

## ENSAIO EM MESA SÍSMICA DE UM MODELO DE UMA ESTRUTURA DE CONTENÇÃO BI-ANCORADA

Ana Carvalho

Projetista Sénior  
Bachy Soletanche  
Camberley, Reino Unido  
atcarvalho@sapo.pt

Bruno Mendes

Engenheiro Geotécnico  
NOV-APL  
Arental, Noruega  
bfmendes@sapo.pt

João Bilé Serra\*

Investigador Principal  
LNEC  
Lisboa, Portugal  
biles@lnec.pt

Paulo Candeias

Investigador Auxiliar  
Convidado  
LNEC  
Lisboa, Portugal  
pcandeias@lnec.pt

António A. Correia

Bolseiro Pós-Doutoramento  
LNEC  
Lisboa, Portugal  
aacorreia@lnec.pt

Alfredo Campos Costa

Investigador Principal  
LNEC  
Lisboa, Portugal  
alf@lnec.pt

### SUMÁRIO

A resposta sísmica de cortinas bi-ancoradas suportando areia é avaliada com recurso a ensaios dinâmicos  $1g$  em mesa sísmica. São apresentados e discutidos os aspetos relacionados com a execução do modelo físico, nomeadamente o faseamento construtivo e os equipamentos de observação utilizados. São apresentadas as condições de realização dos ensaios e discutidos os resultados obtidos.

**Palavras-chave:** dinâmica de solos; modelo físico  $1g$ ; cortinas ancoradas; contentor flexível.

### 1. INTRODUÇÃO

A resposta sísmica de um modelo reduzido de uma cortina bi-ancorada suportando areia, foi avaliada com recurso a ensaios dinâmicos  $1g$  efetuados em mesa sísmica. Estes ensaios foram realizados no âmbito de um projeto de investigação recente, que versou a identificação da resposta sísmica de estruturas de contenção multi-ancoradas e em que a abordagem recorreu a modelação física e a modelação numérica [1].

No estudo realizado foi necessário dimensionar e construir um modelo físico específico, incluindo a concepção da cortina e das ancoragens, bem como o contentor flexível que lhe serviu de receptáculo e um chuveiro de areia para a execução do maciço de solo no seu

interior. A questão do dimensionamento do contentor, com apresentação e discussão dos critérios que estiveram na base da sua construção, bem como a concepção do chuveiro de areia, foram assuntos tratados em anteriores publicações [1]. Aí foi igualmente abordada a problemática das condições de fronteira e a forma da sua materialização nas faces internas do contentor.

No presente artigo identificam-se as principais grandezas a controlar durante os ensaios a 1g e os diversos equipamentos instalados para a sua monitorização no âmbito do projeto supramencionado. Neste artigo são ainda apresentados e analisados os resultados dos ensaios do modelo físico com cortina ancorada.

## 2. CARACTERÍSTICAS DO MODELO FÍSICO

### 2.1 Execução do modelo físico

A preparação e a montagem do modelo físico segue uma determinada sequência: (i) preparação das superfícies internas do contentor; (ii) execução do modelo propriamente dito, de forma faseada previamente definida, constituído pelo maciço de areia e pelos elementos estruturais; (iii) instrumentação, com a colocação e calibração dos transdutores; (iv) realização do ensaio em mesa sísmica, e (v) desmontagem do modelo e esvaziamento do contentor.

O contentor agora disponível no LNEC, concebido no âmbito do presente projeto, é constituído por dezasseis quadros (aros retangulares) de alumínio, perfis RHS 85x2, intercalados, por colagem, com elementos de borracha com secção de 75x30 mm<sup>2</sup>, cujas características garantem o funcionamento do conjunto como viga de corte (Figura 1). As dimensões internas do contentor em planta são 750x2000 mm<sup>2</sup>, por 1840 mm de altura.

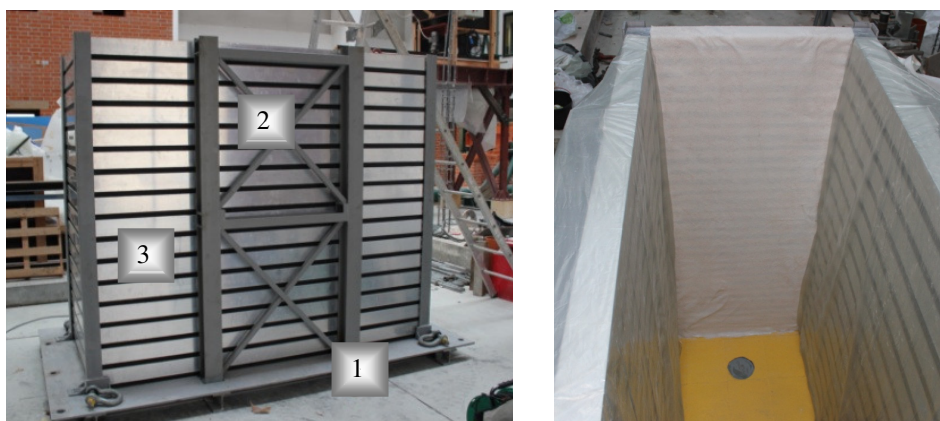


Figura 1. Vistas do contentor flexível (1-Base; 2-Contraforte; 3-Cantoneira).

O contentor encontra-se assente sobre chapa de aço com 1400x2600 mm<sup>2</sup> de área e 12 mm de espessura, reforçada com perfis HEB100 (4x2), soldados entre si. A chapa contém três aberturas para possibilitar a descarga do solo do interior do contentor (duas laterais com Ø150 mm e uma central com Ø200 mm).

Para controlar um eventual deslocamento transversal descontrolado durante o ensaio, existem dois contrafortes laterais compostos por perfis HEB100, interligados entre si por perfis UNP100 e por RHS30×2.6 dispostos em forma de cruz. Entre os contrafortes e os anéis de alumínio existe uma lâmina de Teflon para redução do atrito em caso de contacto entre estes elementos. Pretende-se garantir a materialização de deformação bidimensional no plano longitudinal.

Nos cantos foram introduzidas quatro cantoneiras LNP80×10 verticais, que se interligam ao contraforte lateral próximo através de varões roscados M12, cl8.8. Estes elementos pretendem essencialmente controlar eventuais deslocamentos acidentais durante o enchimento e a movimentação do contentor, sendo removidos para realização do ensaio. Assim, durante a fase de enchimento do contentor com solo e de transporte para a mesa sísmica, aquelas cantoneiras são justapostas aos anéis da caixa, formando um bloco e impedindo eventuais deslocamentos indesejados, provocados pelo impulso do solo ou pela movimentação.

As superfícies internas do contentor foram tratadas para, por um lado, garantir o desenvolvimento de atrito na base e nas faces de topo (as de menor dimensão) e, por outro, minimizar a ocorrência do mesmo nas faces laterais (as de maior dimensão) [2]. A base do contentor foi tornada rugosa mediante a colagem de uma lixa grossa, de modo a possibilitar a mobilização de atrito. No mesmo sentido procurou-se aumentar o atrito nas paredes de topo do contentor através da colagem de uma manta geotêxtil (face exterior) com areia colada na face interior. Por outro lado, nas paredes laterais do contentor procurou-se minimizar o atrito, pela colocação de três películas de plástico sobrepostas numa sequência particular. Na Figura 1, anteriormente apresentada, é possível observar o aspeto das faces interiores do contentor após tratamento.

Para execução do maciço de solo com características previamente definidas, foi necessário conceber e construir um chuveiro de areia (Figura 2), dimensionado para o tipo de solo a utilizar e tendo em conta as dimensões do contentor e a altura de queda alcançável. Este chuveiro de areia foi concebido e construído no Centro de Instrumentação Científica do LNEC [3].

O chuveiro de areia consiste numa estrutura de aço, que suporta um silo fixo e um pequeno recipiente (carro) que se desloca em dois carris na parte superior da estrutura e que é movido por um motor de engrenagem dirigido por um controlador eletrónico de velocidade. O sistema é amovível, o que possibilita a sua elevação e colocação sobre o contentor flexível. O carro é atestado de areia quando se encontra estacionado sob o silo que contém o material proveniente dos sacos de areia com 500 kg suspensos a partir da ponte rolante. O chuveiro de areia possui uma altura máxima de queda de 2,80 m, uma área de deposição de 0,77x2,20 m<sup>2</sup>, com um fluxo de deposição (estático) entre 586 g/s e 1367 g/s e uma velocidade de translação entre 4 e 14 cm/s.

O solo utilizado nos modelos é a areia comercial SP49 fornecida pela empresa Sibelco. Trata-se de uma areia industrial siliciosa branca, média e limpa, mal graduada, com classificação SP, segundo a Classificação Unificada (ASTM D 2487-85). Tendo em vista a caracterização física e mecânica do solo a utilizar no modelo foi efetuado um programa experimental, que consistiu na realização de ensaios correntes de caracterização, de ensaios de compressão triaxial hidrostática e axissimétrica e de ensaios de coluna ressonante [1].

Previamente foram efetuados testes para calibração do chuveiro de areia e que tiveram como objetivo garantir a execução de um maciço de solo, compacto a muito compacto. Estes testes foram realizados no sentido de procurar identificar a influência dos parâmetros operacionais de controlo, nomeadamente a velocidade e a abertura da base do carro. Os resultados desses testes pode ser consultados em [1].

Com base nos resultados dos testes de calibração do chuveiro e com base nos parâmetros adotados para a velocidade de deposição da areia e a abertura do dispositivo estimaram-se para o maciço de solo resultante, valores médios de índice de compacidade de 90%, 85% e 80%, respetivamente no terço inferior, médio e superior do contentor.

A estrutura de contenção é constituída por três placas de alumínio com espessura de 5 mm, com altura de 1 m, sendo a largura da placa central de 50 cm e das placas laterais de 12 cm. As placas estão ligadas entre si em toda a altura com seis dobradiças de cada lado, igualmente distanciadas, de forma a promover uma articulação linear vertical (efeito de rótula) e assim materializar na zona central uma condição próxima da de deformação plana. Na cortina existem quatro ancoragens em dois níveis, constituídas por cabos de aço com 2 mm de espessura e que, após instalação inicial, vão sendo pré-esforçadas acompanhando a sequência de escavação.



Figura 2. Vista do chuveiro de areia sobre o contentor e imagem de preparação do maciço por chuva de areia.

## 2.2 Equipamentos de observação

A instrumentação incidiu sobre a plataforma da mesa sísmica, a chapa de aço que constitui a base do contentor e os aros de alumínio. O contentor foi instrumentado com recurso a dezasseis acelerómetros, posicionados nos anéis de alumínio numa das faces de topo, que foram identificados segundo uma sequência crescente (de 1 a 16) da base para o topo. Estes acelerómetros tiveram como objetivo a medição da aceleração na direção de aplicação da ação (direção longitudinal), ou seja no sentido da maior dimensão do contentor. No anel superior, nas faces laterais de maior dimensão, foram ainda instalados dois acelerómetros para medição da aceleração transversal do contentor.

Na placa de aço, isto é, na base do contentor, foram instalados dois acelerómetros para medição das acelerações longitudinal e transversal horizontais. Foram registadas as histórias de aceleração e de deslocamentos na superfície da mesa, nas direções longitudinal, transversal e vertical.

No interior do maciço de solo foi instalada na vertical uma ripa de madeira, colocada previamente à chuva de areia, fixa por rotulação na base e instrumentada com acelerómetros instalados em cinco cotas diferentes (AR1 a AR5, cf. Figura 3), para medição na direção horizontal longitudinal.

Para medição dos deslocamentos dos aros de alumínio foram utilizados transdutores de deslocamento, instalados numa estrutura metálica de significativa rigidez relativa, fixa à mesa sísmica.

Foram ainda instrumentados a cortina e os cabos de pré-esforço. Em cada um dos tirantes foi instalado um extensómetro (ET1 a ET4) e a cortina foi instrumentada com extensómetros de fibra óptica, com seis pontos de leitura em cada face (EA1 a EA6 e EB1 a EB6).

Na Figura 3 representa-se a disposição e o código dos diversos equipamentos instalados cujas características técnicas podem ser consultadas em [1].

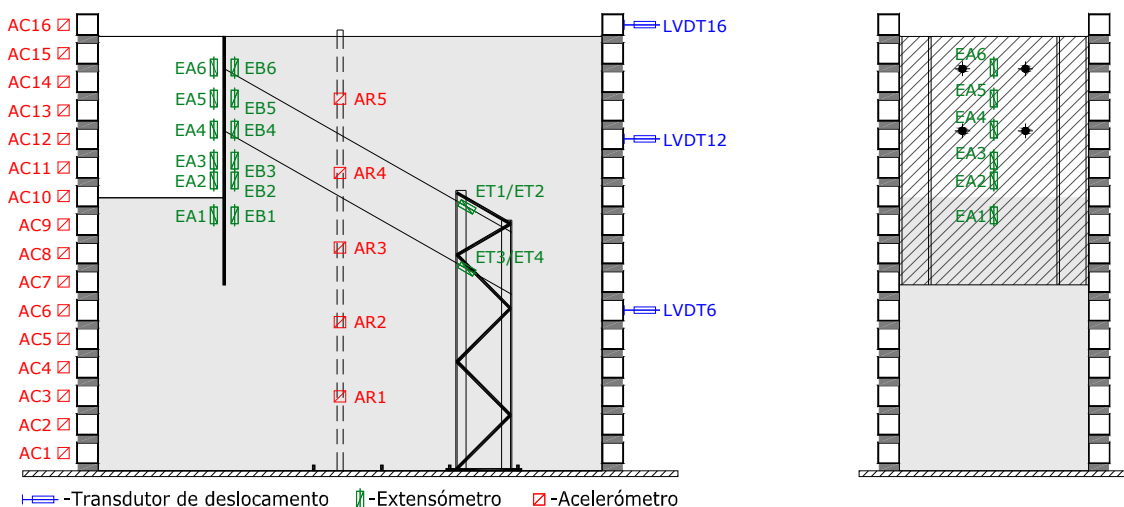


Figura 3. Localização da instrumentação do modelo da estrutura de contenção.

### 2.3 Faseamento construtivo e instalação dos equipamentos de observação

A construção do modelo seguiu uma sequência previamente estipulada, de modo a simular os aspetos construtivos específicos deste tipo de obras e que têm a ver com a realização de uma escavação descendente, por níveis, seguida da execução das ancoragens e instalação de pré-esforço.

Desde o início, o faseamento construtivo consistiu nas seguintes etapas (sendo que a face superior da placa de base do contentor se encontra à cota 0,0 m), esquematizadas na Figura 4:

- Fase 1: Preparação das superfícies internas do contentor e fixação dos montantes à base;
- Fase 2: Realização do maciço de solo até uma altura próxima da base da cortina (0.80 m) e colocação da cortina, por cravação ligeira no maciço de areia já construído, até a sua base ficar à altura de 0,75 m, realização de apoio provisório lateral do topo da cortina e instalação dos cabos das ancoragens;
- Fase 3: Execução do maciço de solo até se atingir a altura máxima (1,75 m);
- Fase 4: Realização de escavação frente à cortina até uma cota ligeiramente abaixo do nível de ancoragens superior (1,55 m) e aplicação de força de tração no cabo;
- Fase 5: Realização de escavação frente à cortina até uma cota ligeiramente abaixo do nível de ancoragens inferior (1,30 m) e aplicação de força de tração no cabo;
- Fase 6: Finalização da restante escavação, ficando a superfície do solo na frente da cortina à altura de 1,10 m.

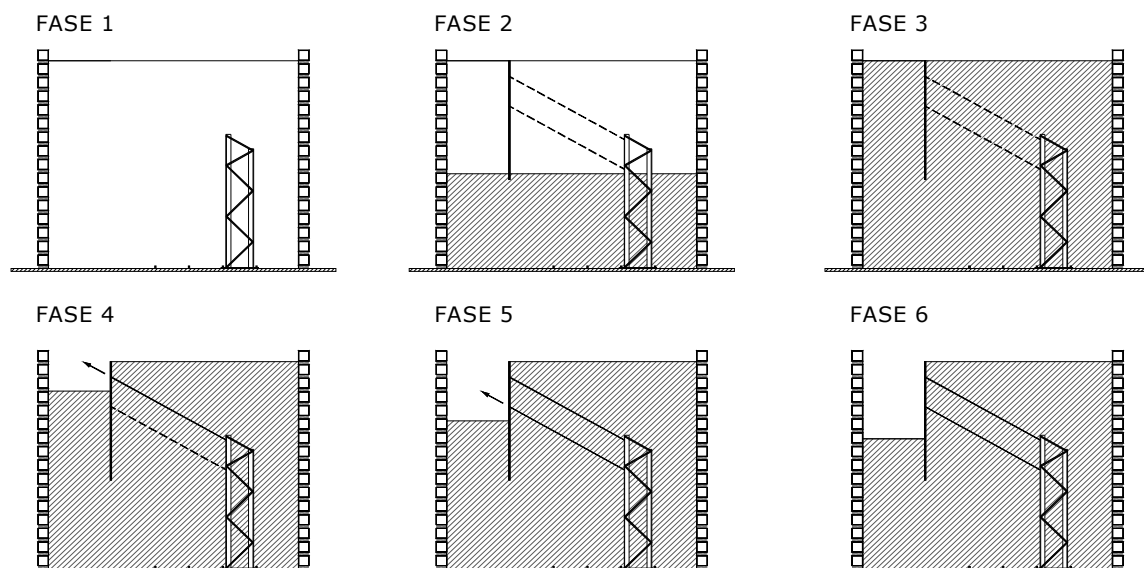


Figura 4. Faseamento construtivo do maciço de areia e de instalação da cortina.

Previamente à instalação da cortina no interior do contentor, a mesma foi instrumentada com recurso a extensometria de fibra ótica, colada diretamente na chapa de alumínio e



posteriormente protegida com fita isoladora (Figura 5). Após as necessárias operações de verificação ou de substituição dos materiais de revestimento das superfícies internas do contentor, procedeu-se à instalação dos montantes de fixação dos cabos, dos tirantes e da ripa de madeira instrumentada, correspondente à Fase 1. Na Figura 6 é possível ver estes elementos e, em pormenor, a instrumentação extensométrica dos tirantes, localizada na sua extremidade junto aos montantes.

Procedeu-se então ao preenchimento do contentor até perfazer a altura de 80 cm, à instalação da cortina e à fixação dos tirantes na mesma (Figura 7) – Fase 2. Seguidamente procedeu-se ao completo enchimento do contentor – Fase 3. Nesta altura, o chuveiro de areia foi retirado e o contentor foi colocado sobre a mesa sísmica e a ela solidarizado.

Posteriormente, procedeu-se à remoção do solo na frente da cortina, de forma faseada. Em cada fase, executou-se a tração dos cabos de ancoragens de modo a simular a aplicação de pré-esforço, com medição contínua do mesmo.

Na Figura 8 é possível ver o aspeto do modelo após escavação do primeiro nível (Fase 4) e após escavação total (Fase 5). A Figura 9 refere-se ao modelo já terminado e pronto para a realização do ensaio - Fase 6. Nesta mesma figura vê-se a estrutura onde se encontravam instalados os transdutores de deslocamento, que se encontrava rigidamente fixa à mesa sísmica. Na Figura 10 é possível ver os acelerómetros instalados nos diversos anéis do contentor.

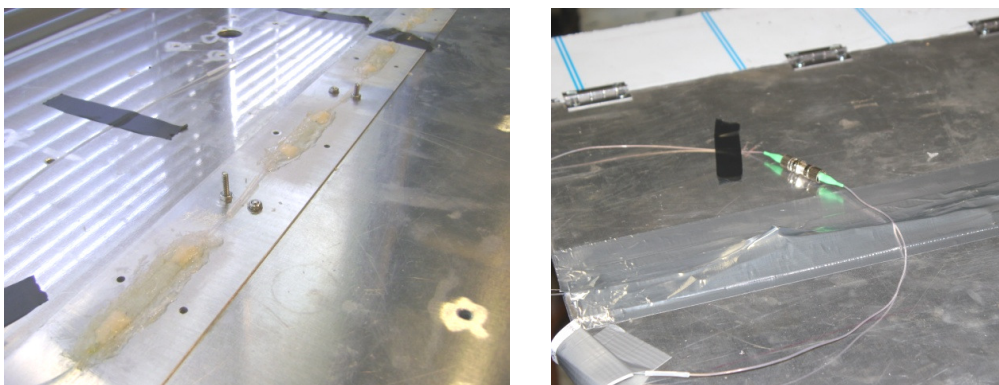


Figura 5. Pormenor da fixação da fibra óptica na cortina.



Figura 6. Vista dos montantes, dos tirantes e da ripa no interior do contentor ainda vazio.



Figura 7. Instalação da cortina e dos tirantes após colocação de solo até à altura de 80 cm.

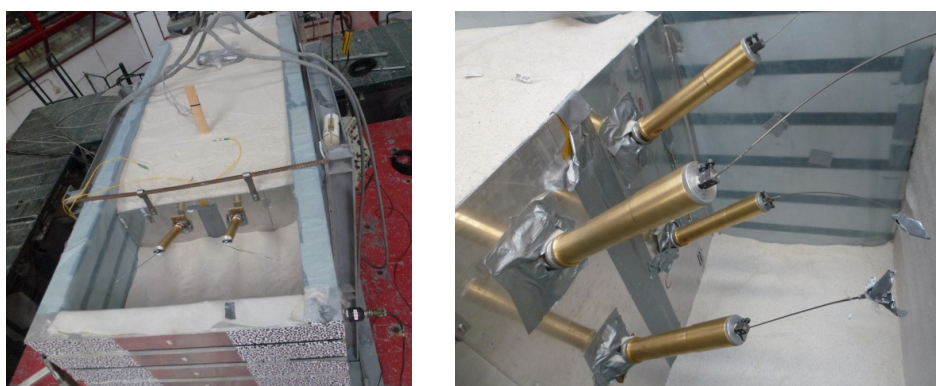


Figura 8. Escavação do primeiro e segundo níveis.

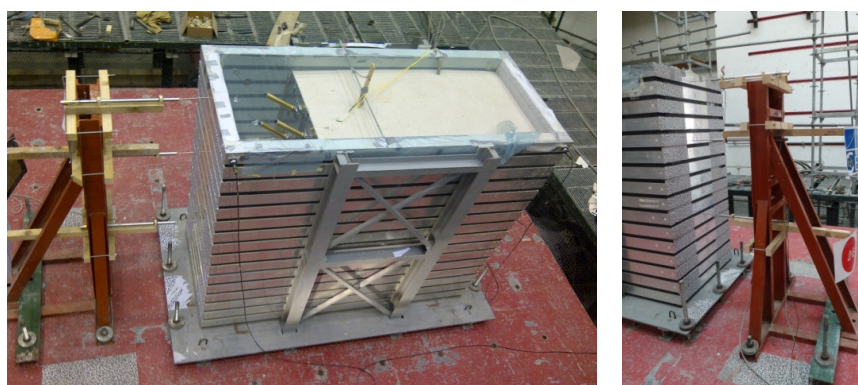


Figura 9. Sistema para medição dos deslocamentos.

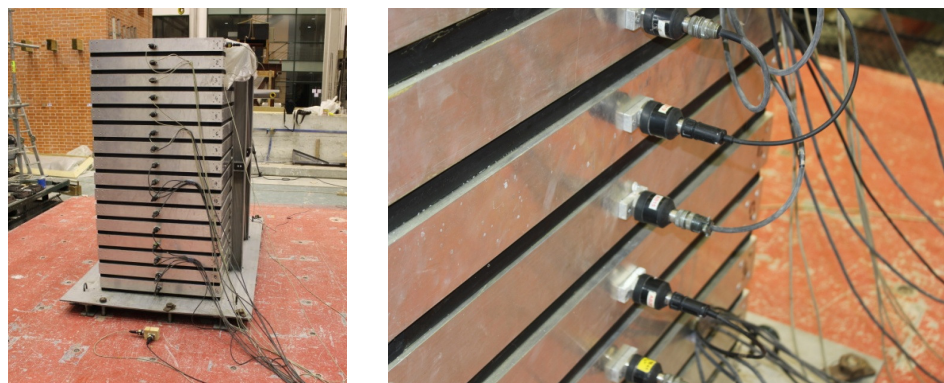


Figura 10. Instrumentação do contentor com acelerómetros num dos topos dos aros.



### 3. ENSAIO DO MODELO EM MESA SÍSMICA

#### 3.1 Condições do ensaio e tratamento de registos

Os ensaios foram realizados no NESDE - Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas do LNEC, na Plataforma Sísmica Triaxial, que está em funcionamento desde 1995. Trata-se de uma mesa sísmica constituída por uma plataforma de aço, com dimensões de 4,6 m por 5,6 m. Possui quatro atuadores hidráulicos, um longitudinal, um vertical e dois laterais. O peso máximo dos modelos é de 392 kN e a aceleração máxima da plataforma vazia é de  $9,4 \text{ m/s}^2$ ,  $18,8 \text{ m/s}^2$  e  $32,25 \text{ m/s}^2$ , respetivamente nas direções longitudinal, transversal e vertical. A gama possível de frequências é de 0,1 Hz a 40 Hz.

Os resultados obtidos nos ensaios realizados na mesa sísmica foram alvo de tratamento recorrendo ao *software* LNEC-SPA – *Signal Processing and Analysis Tools for Civil Engineers*, desenvolvido no NESDE.

#### 3.2 Ações aplicadas na mesa

Numa primeira fase foi aplicada uma ação para caracterização do sistema, com a configuração que consta na Figura 11a em termos de história de deslocamento e na Figura 11b em história de aceleração. Trata-se de um ruído branco de longa duração, mas com baixos valores de aceleração, de modo a minimizar a perturbação sobre o modelo físico.

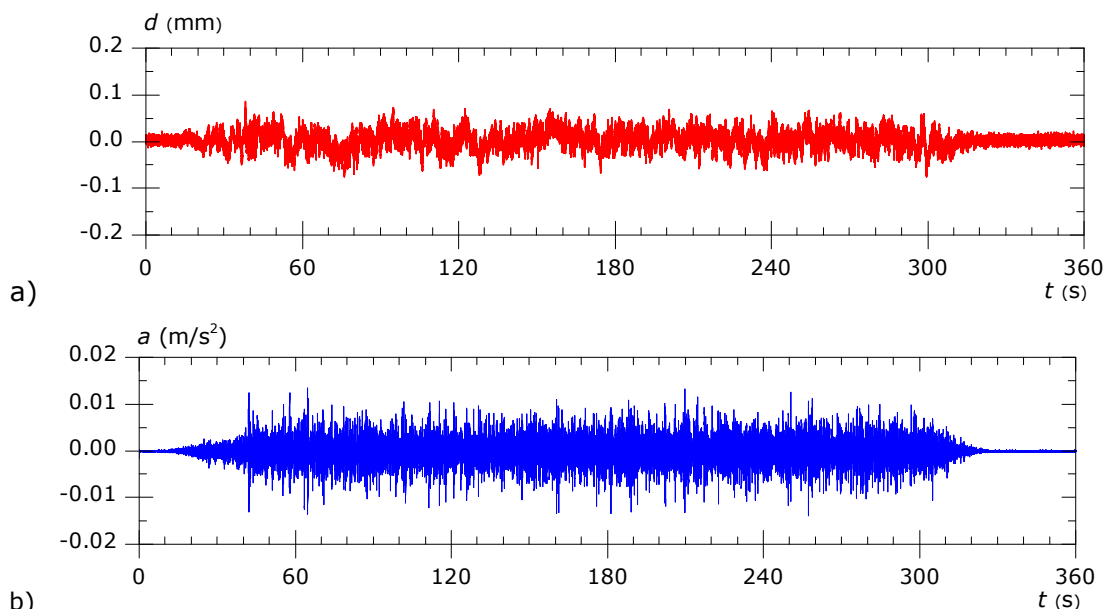


Figura 11. Ação de caracterização - histórias de deslocamento e de aceleração.

Posteriormente aplicou-se uma ação na mesa com duração de 15 s e aceleração de pico de  $2,5 \text{ m/s}^2$ , cujas histórias de deslocamento e de aceleração se podem observar na Figura 12. Esta foi a ação padrão do ensaio, tendo sido a sua amplitude objeto de escalonamento segundo os patamares crescentes que constam do Quadro 1. Neste quadro referem-se

ainda os patamares destinados à caracterização do sistema (CAT) que foram efetuados em determinadas fases do ensaio, para avaliação da eventual alteração da frequência natural do conjunto contentor-solo, reflexo da eventual plastificação do solo ou da estrutura.

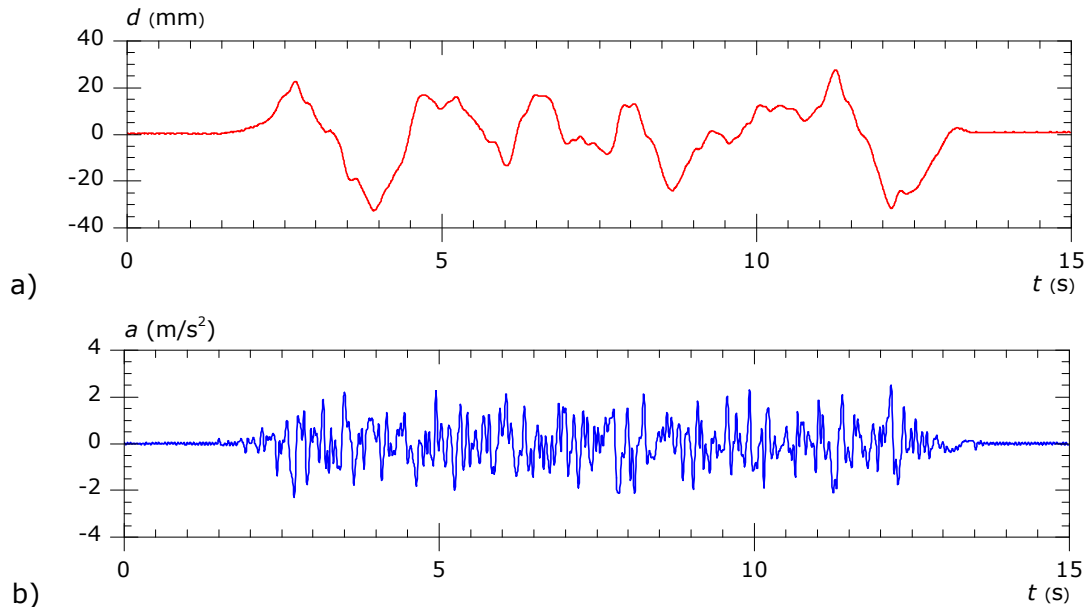


Figura 12. Ação de ensaio - histórias de deslocamento e de aceleração.

Quadro 1. Sequência dos patamares de ensaio do modelo com cortina.

Ensaio	Ação	$a_{max}$ ( $m/s^2$ )
CAT1	Figura 11	0,016
ECC100	Figura 12	2,5
ECC150	$1,5 \times a_{ECC100}$	3,75
ECC200	$2 \times a_{ECC100}$	5,0
CAT2	Figura 12	0,016
ECC300	$3 \times a_{ECC100}$	7,5
CAT3	Figura 12	0,016

### 3.3 Resultados obtidos na caracterização do sistema

A caracterização do sistema permitiu concluir acerca da frequência própria do conjunto e da sua evolução ao longo do ensaio. Na Figura 13 apresentam-se os resultados na fase inicial do ensaio (CAT1), efetuada com base nos registos filtrados passa-baixo a 30 Hz. Nas mesmas condições obtiveram-se os registos para uma fase intermédia do ensaio (CAT2) e no final (CAT3). No Quadro 2 constam os resultados obtidos nos diversos ensaios de caracterização, nomeadamente no que se refere à frequência própria e ao amortecimento, do conjunto contentor-areia. Verifica-se que durante o ensaio não há evolução significativa

das características do sistema, ou seja, a frequência fundamental ( $f_n$ ) praticamente não se altera, situando-se aproximadamente nos 14 Hz, verificando-se apenas um ligeiro decréscimo para a ação de maior amplitude. Os valores de fração de amortecimento crítico ( $\xi$ ) são da ordem de 3%.

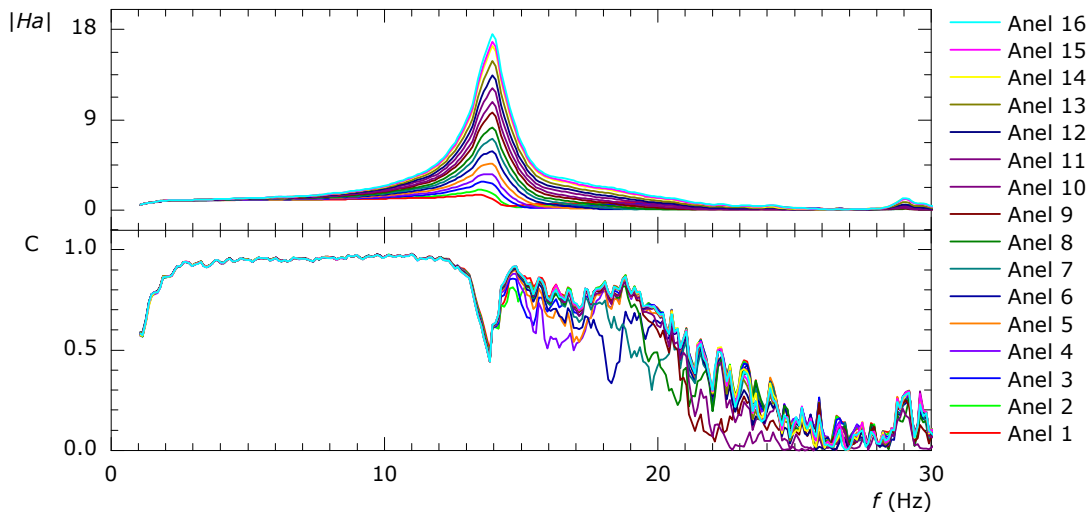


Figura 13. Caracterização do sistema no ensaio do modelo com cortina (CAT1).

Quadro 2. Caracterização do sistema - modo de vibração fundamental.

Caracterização	$f_n$ (Hz)	$\xi$ (%)
CAT1	13,9	3
CAT2	13,9	3
CAT3	13,8	3

### 3.4 Resultados obtidos no ensaio do modelo com cortina

#### 3.4.1 Patamar ECC100

Utilizando o procedimento de dupla integração com correção de remoção de média, determinaram-se as histórias de deslocamento relativo para os diferentes anéis do contentor, tomando por base os registos de aceleração em cada um deles. O mesmo procedimento permitiu, a partir das acelerações registadas na ripa instalada no interior do maciço de solo, determinar os seus deslocamentos relativos. Com base nos resultados é possível traçar e confrontar o perfil dos deslocamentos do contentor com o da ripa. Na Figura 14 consta essa comparação para os instantes de tempo de ocorrência dos valores extremos da amplitude do movimento, ou seja do máximo positivo e do máximo negativo. Em geral verifica-se uma concordância entre os deslocamentos determinados para o contentor e os deslocamentos medidos nos LVDTs. Os deslocamentos registados na ripa apresentam ligeiras diferenças

relativamente aos do contentor, o que já acontecia no ensaio preliminar do contentor preenchido apenas com areia.

Procedeu-se ainda ao registo das extensões na cortina a partir das quais foram então calculados os momentos fletores nas secções de aplicação dos pares opostos de extensómetros (Figura 15).

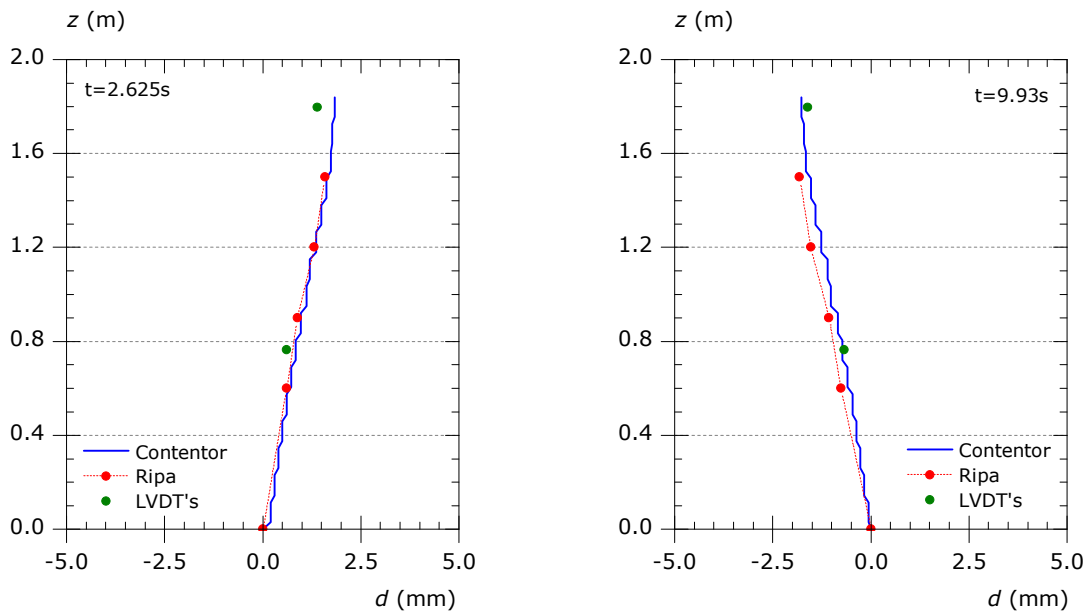


Figura 14. Comparação dos máximos deslocamentos do contentor e da ripa (ECC100).

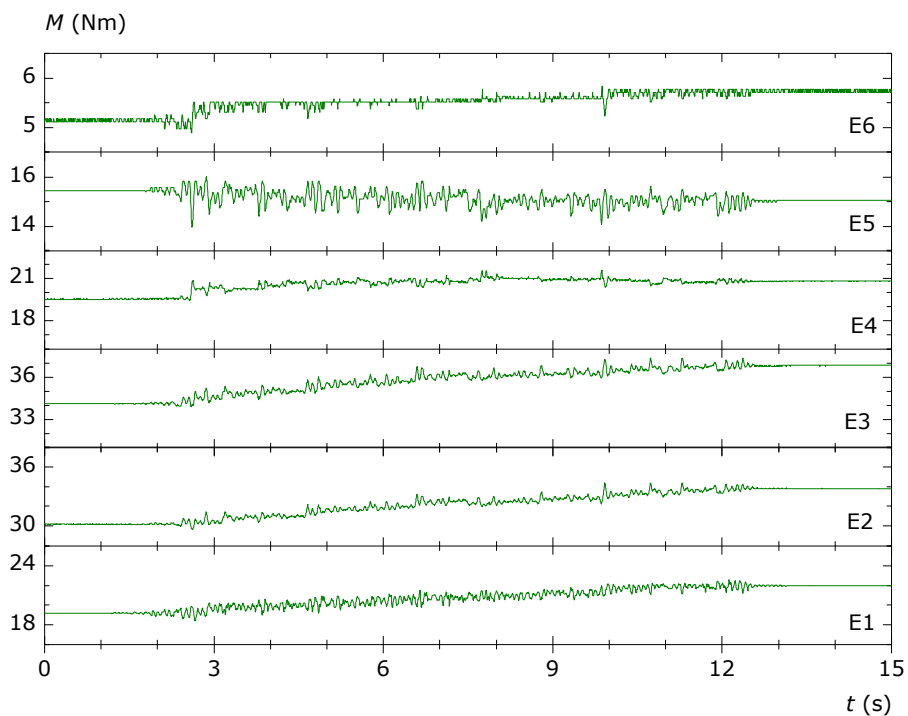


Figura 15. Histórias de momento fletor na cortina (ECC100).



Nas histórias de momento fletor, nos vários pontos da cortina, é possível verificar, em geral, um acréscimo ao longo do tempo. Consta-se, ainda, que o acréscimo é mais acentuado na parte inferior da cortina. Nos pontos de aplicação das ancoragens, a variação do momento fletor relativamente ao inicial, situa-se em 10% a 15% e no troço inferior da cortina varia entre 15% a 20% desse valor. No final da ação permanecem instalados na cortina momentos residuais entre 5% a 15% superiores aos momentos iniciais, de novo ocorrendo as maiores diferenças na zona inferior da cortina.

Com base nestes registos é possível traçar os diagramas de momento fletor da cortina que constam na Figura 16, adotando-se uma aproximação polinomial aos pontos resultantes dos valores registados. Nesta curva fez-se ainda uma estimativa do andamento do gráfico na zona abaixo do plano de escavação, cuja localização é esquematicamente representada a traço interrompido na mesma figura. Verifica-se que o momento fletor máximo ocorre a meio da cortina e tem um valor da ordem de 38 Nm. Neste perfil é ainda possível verificar uma influência diminuta das ancoragens na configuração do gráfico de momentos, o que se deve à considerável rigidez da cortina.

Na Figura 17 apresenta-se a evolução da carga nas ancoragens. Os valores inicialmente aplicados nas ancoragens apresentam algumas variações de caso para caso, reflexo das limitações do sistema de aplicação da carga nos cabos. Verifica-se que as ancoragens de topo apresentam as maiores variações relativamente ao valor inicial; em termos médios situam-se no intervalo [-65%; +30%], enquanto as inferiores mostram uma alteração na gama [-30%; +35%].

No final da ação, os valores residuais são inferiores à carga inicialmente aplicada, com decréscimos da ordem de 50% no caso das ancoragens superiores e de 10% nas inferiores. Ainda assim, não foram observados quer na cortina, quer no solo, indícios de instabilidade.

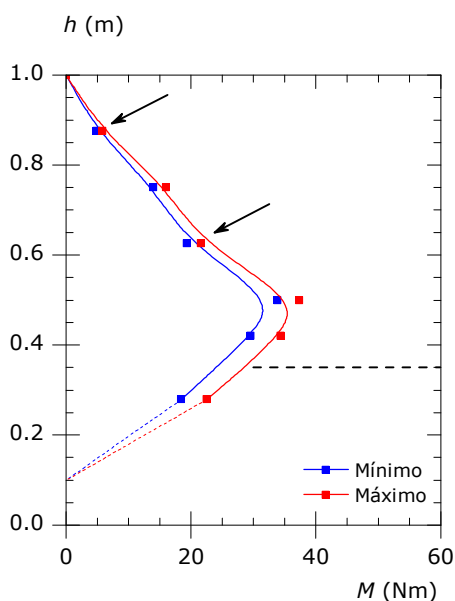


Figura 16. Momentos fletores máximo e mínimo na cortina (ECC100).

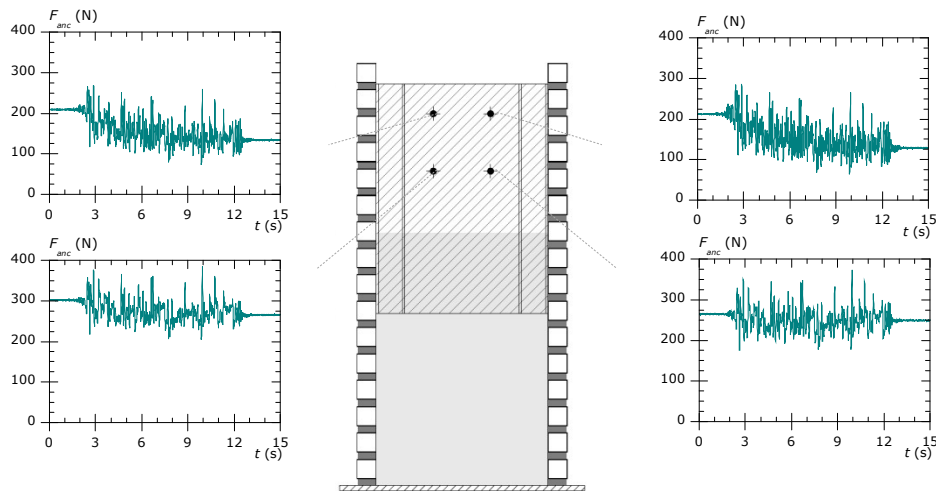


Figura 17. Histórias da força nas ancoragens (ECC100).

### 3.4.2. Patamares ECC150, ECC200 e ECC300

O padrão dos registos dos patamares ECC150, ECC200 e ECC300 é idêntico ao do ensaio ECC100. Mais uma vez se verifica que o contentor e a ripa apresentam perfis de deslocamentos muito próximos, embora nos casos de maior amplitude a ripa mostre um deslocamento ligeiramente superior. No Quadro 3 resumem-se os deslocamentos obtidos para o contentor, para os diversos patamares de ensaio.

Quadro 3. Deslocamentos máximos do contentor.

Patamar	Tempo (s)	Deslocamento (mm)
ECC100	2,625	1,84
	9,930	-1,76
ECC150	2,970	2,90
	10,275	-2,83
ECC200	2,775	4,23
	5,205	-4,49
ECC300	2,925	7,50
	8,000	-9,10

No Quadro 4 consta o resumo de todos os resultados obtidos, relativamente ao momento fletor máximo ( $M_{max}$ ), à percentagem da variação do momento máximo relativamente ao momento inicial ( $\Delta M_{max}/M_{esc}$ ) e à razão entre o momento residual no final da ação sísmica ( $M_{res}$ ) e o momento no final da escavação ( $M_{esc}$ ). Verifica-se que, em geral, o momento máximo cresce com a amplitude da ação, sofrendo um acréscimo durante a excitação, que

varia entre 10% e 25% do momento inicial, e, no final, o momento residual é cerca de 10% a 15% superior ao inicial.

Quadro 4. Momentos fletores na cortina.

Patamar	$M_{esc}$ (Nm)	$M_{max}$ (Nm)	$M_{res}$ (Nm)	$\Delta M_{max}/M_{esc}$ (%)	$M_{res}/M_{esc}$ (%)
EC100	34,1	37,4	36,9	10	108
EC150	36,8	43,6	42,4	19	115
EC200	42,5	49,4	48,0	16	113
EC300	45,0	56,2	52,2	25	116

Finalmente, no Quadro 5 constam, para os níveis superior (1º) e inferior (2º), os valores de força máxima ( $F_{anc,max}$ ) e mínima nos cabos ( $F_{anc,min}$ ), a variação observada relativamente à força inicial ( $\Delta F_{anc,max}/F_{anc,esc}$ ) e a percentagem da força residual relativamente à inicial ( $F_{anc,res}/F_{anc,esc}$ ). Consta-se que as maiores flutuações do registo de força ocorrem, em geral, para a ação com maiores amplitudes. Para a ação menos intensa o pré-esforço residual é inferior ao inicial, enquanto para ações de maior amplitude é superior, crescendo a relação com a amplitude da ação.

Quadro 5 – Pré-esforço nas ancoragens

Patamar	Nível	$F_{anc,max}$ (N)	$F_{anc,min}$ (N)	$\Delta F_{anc,max}/F_{anc,esc}$ (%)	$F_{anc,res}/F_{anc,esc}$ (%)
ECC100	1º	286	64	35	-39
	2º	384	175	40	-12
ECC150	1º	378	20	185	-22
	2º	528	95	112	13
ECC200	1º	514	20	404	16
	2º	677	-35	149	23
ECC300	1º	821	22	600	43
	2º	1020	-55	210	32

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no ensaio do modelo com cortina indicam um valor de frequência própria do conjunto contentor-modelo de 14 Hz. Os deslocamentos do contentor sofrem um acréscimo com o aumento da amplitude da ação e são semelhantes aos deslocamentos registados no tardoz da cortina. Apenas para os casos de maior amplitude da ação os últimos são ligeiramente superiores aos primeiros.

Os registos de momentos fletores em determinados pontos da cortina permitem concluir haver um incremento desta grandeza com o aumento da amplitude da ação. As variações do momento fletor durante a ação sísmica, situam-se entre 10% e 25% acima do valor do momento fletor inicial. No final fica instalado na cortina um momento fletor residual superior ao que existia após a escavação, numa percentagem entre 10% e 15%, aproximadamente. De uma forma geral verifica-se que não é notório o efeito da força aplicada nas ancoragens, no diagrama de momentos fletores, devido à elevada rigidez da cortina.

A carga nas ancoragens apresenta uma variação significativa durante a aplicação da ação, relativamente ao pré-esforço inicial, variando entre valores da ordem de 35%, no ensaio ECC100, e de 600%, no ensaio ECC300. No final, a força residual varia entre um decréscimo e um acréscimo de cerca de 40%. As maiores flutuações na carga dão-se para as ações de maior amplitude.

O ensaio do modelo com cortina permitiu avaliar a variação de diversas grandezas importantes para uma estrutura deste tipo, como sejam o valor do pré-esforço nas ancoragens e o momento fletor na cortina. Os patamares de excitação aplicada permitiram verificar o incremento da flutuação da gama de valores obtidos, com o acréscimo da amplitude da ação. A realização deste ensaio possibilitou ainda identificar correções a fazer nos ensaios futuros, nomeadamente no sistema de aplicação da força na ancoragem e a rigidez da cortina.

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à FCT – Fundação para a Ciência e Tecnologia, que no âmbito do projeto nº PTDC/ECM/77372/2006, possibilitou a realização da componente experimental.

#### **REFERÊNCIAS**

- [1] Carvalho, A.T. - *Resposta Sísmica de Cortinas Ancoradas. Modelação Física e Numérica*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, 2013.
- [2] Carvalho, A.T.; Mendes, B.; Bilé Serra, J.; Campos Costa, A.; Candeias, P. - Projeto de Contentor para Ensaios Dinâmicos 1g. Critérios de Minimização dos Efeitos de Fronteira. *13º Congresso de Geotecnia*, LNEC, 2012.
- [3] Oliveira, F.; Freitas, A.; Morais, P.; Mendes, B.; Carvalho, A.T.; Bilé Serra, J. - A travelling sand pluviator to reconstruct large soil specimens. *15th International Conference on Experimental Mechanics*, FEUP, 2012.