

Reforço das fundações de edifício de habitação, Oeiras

Foundations underpinning of a residential building, Oeiras

André Henriques
Rui Tomásio

Resumo

O presente artigo tem como objetivo apresentar as soluções de recalçamento das fundações de um edifício de habitação em Oeiras. O edifício em estudo data de 1998 e possui uma área de implantação de 380 m², sendo composto por R/C e 3 pisos elevados.

O edifício aparenta ter um razoável estado de conservação no exterior, contudo no interior apresenta diversas patologias, entre as quais se destacam o abatimento do pavimento térreo e o aparecimento de diversas fendas de elevada expressão nas alvenarias do R/C.

Por forma a solucionar a resolução destas patologias propôs-se o recalçamento das fundações existentes através de microestacas tubulares encabeçadas por maciços em betão armado, ligados aos pilares existentes através de varões GEWI. Os maciços serão interligados através de vigas de fundação que terão como função travar os maciços e apoiar a nova laje estrutural do piso 0.

Abstract

This article aims to present the solutions implemented for the foundations underpinning of a residential building in Oeiras. The building under study dates from 1998 and it has an implantation area of 380 m², composed of a ground floor and 3 upper floors.

The foundations are composed of isolated footings with peripheral lintels. On the outside, the building appears to be in a reasonable state of conservation, however, on the inside, it presents several pathologies, among which stand out the collapse of the ground floor and several cracks in the masonry walls.

In order to solve these pathologies, it was proposed to underpin the existing foundations using micropiles, linked by a reinforced concrete cap connected to the existing columns through GEWI rods. The reinforced concrete caps are then connected to each other through foundation beams, to brace the foundations and support the new structural slab on the ground floor.

Palavras-chave: Reforço / Recalçamento / Fundações / Microestacas

Keywords: Structural reinforcement / Underpinning / Foundations / Micropiles

André Henriques

Engenheiro Projetista
JETSj Geotecnia
Lisboa, Portugal
ahenriques@jetsj.com

Rui Tomásio

Engenheiro Projetista
JETSj Geotecnia
Lisboa, Portugal
rtomasio@jetsj.com

1 Introdução

No presente artigo descrevem-se as soluções reforço e recalçamento das fundações de um edifício de habitação situado em Caxias, Oeiras.

O edifício em estudo é limitado a Norte/Noroeste pela Ribeira de Barcarena, a Sul pela Avenida João de Freitas Branco, a Este pela Estrada do Murganhal e a Oeste/Sudoeste por um edifício de habitação com estrutura idêntica (Figura 1).

Dados os condicionamentos existentes, tipo de terreno, geometria do edifício e solução estrutural do edifício, a solução concebida consistiu na substituição do massame do R/C por uma laje composta por vigotas pré-fabricadas e pré-esforçadas. Esta laje apoia-se num sistema de novas vigas de fundação e maciços de betão armado apoiados em microestacas e cosidos às fundações originais.



Figura 1 Localização do edifício em estudo (a laranja)

2 Caracterização da estrutura

2.1 Solução estrutural original

O edifício em estudo data de 1998, apresenta uma área de implantação de cerca de 380 m² e uma planta em forma de T, sendo composto por R/C e 3 pisos elevados (Figura 2). A estrutura em betão armado é composta por lajes fungiformes maciças com 15 cm de espessura e vigas em toda a periferia com 40 cm de altura. Estes elementos apoiam em pilares, em geral, com secções de 0,20 x 0,30 cm, que possuem sapatas de fundação superficiais com secções variáveis e com localização em profundidade indefinida no projeto original da estrutura do edifício.

A definição da profundidade das fundações apenas foi conseguida após a realização de poços de prospeção no âmbito do estudo geológico-geotécnico, tendo-se constatado que as sapatas da periferia do edifício se encontram localizadas sensivelmente a três metros abaixo do R/C.

De acordo com o projeto de estabilidade original do edifício, estas sapatas encontram-se ligadas por vigas de fundação (lintéis) com

Aviso legal

Os conteúdos incluídos na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The contents included in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

HENRIQUES, A. [et al.] – reforço das fundações de edifício de habitação, oeiras. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 22. ISSN 2183-8488. (julho 2023) 111-118.

altura variável, as quais servem de remate da laje do R/C do tipo massame (não estrutural).

Todos os elementos estruturais são compostos por betão do tipo B25 (atual C20/25 [1]) e por um aço do tipo A400 NR.



Figura 2 Imagem do alçado principal do edifício em estudo

2.2 Patologias existentes

O edifício, em geral, aparentava ter um razoável estado de conservação no seu exterior, denotando-se alguns empolamentos e pequenas fissuras em todo o edifício, caracterizados por problemas

que se pressupôs estarem relacionados com infiltrações pontuais, variações de temperatura e deterioração normal da envolvente exterior do edifício.

É de referir que na zona de entrada do edifício (alçado Sul) e no alçado Este existiam algumas zonas onde tinha ocorrido o abatimento do pavimento. Considerou-se que este fenómeno possa ter sido provocado pela abertura de uma vala de esgoto em 2015/2016, a qual pode ter originado uma descompressão das camadas superficiais de aterro e de aluvião e, consequentemente, o assentamento dos pavimentos circundantes (Figura 3b e Figura 3d).

Na entrada do edifício observava-se ainda um destacamento do muro existente, não havendo quaisquer indícios de rotura estrutural (Figura 3a).

Refere-se também a existência de uma fenda horizontal no alçado Oeste, podendo esta ter sido originada pela escavação, não entivada, da vala para instalação da rede de esgotos (Figura 3c) e, consequentemente, por movimentos do massame existente.

O interior do edifício apresentava diversas patologias graves (Figura 4), entre as quais se destacam as seguintes:

1. Fissuração horizontal acentuada nas paredes interiores do R/C, tendo em alguns casos aberturas superiores a 1 cm;
2. Abatimento do piso do R/C em várias frações.

Considerou-se que estas patologias teriam sido provocadas pelo assentamento do massame interior e/ou, apesar de menos provável, pelo assentamento das fundações interiores, as quais poderão não ter sido construídas numa camada com características resistentes necessárias para resistir às cargas provenientes dos pilares.



Figura 3 Patologias/danos exteriores do edifício em estudo: a) destacamento do muro; b) assentamento dos pavimentos; c) fenda horizontal na fachada; d) assentamento dos pavimentos



Figura 4 Patologias/danos interiores do edifício em estudo: a) fissuração horizontal; b) fissuração horizontal; c) abatimento do pavimento; d) fissuração horizontal

Pela análise dos relatórios técnicos realizados nos anos de 2018 [4] e 2019 [5], nos quais consta o diagnóstico e inspeção visual do edifício, constatou-se que estes assentamentos poderão ter sido provocados por uma das seguintes razões ou pela conjunção das duas ou de outras desconhecidas:

- Abertura de uma vala de esgoto em 2015/2016, a qual pode ter provocado a descompressão dos aterros e das formações aluvionares e, consequentemente, o assentamento do massame;
- Rotura da coluna de rede de abastecimento de água em 2015, a qual pode ter provocado a percolação de água no solo subjacente ao edifício, o arrastamento de finos e, consequentemente, o amolecimento das formações aluvionares. Este fenómeno pode ter originado uma diminuição da capacidade resistente do terreno subjacente ao massame e às fundações, tendo conduzido a um assentamento do massame e, consequentemente, ao surgimento de fendas horizontais;

3 Principais condicionamentos

3.1 Condicionamentos Geológico-geotécnicos

O reconhecimento geológico-geotécnico e hidrogeológico da área em estudo foi realizado através de uma campanha de prospeção geotécnica [6], a qual contemplou a execução de três sondagens mecânicas à rotação, acompanhadas de ensaios de caracterização in situ SPT e um ensaio de penetração dinâmica ligeira (PDL).

Como referido no subcapítulo 2.1, foram ainda realizados 4 poços de inspeção por forma a avaliar a profundidade e geometria de algumas fundações existentes apenas na periferia do edifício, dado não ser possível a realização de poços nas fundações interiores.

De acordo com o relatório geológico-geotécnico da prospeção realizada em complemento com a carta geológica 34-C – Cascais,

à escala 1:50 000, identificou-se um ambiente geológico composto pelas seguintes unidades geotécnicas:

- Atual – Aterros (A_t) – Materiais de aterro e depósitos de cobertura com espessura variável entre 1,5 m e 3,0 m na sua maior parte constituído por argilas silto-arenosas;
- Holocénico – Aluviões (a) – Aluviões subjacentes às formações de aterro, relacionados com a proximidade de uma linha de água (ribeira de Barcarena), com uma espessura máxima de 2,7 m, constituídos por argilas silto-arenosas, com seixos e calhaus;
- Cretácico – Calcários cristalizados com rudistas (C3C):
 - Argilas margosas com uma espessura entre 0,75 m e 2,70 m;
 - Calcários margosos, por vezes fraturados e desagregados, subjacentes aos aluviões ou intercalados nas argilas margosas, com espessuras a variar entre 0,3 m e 2,1 m;
 - Margas intercaladas nas argilas margosas ou subjacentes aos calcários margosos, com espessuras variáveis entre 0,5 m e 2,8 m;
 - Calcários subjacentes aos calcários margosos e às margas, desenvolvendo-se em toda a profundidade prospectada.

No que se refere à presença de água, de acordo com as informações recolhidas nas medições dos níveis de água e no piezómetro instalado, não existia um nível de água estabilizado até às profundidades prospectadas.

Análise do dispositivo geológico-geotécnico resultante da campanha de prospeção permitiu individualizar 4 horizontes geotécnicos com base na caracterização macroscópica da amostragem recolhida através das sondagens. No Quadro 1 apresentam-se os parâmetros geomecânicos adotados na modelação do comportamento das diferentes zonas geotécnicas consideradas.

Quadro 1 Valores estimados dos parâmetros geomecânicos para cada zona geotécnica

Zona Geotécnica	Formações	N_{SPT}	γ [kN/m ³]	C_u [kPa]	E' [MPa]
ZG3	Aterros, depósitos de cobertura e aluviões	< 6	15	–	10
ZG2	Argilas margosas descomprimidas	< 30	20	30	20
ZG1B	Argilas margosas	30 - 60	22	100	50
ZG1A	Margas, calcário margoso e calcário	≥ 60	23	200	> 200

3.2 Condicionamentos arquitetónicos e funcionais

As soluções propostas para o presente edifício foram desenvolvidas tendo por base o mínimo de impacto no normal funcionamento do edifício a intervir, garantindo o acesso permanente ao mesmo. De referir que o objetivo do presente reforço era que todos os pisos elevados pudessem continuar a ser habitados durante a intervenção, com exceção do R/C, o qual teria de ser integralmente desocupado e os respetivos acabamentos reconstruídos no final da intervenção. Por forma a garantir esta condição previu-se a instalação de uma escada metálica exterior ligada ao patamar da escada de betão do edifício permitindo que os moradores pudessem aceder às suas habitações.

De referir ainda que antes do início da obra foi realizado um levantamento, inspeção e desvio das redes de serviços que podiam vir a interferir com a zona de intervenção, em particular: coletores unitários e pluviais, rede de gás, rede de telecomunicações, rede de eletricidade e rede de águas. Esta realocação das redes permitiu garantir o seu normal funcionamento durante e após a realização dos trabalhos.

As soluções de reforço foram ainda preconizadas tendo em vista a preservação da integridade das fachadas, antes e depois dos trabalhos de reforço e de todas as estruturas e infraestruturas localizadas no redor do edifício em estudo.

4 Solução de reforço adotada

Tendo por base o cenário geológico do local da obra, a tipologia estrutural, a volumetria do edifício, as patologias/danos existentes no edifício, a cota de fundação das fundações existentes, assim como a necessidade de transmitir às fundações as cargas provenientes do “novo” R/C, que se traduz num aumento de carga de 33% face à carga atual da estrutura do edifício, propôs-se a realização de uma solução de recalçamento de fundações por microestacas tubulares em aço N80 (API 5A).

Estes elementos acomodam a totalidade das cargas axiais a transmitir às fundações, sendo encabeçados por maciços em betão armado com diferentes alturas que, por sua vez, são contraventados por vigas de fundação, funcionando estas últimas também como

apoio das vigotas pré-fabricadas e pré-esforçadas previstas para a laje do R/C. Esta solução (Figura 5) foi concebida de forma a assegurar que todos os elementos estruturais dos edifícios ficam fundados, em condições de segurança, ao nível de substratos competentes, em terrenos não afetados por fenómenos de erosão e/ou degradação provocados pela ação da água.

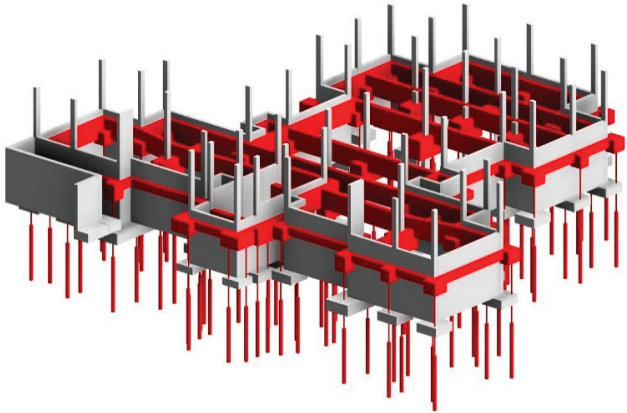


Figura 5 Solução proposta para o edifício em estudo

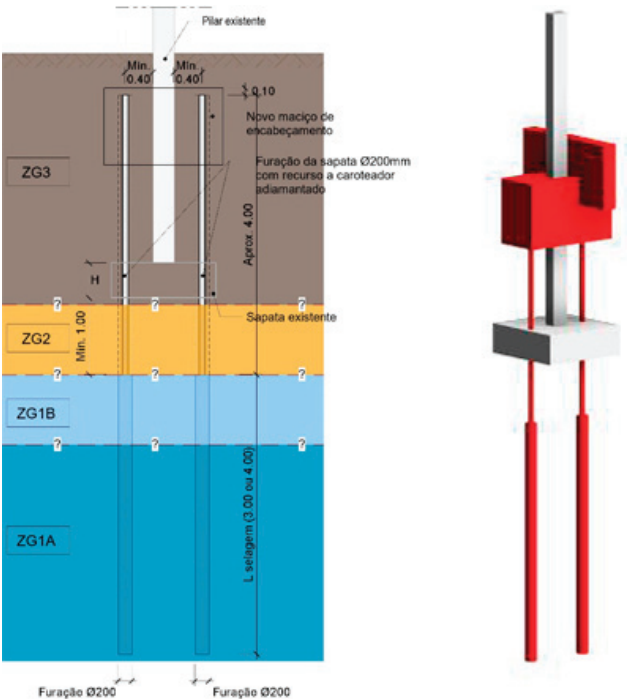


Figura 6 Execução e selagem das microestacas

O comprimento total das microestacas foi definido por forma a ser compatível com os critérios de encastramento definidos para as formações competentes ($N_{SPT} > 30$) e garantindo a sua estabilidade, traduzindo-se em 3,0 m para as microestacas do tipo Ø 73 x 5,5 mm e 4,0 m para as Ø 88,9 x 6,5 mm (Figura 6). Preconizou-se que as microestacas fossem colocadas no interior de furos de 8” (200 mm)

de diâmetro e seladas com recurso ao sistema IRS com obturador duplo e válvulas antirretorno no comprimento correspondente ao bolbo de selagem [2].

Nas sapatas onde o recalçamento não é simétrico, considerou-se que os momentos gerados pelas excentricidades das microestacas face ao ponto de aplicação das cargas dos pilares são acomodados pelas vigas de fundação.

Preconizou-se também a execução de vigas de fundação exteriores ao edifício ligadas às vigas interiores através de ferrolhos, para que, em conjunto, recebam as cargas correspondentes às paredes de alvenaria das fachadas do edifício (Figura 7).

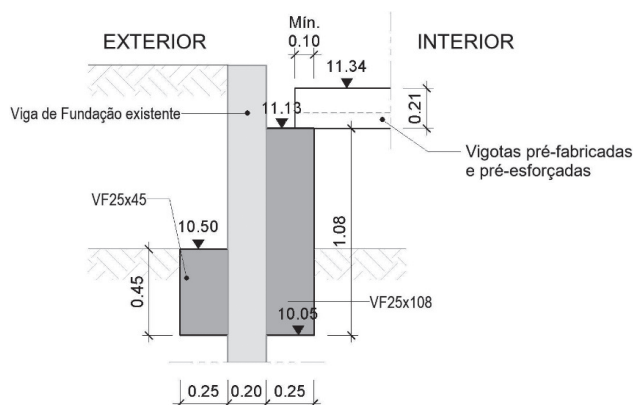


Figura 7 Vigas de fundação da periferia

Previu-se ainda a picagem das faces dos pilares a recalçar e dos lintéis existentes que vão estar em contacto com os novos maciços e vigas de fundação, por forma a aumentar a resistência da ligação betão antigo-betão novo e assim transmitir de uma forma mais eficiente as cargas provenientes destes elementos (Figura 8).



Figura 8 Pormenor da picagem dos pilares e das vigas de fundação existentes

Para transmitir as cargas dos pilares aos novos maciços de fundação e, consequentemente, às microestacas, foi preconizada a furação carotada dos pilares com a posterior instalação e selagem de varões

roscados tipo GEWI com chapas de ancoragens próprias devido à falta de comprimento de amarração nos maciços. Apresenta-se na Figura 9 a colocação destas armaduras em obra para a execução do maciço.

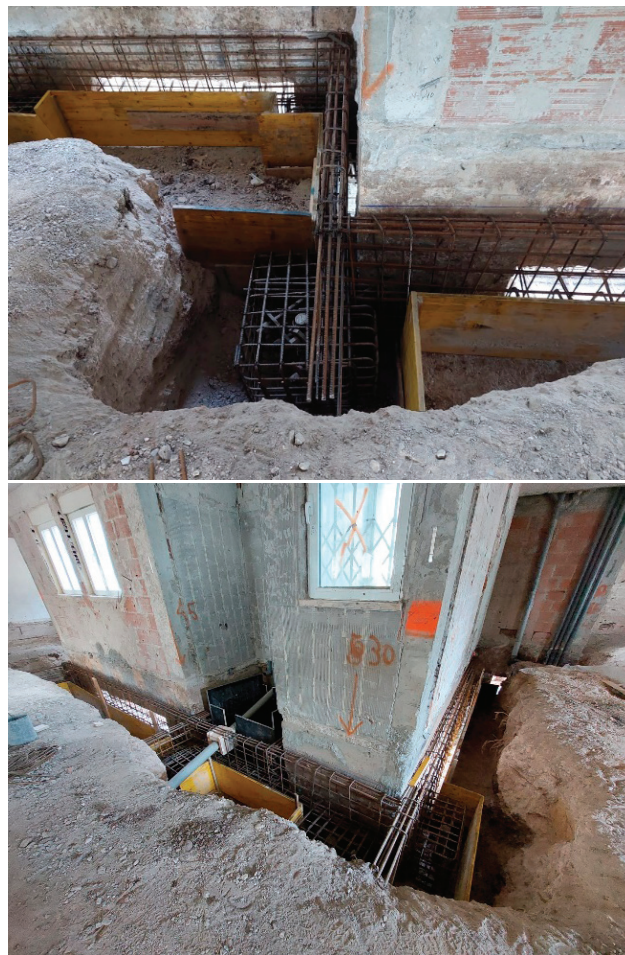


Figura 9 Colocação da armadura do maciço e das vigas de fundação para execução

Como referido acima, no que se refere ao pavimento do piso térreo, propôs-se que este fosse constituído por uma laje estrutural composta por vigotas pré-fabricadas e pré-esforçadas e abobadilhas cerâmicas, apoiadas nas vigas de fundação interiores e solidarizadas através de uma lâmina de compressão com armadura.

A solução preconizada para o caso em estudo permitiu minimizar o impacto no normal funcionamento do edifício uma vez que todos os pisos elevados poderiam continuar a ser habitados durante a intervenção, com exceção do R/C, o qual deveria ser integralmente desocupado. A solução possibilitou ainda a manutenção de todas as fachadas (Figura 10) e a reutilização de alguns dos equipamentos retirados para a execução das fundações, nomeadamente portas, mobiliário cozinha e casa de banho. Contudo, no decorrer da obra, foi decidido proceder à substituição integral de todos estes equipamentos por se encontrarem excessivamente deteriorados.



Figura 10 Remoção do interior do R/C do edifício e manutenção das fachadas

5 Dimensionamento

Para a análise do comportamento dos elementos pertencentes à estrutura de recalçamento, no que se refere a esforços e deformações, foram utilizados modelos simplificados, recorrendo para tal aos conceitos associados à teoria das peças lineares, bem como aos modelos de escoras e tirantes para a análise dos maciços de betão armado. As resistências dos elementos foram calculadas com base em fórmulas de cálculo de acordo com os códigos em vigor.

Foram também consideradas as cargas apresentadas no projeto original de estabilidade do edifício, datado de 1998, assim como as cargas provenientes dos elementos de betão armado a executar e das lajes compostas por vigotas pré-fabricadas e pré-esforçadas.

As cargas axiais dos diversos pilares foram definidas, simplificada e conservativamente, com base nas áreas de influência dos mesmos, as quais serviram posteriormente para a análise das microestacas de fundação, maciços e vigas de betão armado.

Face ao complexo cenário geológico-geotécnico, ao elevado nível de intrusão de qualquer solução de reforço implicado e à incerteza

do comportamento evolutivo dos terrenos de fundação, as referidas microestacas foram dimensionadas para a totalidade das cargas provenientes da estrutura original e para a carga suplementar da nova laje estrutural construída ao nível do R/C (+ 33%). Apesar de esta premissa de projeto aparentar ser conservadora, uma vez que os pisos elevados do edifício permaneceram em funcionamento e, como tal, as sapatas existentes continuaram a ser solicitadas, considerou-se que seria prudente manter esta abordagem.

Acrescenta-se que, apesar de, numa fase inicial, as microestacas resistirem apenas às cargas provenientes da laje estrutural do R/C, dado o seu comprimento reduzido e a sua elevada rigidez axial, um aumento da carga do pilar conduzirá ao aumento da carga na microestaca.

Importa referir que a presente solução apenas pretendia dotar o edifício de uma maior capacidade resistente às ações verticais, não tendo sido alterada de forma substancial a conceção da estrutura nem o seu comportamento. Assim, considerou-se que o comportamento do edifício ao sismo se manteve semelhante, antes e após a intervenção.

6 Plano de instrumentação e observação

Tendo por base o enquadramento da obra, e conforme prática corrente neste tipo de intervenções, foi definido um plano de instrumentação e observação com o objetivo de garantir a realização, em condições de segurança e de economia, dos trabalhos relativos à escavação e à construção das estruturas de contenção, assim como a análise do comportamento das estruturas e infraestruturas vizinhas durante a execução desta fase de obra.

Neste enquadramento, foram propostos os seguintes aparelhos (Figura 11):

- 20 alvos topográficos distribuídos pelas fachadas da estrutura para medição de movimentos horizontais e verticais;
- 48 réguas topográficas distribuídas nos pilares a recalçar do edifício para medição de movimentos verticais.

Foram definidos os critérios de alerta e de alarme para todos os aparelhos e para todas as estruturas e infraestruturas monitorizadas com base nos critérios definidos no Eurocódigo 7 [3]:

- a) Critério de alerta: deslocamentos máximos da ordem de 15 mm no sentido vertical;
- b) Critério de alarme: deslocamentos máximos da ordem de 30 mm no sentido vertical.

Foram igualmente definidas medidas de reforço, caso os referidos critérios viessem a ser ultrapassados, nomeadamente:

- a) Execução adicional de microestacas, com comprimento de selagem localizado em substratos localizados a uma maior profundidade;
- b) Verificação e adaptação do faseamento executivo das microestacas, de forma a minimizar a interferência da execução no comportamento do edifício a recalçar.

Os resultados obtidos permitiram comprovar a adequação das soluções implementadas. A título de exemplo apresentam-se na

Figura 12 os resultados obtidos para um alvo topográfico instalado na fachada do edifício.

Pela análise dos resultados da instrumentação é possível constatar que o alvo topográfico instalado apresenta deformações em x, y e z inferiores aos critérios de alerta e alarme definidos.

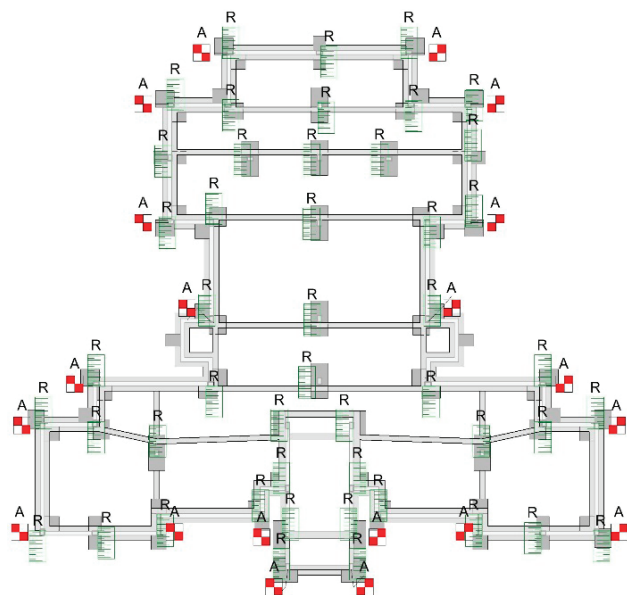


Figura 11 Instrumentação instalada no edifício no âmbito do plano de instrumentação e observação

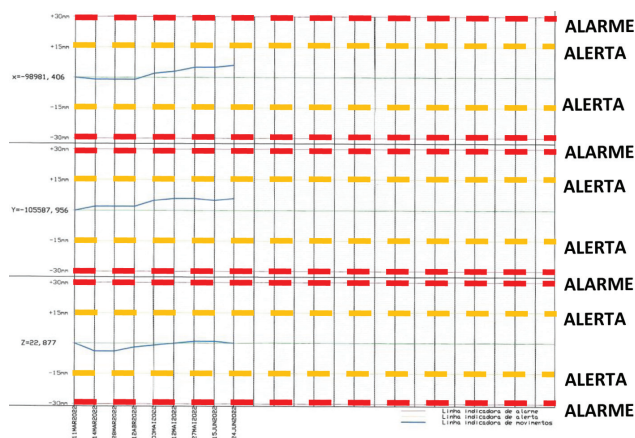


Figura 12 Resultados de um alvo topográfico colocado na fachada do edifício

7 Considerações finais

O presente artigo abordou as soluções de recalçamento das fundações de um edifício de habitação situado em Caxias, Oeiras.

Tendo por base o cenário geológico do local da obra, a tipologia estrutural, a volumetria do edifício, as patologias/danos existentes no edifício, a cota de fundação das fundações existentes e a

necessidade de transmitir às fundações as cargas provenientes da nova laje estrutural do R/C, a solução adotada traduziu-se no recalçamento de fundações por microestacas tubulares em aço N80 (API 5A), encabeçadas por maciços de betão armado ligados por vigas de fundação. Esta solução permitiu assegurar que todos os elementos estruturais dos edifícios ficassem fundados, em condições de segurança, ao nível de substratos competentes, em terrenos não afetados por fenómenos de erosão e/ou degradação provocados pela ação da água.

A solução preconizada permitiu ainda minimizar o impacto no normal funcionamento do edifício, uma vez que todos os pisos elevados puderam continuar a ser habitados durante a intervenção, tendo ainda sido possível manter as fachadas existentes e reaproveitar alguns materiais e equipamentos para posterior colocação nas frações.

Por último, no contexto do imprescindível acompanhamento de uma obra com as características da presente, destaca-se o papel do plano de instrumentação e observação proposto como ferramenta pró-ativa na implementação atempada de medidas que podem assegurar a execução e manutenção da obra em condições de segurança e de economia.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Dono de Obra a autorização para a redação 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 importante do empreiteiro geral, STAP – Reparação, consolidação e modificação de estruturas.

Referências

- [1] CT 104(ATIC) – *Betão. Especificação, desempenho, produção e conformidade*. NP EN 206, 2021.
- [2] Bustamante, M.; Doix, B. (1985) – “Une méthode pour le calcul de tirants et des micropieux injectés” em *Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, Ministère de L’Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer, 1985, Paris. n.º140, pp.75-92.
- [3] CT 115 (LNEC) – *Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico. Parte 1: Regras gerais*. NP EN 1997, 2010.
- [4] Câmara Municipal de Oeiras. Departamento de habitação e de reabilitação urbana. Divisão de habitação – *Relatório Técnico Av. João Freitas Branco n.º 39*. Laveiras/Caxias, 2018
- [5] Câmara Municipal de Oeiras. Departamento de habitação e de reabilitação urbana. Divisão de habitação – *Relatório Técnico Av. João Freitas Branco n.º 39*. Laveiras/Caxias, 2019
- [6] Tecnasol – *Estudo Geológico e Geotécnico, Edifício Laveiras Av. João Freitas Branco, Caxias*, 2020