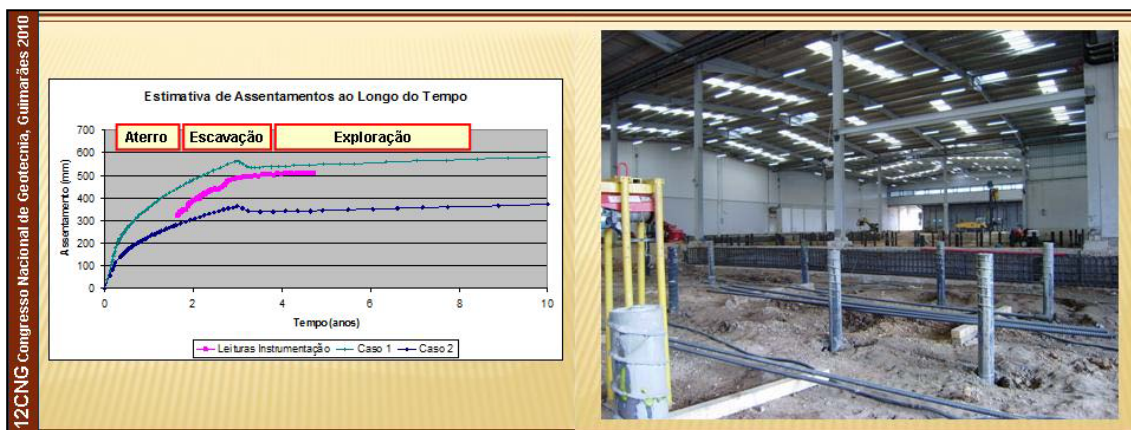


Figura 10 – Comparação dos assentamentos registados com os valores estimados através do modelo de cálculo adoptado e vista geral do andamento dos trabalhos, após a cravação das microestacas

6. PRINCIPAIS QUANTIDADES

As principais quantidades associadas aos trabalhos descritos são apresentadas na figura 12.



Figura 11 – Principais quantidades e vista geral do andamento dos trabalhos, colocação de cofragens para betonagem da laje

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No enquadramento de uma obra de recalçamento de uma estrutura existente, o Plano de Instrumentação e Observação associado a uma adequada caracterização do cenário geológico-geotécnico confirmou-se como ferramenta indispensável uma vez que permitiu avaliar o desempenho da estrutura antes, durante e depois do processo de recalçamento. Neste caso em particular, em que a necessidade da intervenção provinha da existência de assentamentos de consolidação diferidos no tempo, a implementação do PIO durante a fase de projecto apresentava-se como uma maior valia significativa, uma vez que permite conhecer, antecipadamente, em que fase se encontrava o processo de consolidação dos lodos e, conseqüentemente, ajustar o dimensionamento das soluções de recalçamento ao cenário real.

A informação obtida através do PIO, juntamente com a avaliação dos condicionamentos existentes, nomeadamente estruturais, geotécnicos, de ocupação e de prazo, permitiu definir uma solução de recalçamento das fundações existentes (fundações directas por sapatas) e de

realização de novas fundações para os pavimentos dos armazéns através da execução de microestacas cravadas.

Com o recalçamento das estruturas existentes e com a execução de novas fundações para pavimentos pretendeu-se transferir as cargas das estruturas directamente para o substrato Miocénico competente, sem necessidade de mobilização das formações aluvionares subconsolidadas (Bullivant et al., 1996). Com a escavação dos solos de aterro existentes no interior dos armazéns, diminuindo a carga aplicada sobre os aluviões, pretendeu-se aumentar o seu grau de consolidação e conseqüentemente as suas propriedades geomecânicas, permitindo um melhor confinamento das microestacas e a redução das eventuais cargas por atrito negativo a transmitir às mesmas através dos materiais aluvionares.

Conforme demonstrado pelos resultados do PIO as soluções adoptadas revelaram-se eficazes na minimização da taxa de assentamentos das estruturas e dos pavimentos dos edifícios industriais, permitindo uma utilização segura e funcional dos mesmos.



Figura 12 – Vistas de alguns pormenores da evolução dos trabalhos

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dono de Obra, ESAF, S.A. e Obriverca, S.A. a autorização para a redacção e publicação do presente artigo. Consideram ainda importante sublinhar que as soluções implementadas resultaram de um trabalho de equipa, no âmbito do qual deve ser destacado o papel da empresa Geocontrole, na execução da obra, da empresa Kerpro, na fiscalização dos trabalhos, e das empresas Gauss e Rodio, na implementação do PIO.

REFERÊNCIAS

- Bullivant, R. e Bradbury, H. W. (1996), *Underpinnig – A practical guide*, Oxford, Blackwell Science.
- Bustamante, M. and Doix, B. (1985), *Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés* (in french). Bull. Liaison Labo. P. et Ch., nº140, p.75-92.
- Cadden, A. e Gomez, J. (2002), *Buckling of Micropiles – A review of historic research and recent experiences*, Schnabel Engineering Associates.
- Kempfert, H. G. e Gebreselassie, B. (2006), *Excavations and Foundations in Soft Soils*, Springer.
- Shields, D. R. (2007), *Buckling of Micropiles*, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, ASCE, p.334-337.