



Cravação de estacas pré-fabricadas de betão em meio urbano

Edifício de habitação em Tavira

J. Costa, J. M. Díaz, P. Olivença

Keller Cimentaciones, S.L.U.

c/ Argentina, 15

28806 Alcalá de Henares (Madrid)

Info.es@Keller.com

www.keller.com.es

Jornadas Hispano-Portuguesas de Geotecnia

Cravação de estacas pré-fabricadas de betão em meio urbano – edifício de habitação em Tavira

J. Costa¹, J.M. Díaz², P. Olivença³

¹ Keller Cimentaciones SLU, Agualva-Cacém, Portugal

² Keller Cimentaciones SLU, Alcalá de Henares, España

³ CÊGÊ – Consultores para Estudos de Geologia e Engenharia Lda., Algés, Portugal

Resumo

As vantagens técnico económicas que oferecem as estacas cravadas pré-fabricadas de betão armado, juntamente com a evolução tecnológica e a experiência da indústria, têm levado cada vez mais à utilização deste tipo de estacas em ambientes onde tradicionalmente não eram comuns, nomeadamente em meios urbanos. Nesta comunicação apresenta-se um caso de obra relativo à execução das fundações indiretas de um edifício de habitação na Rua Borda d'Água Aguiar, em Tavira, junto ao Rio Gilão. É feita uma descrição dos principais critérios de conceção e de execução que orientaram a solução de estacas pré-fabricadas no cenário geológico-geotécnico do local, incluindo as medidas de mitigação, plano de instrumentação e os resultados da monitorização das vibrações induzidas pela cravação junto às construções existentes na envolvente.

Palavras chave: estacas cravadas 1, estacas pré-fabricadas de betão armado 2, meio urbano 3, vibrações.

I INTRODUÇÃO

O caso de obra analisado nesta comunicação corresponde à conceção e execução (ambas realizadas pela KELLER) de uma solução de fundações indiretas, por estacas cravadas pré-fabricadas de betão armado, para a construção de um edifício de habitação localizado em meio urbano, na Rua Borda d'Água Aguiar, em Tavira confinante com a Travessa José Joaquim Jara e a Travessa Herculano Rocha (Figura 1).

A construção tem uma área de implantação total de 1503 m² num terreno relativamente plano. A mesma consiste num edifício sem caves, com rés do chão (R/c) e um máximo de 3 pisos elevados (4 pisos no total)



Figura 1. Localização da obra (imagem Google Earth)

2 CONDICIONALISMOS

2.1 Ocupação da Envolvente

A envolvente da área da obra é ocupada a nascente, sul e poente pelos arruamentos acima referidos, sendo que adjacentes a esses arruamentos existem edifícios com porte variável entre 1 piso (R/c) e 4 pisos (R/c + 3), com utilização predominantemente habitacional e pontualmente comercial.



Figura 2. Ocupação a nascente (Travessa Herculano Rocha - imagem Google Earth)



Figura 3. Ocupação a sul (Travessa José Joaquim Jara- imagem Google Earth)



Figura 4. Ocupação a poente (Travessa José Joaquim Jara)

A norte, a área da obra confina com 3 edifícios de 1 piso (R/c), tendo um deles uma utilização de oficina automóvel.



Figura 5. Ocupação a norte (construções confinantes)

2.2 Período de Execução Face à Pandemia de Covid-19

A obra fundações indiretas decorreu nas últimas duas semanas de março de 2021, que correspondeu a um período de “dever geral de confinamento” e “teletrabalho obrigatório” (sempre que possível) decretado pelo Governo português, no âmbito das medidas de controlo da pandemia de covid-19. Posto isto, pressupõe-se que a ocupação dos edifícios, durante o horário de trabalho normal, tenha sido mais elevada do que em períodos pré-pandemia.

2.3 Geologia e Geotecnia

No relatório do reconhecimento geológico-geotécnico realizado no local da obra, é indicado que “os trabalhos de campo consistiram na realização de 4 sondagens (S1, S2, S3 e S4), com instalação de piezómetros Pz2 e Pz4, nas sondagens S2 e S4, respetivamente”. As sondagens foram executadas com recurso a trialeta e foram realizados ensaios SPT a cada 1,5 m de profundidade.

Na seguinte figura apresenta-se a localização das sondagens realizadas e piezómetros instalados:

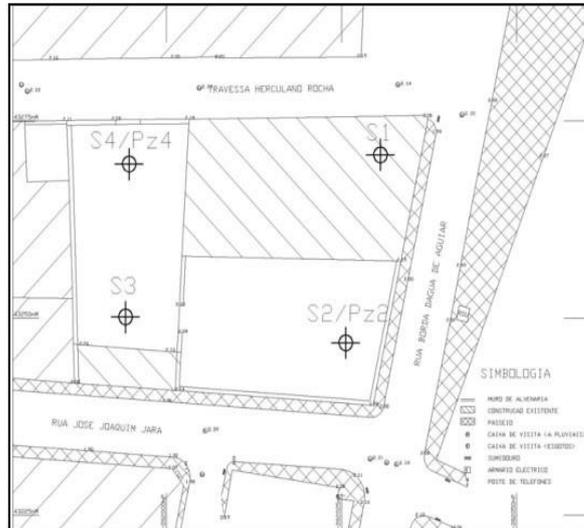


Figura 6. Localização das sondagens realizadas

Dos resultados obtidos, foi possível identificar a seguinte sequência de estratos em profundida- de:

- Camada superficial de Aterro (NSPT = 9 a 16): camada arenosa com passagens areno-argilas. Atinge profundidade de 1,5 m.
- Lodos argilosos (NSPT = 0 a 3): camada de lodo argiloso com passagens silto- argilas. Atinge profundidades entre 3,0m e 4,5m.
- Cascalheiras (NSPT = 8 a 60): camada de cascalheiras com passagens arenosas e argilas. Atinge profundidades entre 15,0m e 16,5 m.
- Lodos argilosos (NSPT = 4 a 16): camada de lodo argiloso com passagens de lodos arenosos. Atinge profundidade de 25,0m.
- Cascalheiras (NSPT = 12 a 60): camada de cascalheiras com passagens arenosas e argilas. Desenvolve-se a partir dos 25,0m de profundidade.

O nível freático tem clara variação por efeito da maré do Rio Gilão, tendo-se detetado a uma profundidade mínima de 1,5 m.

De seguida apresentam-se os perfis geológico- geotécnicos interpretativos, disponibilizados pelo relatório geotécnico:

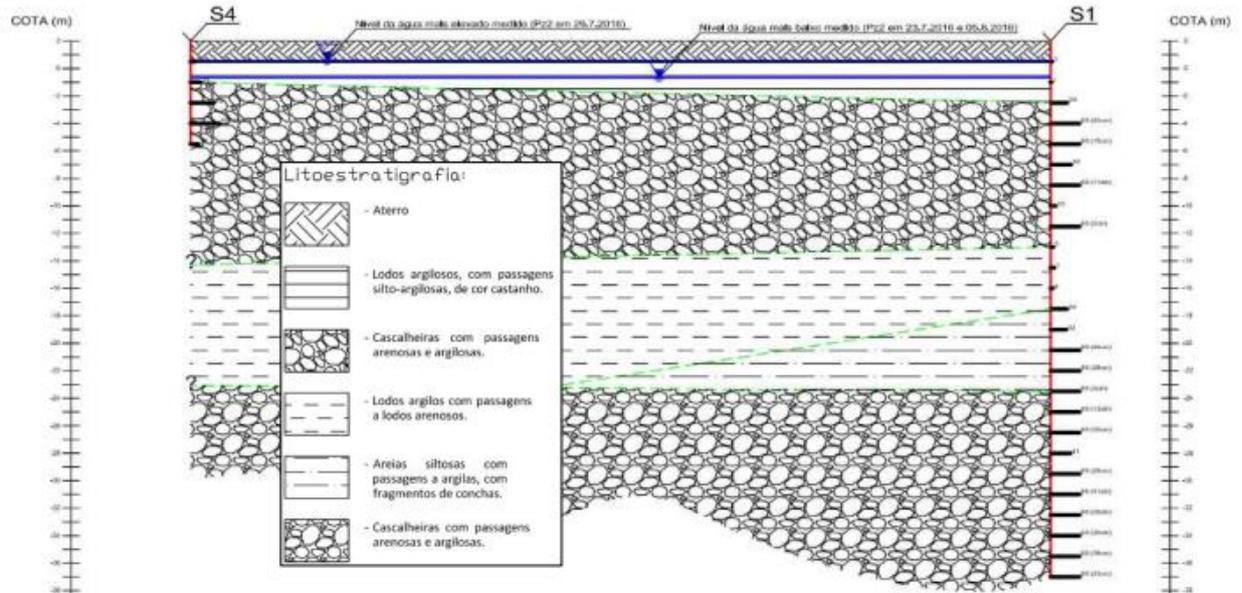


Figura 7. Perfil geológico-geotécnico interpretativo S4-S1

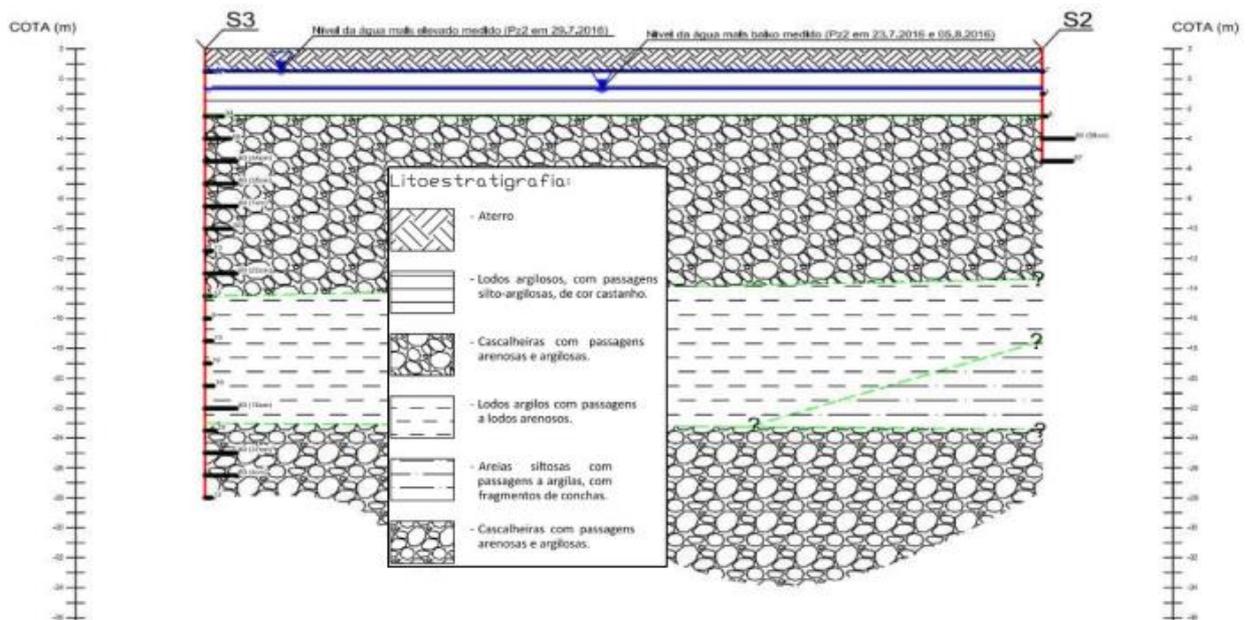


Figura 8. Perfil geológico-geotécnico interpretativo S3-S2

3 CONCEÇÃO

3.1 Desarios

Os principais desarios que se colocaram, no âmbito do projeto de fundações, foram os seguintes:

- Presença de uma camada de lodos argilosos com 1,5 a 3,0 m de espessura, próxima da superfície (a 1,5 m de profundidade), a qual implica soluções especiais para garantir capacidade de carga das fundações e o devido controlo de assentamentos totais e diferenciais do edifício.
- No sentido de maximizar a economia da obra, pretendeu-se tirar partido, de forma segura, da camada superior de cascalheiras (a qual atinge espessuras consideráveis de 10,5 a 12,0 m e ocorre entre 3,0 e 4,5m de profundidade).
- Controlo das vibrações associadas à cravação de estacas pré-fabricadas de betão armado, face ao meio urbano em que a obra se insere e face à legislação atualmente em vigor.

3.2 Solução

Para fazer face aos desafios acima referidos, definiu-se uma solução de fundações indiretas mediante estacas cravadas pré-fabricadas de betão armado, que atravessam a camada superior de lodos argilosos e assentam na camada superior de cascalheiras, garantindo que sob a ponta das estacas existirá sempre um mínimo de 7,0 a 8,5 m de camada de cascalheira muito compacta e competente (Figura 9).

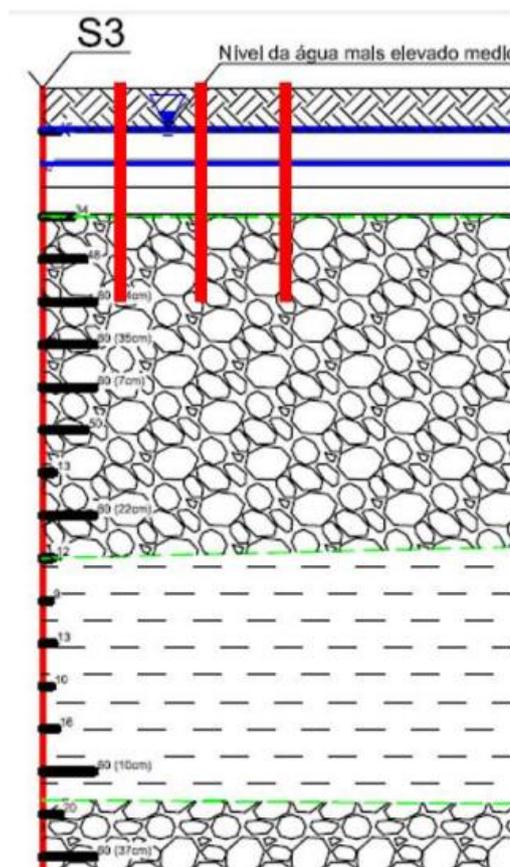


Figura 9. Representação esquemática das profundidades atingidas pelas estacas

Para garantia de segurança em relação à capacidade de carga das estacas, as secções das mesmas foram definidas de forma a suportarem baixos níveis de carga, na ordem dos 50 a 60% da máxima carga característica que estruturalmente poderiam suportar.

Para este projeto consideraram-se estacas tipo KELLER, fabricadas sob um sistema de qualidade certificado, com secções K270, K300-E, K350 e K400-E (Figura 10).

O critério de nega de penetração no final da cravação de cada estaca foi calibrado mediante resultados obtidos em ensaios de carga dinâmica (PDA), realizados de acordo com a ASTM D 4945 (2017) nas dez primeiras estacas cravadas da obra, garantindo um fator de segurança global sempre maior que 2,0 (embora próximo).

Quer isto dizer que a energia aplicada na execução dos ensaios foi limitada apenas à necessária para obter cargas máximas ensaiadas superiores, mas próximas, a 2,0 vezes as cargas de serviço, garantindo a verificação de segurança da capacidade de carga e de forma a minimizar os efeitos das vibrações associadas aos ensaios dinâmicos (nas construções da envolvente). Os resultados dos ensaios de carga dinâmica apresentam-se na Tabela I.

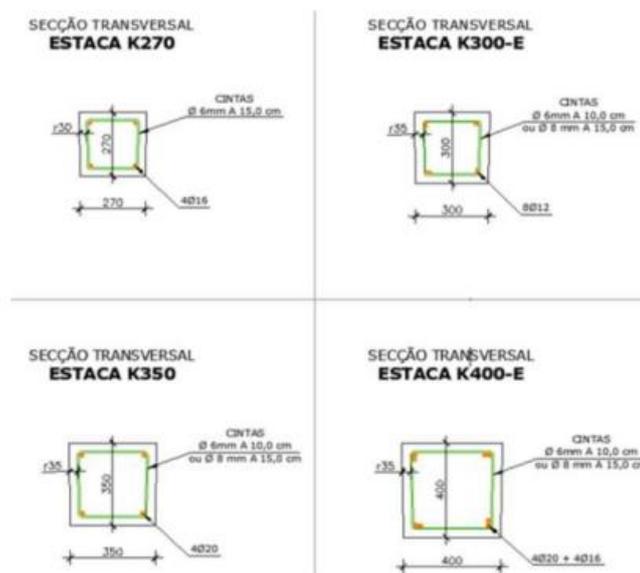


Figura 10. Secções transversais das estacas utilizadas

Estaca	Tipo	Cravação (m)	Carga Serviço (kN)	Resist. Mobilizada (kN)			F.S.
				Fuste	Ponta	Total	
11	K270	6,00	370	348	515	863	2,32
21	K300	6,40	775	793	972	1765	2,28
45	K350	6,60	910	934	1324	2258	2,48
56	K350	5,70	910	630	1432	2062	2,27
86	K300	7,00	775	782	808	1590	2,05
107	K300	5,90	775	636	1136	1772	2,29
124	K400	6,80	1000	769	1661	2430	2,43
132	K300	6,60	775	254	1437	1691	2,18
145	K400	6,40	1000	995	1440	2435	2,44
153	K350	6,40	910	512	1963	2475	2,72

Tabela I. . Resultados dos ensaios de carga dinâmica

Desta forma foi possível tirar partido das grandes vantagens das estacas cravadas pré-fabricadas de betão armado, nomeadamente:

- Controlo de qualidade em fábrica dos materiais (betão, aço e recobrimentos) e garantia de durabilidade.
- Verificação da capacidade de carga no final dos trabalhos de cravação.
- Melhoria do terreno circundante à estaca por efeito do seu deslocamento lateral durante a cravação (estacas de deslocamento de terreno).
- Inexistência de escavação e do respetivo transporte a vazadouro.
- Economia e rapidez de execução.

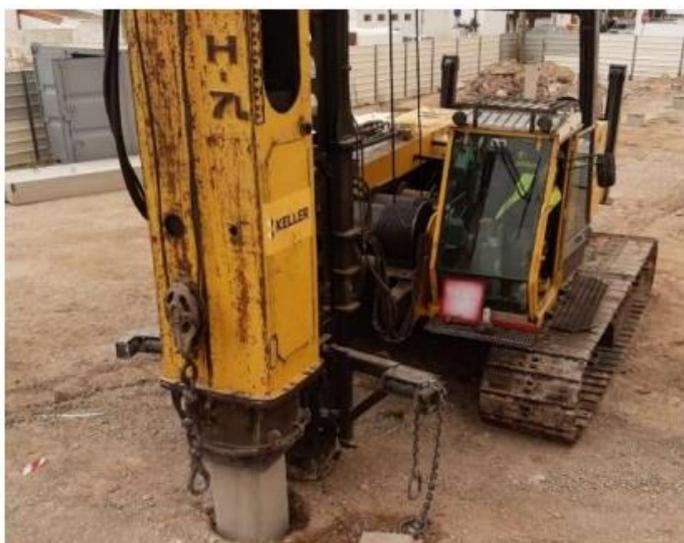


Figura 11. Equipamento de cravação em operação.

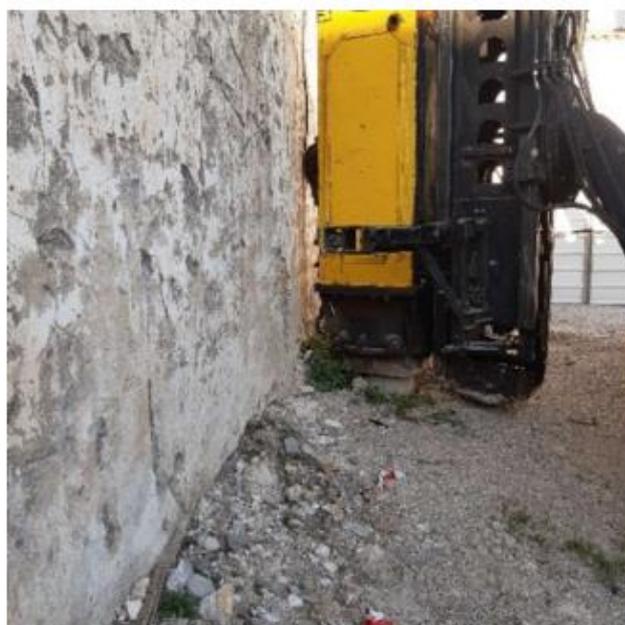


Figura 12. Cravação de estacas junto das construções existentes confinantes a norte.

3.3 Mitigação de Vibrações

Uma das principais condicionantes da obra diz respeito ao meio urbano onde se insere, pelo que a mitigação de vibrações teve particular importância.

Acresce ainda o facto da camada de encastramento das estacas (cascalheiras superiores) estar apenas a uma profundidade de 3,0 a 4,5 m, pelo que a camada superior de lodos argilosos, que atua como uma barreira de amortecimento das ondas dos impactos de cravação, acaba por não ser muito espessa face às cotas de fundação dos edifícios existentes.

Uma das principais medidas de mitigação corresponde ao critério adotado na conceção de projeto, relativo à limitação do nível de carga atuante nas estacas definidas (neste caso foi 50 a 60% da máxima carga característica que estruturalmente poderiam suportar). Desta forma foi possível minimizar os comprimentos de cravação na camada portante de cascalheiras, o que por sua vez permitiu minimizar a energia de cravação necessária, com o intuito de reduzir as vibrações associadas.

Para além deste critério, foram igualmente adotadas medidas de mitigação construtivas, nomeadamente:

- Limitação da dimensão das secções das estacas nas zonas de proximidade às construções confinantes (as quais exigem menor energia de cravação).
- Limitação da altura de queda do martelo.

4 PLANO DE INSTRUMENTAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DAS VIBRAÇÕES

Com o objetivo de registar e monitorizar os efeitos do processo de cravação das estacas nas construções existentes na envolvente, procedeu-se à definição de um plano de instrumentação para a medição de vibrações.

4.1 Controlo das vibrações

A CÊGÊ foi encarregue de proceder ao controlo das vibrações induzidas ao maciço e estruturas na envolvente da área da obra. O plano de medição foi definido pela KELLER (Figura 13), compreendendo a medição de vibrações produzidas na fase final (a mais condicionante) da cravação individual de estacas nas 3 zonas mais desfavoráveis da obra: uma no limite norte, junto às construções confinantes (Zona 1), outra a poente (Zona 2) e outra a nascente (Zona 3).

A norma portuguesa em vigor, para efeitos de controlo de danos induzidos a estruturas por vibrações, designa-se NP 2074 (2015) - "Avaliação da influência de vibrações impulsivas em estruturas". De acordo com a redação desta norma, os valores limite recomendados para a velocidade de vibração (de pico), definidos em função das frequências dominantes registadas e do tipo de estrutura, são as que se apresentam no Tabela 2. Quanto à classificação das estruturas a monitorizar considera-se que os edifícios em causa são do tipo "correntes".

Tabela 2. Valores limite para a velocidade de vibração - NP 2074 (2015)

Tipos de estruturas	Frequência dominante (f)		
	$f \leq 10$ Hz	$10 \text{ Hz} < f \leq 40$ Hz	$f > 40$ Hz
Sensíveis	1,5 mm/s	3,0 mm/s	6,0 mm/s
Correntes	3,0 mm/s	6,0 mm/s	12,0 mm/s
Reforçadas	6,0 mm/s	12,0 mm/s	40,0 mm/s

Tabela 2. Valores limite para a velocidade de vibração - NP 2074 (2015)

Foi utilizado um sismógrafo digital da marca Sigicom, modelo C22 (Figura 14), dotado de 3 geofones para medição das 3 componentes de vibração. Cumprindo com a norma NP 2074 (2015), o equipamento permite o registo de frequências no intervalo de 2 Hz a 80 Hz e a medição de velocidade de vibração entre 0,5 mm/s e 80 mm/s.



Figura 13. Localização dos pontos de medição e zonas de cravação.



Figura 14. Exemplos de colocação do equipamento em pontos de medição

Apenas se observaram dois casos pontuais com resultados ligeiramente acima dos indicados na norma em vigor, sendo o limite ultrapassado muito marginalmente. Estes referem-se às medições nos pontos 1 e 3 (construções confinantes com o limite norte) obtidas durante a cravação na Zona I (limite norte). Verifica-se que estes casos apenas ocorreram em situações com uma distância muito reduzida entre o ponto de observação e de cravação das estacas, no entanto não se constatou nenhum tipo de patologia ou dano nas referidas construções.

De acordo com os registos obtidos em todos os outros locais monitorizados, verificouse que as vibrações induzidas às estruturas na envolvente se situaram abaixo dos limites de velocidade em função da frequência.

5 CONCLUSÕES

O sucesso alcançado na execução das estacas cravadas pré-fabricadas de betão armado, definidas para este projeto, permite constatar que em obras inseridas em meio urbano também é possível tirar partido das grandes vantagens técnico- económicas deste tipo de tecnologia de estacas.

Isto depende em grande medida da experiência das empresas executantes e das opções de projeto, nomeadamente no que se refere à análise das condicionantes geológico-geotécnicas, a definição de critérios de conceção e a adoção de medidas construtivas ajustadas.

A medição e monitorização das vibrações induzidas no processo de cravação foi um fator chave para o sucesso e a segurança da obra, constatando-se que as vibrações não foram passíveis de causar patologias nas edificações existentes na envolvente.

6 AGRDECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dono de Obra, ao empreiteiro geral (NAUM – Construções) e ao projetista de estabilidade (JPO-Engenharia) pela estreita colaboração e apoio.

REFERÊNCIAS

Standard test method for high-strain Dynamic testing piles, ASTM International, West Conshohocken, United States of America. ASTM D 4945 (2017).

Avaliação da influencia de vibrações impulsivas em estruturas, IPQ, Caparica, Portugal. NP 2074 (2015).