

2025

SEMINÁRIO



# Argila Expandida

Sustentabilidade e Resiliência em Soluções Geotécnicas



ORGANIZAÇÃO



LECA  
PORTUGAL S.A.



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

APOIOS INSTITUCIONAIS



ORDEM  
DOS  
ENGENHEIROS





## Andrea Brito

COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS  
LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

p.03



## José Estaire

COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA  
EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD

p.120



## Ana Raquel Fernandes

SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS:  
ESTUDO COMPARATIVO

p.42



## Ying-Ching Lin

USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

p.164



## Domingos Moreira

MUROS DE SUPORTE  
COMO DOMINAR AS AÇÕES

p.55



## José Luis Cuenca Lorenzo

APLICAÇÃO DE GEOTELHAS EM COMBINAÇÃO  
COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

p.182



## Alexandre Pinto

SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS DE ATERROS DE  
COMPENSAÇÃO COM RECURSO A AGREGADOS  
LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

p.79



A argila expandida (agregado leve de argila expandida) encontra-se hoje plenamente integrada no conjunto de soluções disponíveis para a Engenharia Civil, com relevância consolidada em Geotecnia. O seu interesse é objetivo e tecnicamente sustentado em múltiplos contextos, nomeadamente na redução de cargas e de tensões efetivas sobre fundações compressíveis, na diminuição de impulsos em estruturas de suporte, na promoção de condições de drenagem e na mitigação de patologias associadas à deformabilidade e a enquadramentos hidrogeológicos desfavoráveis. Em Portugal, o principal constrangimento à sua adoção alargada não tem residido na ausência de aplicações, mas sim na qualidade, rastreabilidade e transferibilidade do conhecimento aplicado. Em particular, na definição de critérios de dimensionamento coerentes, em procedimentos de controlo de execução mensuráveis e na existência de evidência de desempenho em serviço devidamente documentada.

Foi neste enquadramento que se realizou o seminário “Argila Expandida: Sustentabilidade e Resiliência em Soluções Geotécnicas”, a 1 de outubro de 2025, no Grande Auditório do LNEC, em Lisboa, organizado conjuntamente pela Leca Portugal, S.A. e pelo LNEC, com apoio institucional da Sociedade Portuguesa de Geotecnia (SPG), da Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) e da Ordem dos Engenheiros (OE). O evento reuniu 110 participantes presenciais, em representação de 52 empresas e instituições, refletindo o interesse crescente na aplicação da argila expandida em soluções de engenharia mais sustentáveis e resilientes. O seminário constituiu um fórum de discussão técnico-científica entre investigadores, projetistas, empresas e entidades públicas, orientado para a atualização do estado da prática e para a apresentação de casos de estudo e de investigação aplicada.

O presente e-book compila os materiais apresentados, abrangendo, entre outros tópicos: i) comportamento geomecânico e caracterização de agregados leves; ii) avaliação comparativa de sustentabilidade em soluções geotécnicas; iii) dimensionamento e verificação de estruturas de suporte, com enfoque no controlo das ações; iv) experiências de obra em aterros de compensação; v) investigação aplicada e ensaios em infraestrutura ferroviária, incluindo contributos associados ao projeto PEDLER no CEDEX (Madrid); e vi) soluções combinadas com geossintéticos, com particular relevo para a interação material-reforço e para a robustez do desempenho em serviço.



Importa sublinhar um aspeto determinante: a limitação principal à generalização destas soluções não decorre de falta de divulgação ou de inércia da prática, mas sim do risco técnico que, geralmente, é insuficientemente quantificado. A Geotecnia é inerentemente marcada por alguma incerteza e, por isso, a especificação e o licenciamento devem assentar em parâmetros, modelos e procedimentos de verificação que resistam a escrutínio e à auditoria técnica. Em termos mínimos, tal exige: i) caracterização mecânica representativa (incluindo efeitos da presença de água, deformabilidade não-linear, mecanismos de esmagamento/rutura dos grãos, entre outros), com ligação explícita a modelos constitutivos e a critérios de aceitação em obra; ii) dimensionamento verificável e compatível com o enquadramento dos Eurocódigos (nomeadamente o EC7), evitando metodologias “de receita” que omitam hipóteses, estados limite, combinações de ações e margens de segurança; iii) controlo de execução tecnicamente adequado ao material, com métricas e ensaios pertinentes para um agregado leve, incluindo verificação de compactação e de drenagem; e iv) evidência de desempenho em serviço, suportada em observação e/ou instrumentação, incluindo assentamentos, deformações diferidas, resposta sob carregamento cíclico (infraestruturas rodoviárias e ferroviárias) e comportamento hidro-mecânico em condições reais.

Este e-book deve, assim, ser entendido como um instrumento de disseminação e de trabalho, orientado para aproximar investigação aplicada, o projeto e a obra, promovendo uma abordagem baseada em critérios explícitos, hipóteses declaradas e evidência verificável.

Lisboa, 16 de janeiro de 2026

A Comissão Organizadora

Andrea Brito (LNEC), André Paixão (LNEC), Kim Rosenbom (Leca Internacional), Rui Ramos (Leca Portugal)





## Andrea Brito

### COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



Assiste a  
apresentação

**Andrea Brito** é Investigadora Auxiliar no LNEC, com cerca de 20 anos de experiência na área da Geotecnia e mecânica dos solos. Doutorada em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico, especializou-se na modelação numérica e física do comportamento de geomateriais aplicados a barragens de aterro, aterros, fundações e estruturas de suporte. Iniciou a sua carreira como Engenheira Projetista na empresa COBA e desenvolveu trabalho de investigação no LNEC ao longo de várias fases da sua formação académica e científica. Lecionou unidades curriculares de Engenharia Sísmica na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Os seus principais interesses incluem segurança de barragens, avaliação de risco, ensaios laboratoriais e desenvolvimento de modelos constitutivos.





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

### Sumário expandida

- Aplicações de agregados leves de argila expandida
- Principais propriedades das partículas
- Estudos de agregados de partículas:
  - Ensaio edométrico
  - Ensaio de compressão isotrópica
  - Ensaio de compressão KO
  - Ensaio de compressão triaxial
  - Ensaio de compressão uniaxial cíclico
  - Ensaio de compressão triaxial cíclico
- Ensaio de penetração com o compressor
- Conclusões





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Aplicações de agregados leves de argila expandida

### 1 - Aterros Leves

- Objetivo: Reduzir cargas sobre solos moles e compressíveis
- Exemplo: Em zonas com solos argilosos moles ou turfas, o uso de aterros tradicionais (terra, brita) pode causar assentamentos excessivos. A argila expandida, com massa volúmica entre  $300-800 \text{ kg/m}^3$ , minimiza esse problema.
- Aplicações típicas: Construção de acessos viários, rampas de pontes, aterros sobre solos moles.

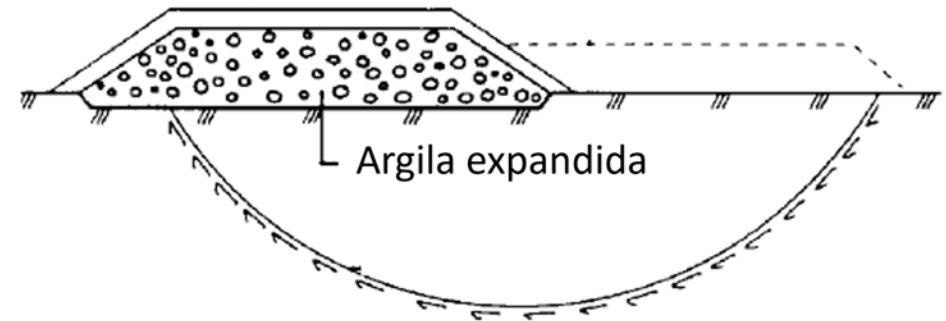


Imagem: SINTEF (2004)





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Aplicações de agregados leves de argila expandida

### 2 - Redução do impulso em muros de contenção

- Objetivo: Diminuir as forças laterais exercidas sobre estruturas de contenção.
- Como funciona: Substitui parte do solo atrás do muro, reduzindo o impulso ativo graças ao seu menor peso volúmico.
- Vantagem: Reduz a espessura necessária do muro.



Imagem: EXCA (2015)



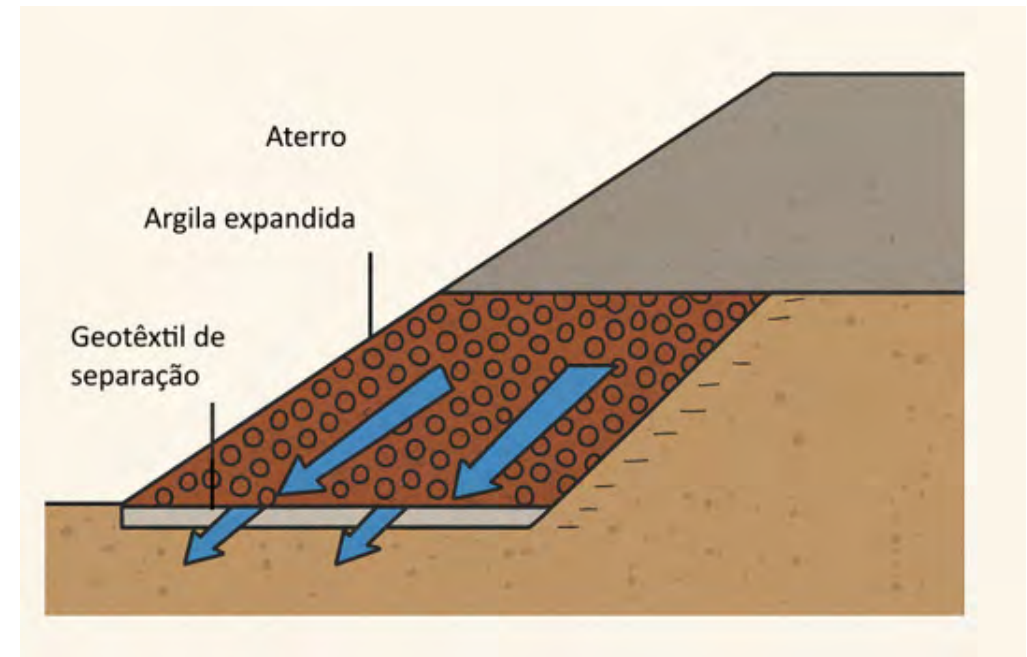


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Aplicações de agregados leves de argila expandida

### 3 - Camadas drenantes

- Objetivo: Melhorar a drenagem e reduzir pressões hidrostáticas.
- Propriedade útil: Alta permeabilidade da argila expandida facilita o escoamento da água.
- Exemplo: Em aterros sanitários ou taludes rodoviários, a argila expandida é utilizada como camada filtrante ou de alívio de pressão.



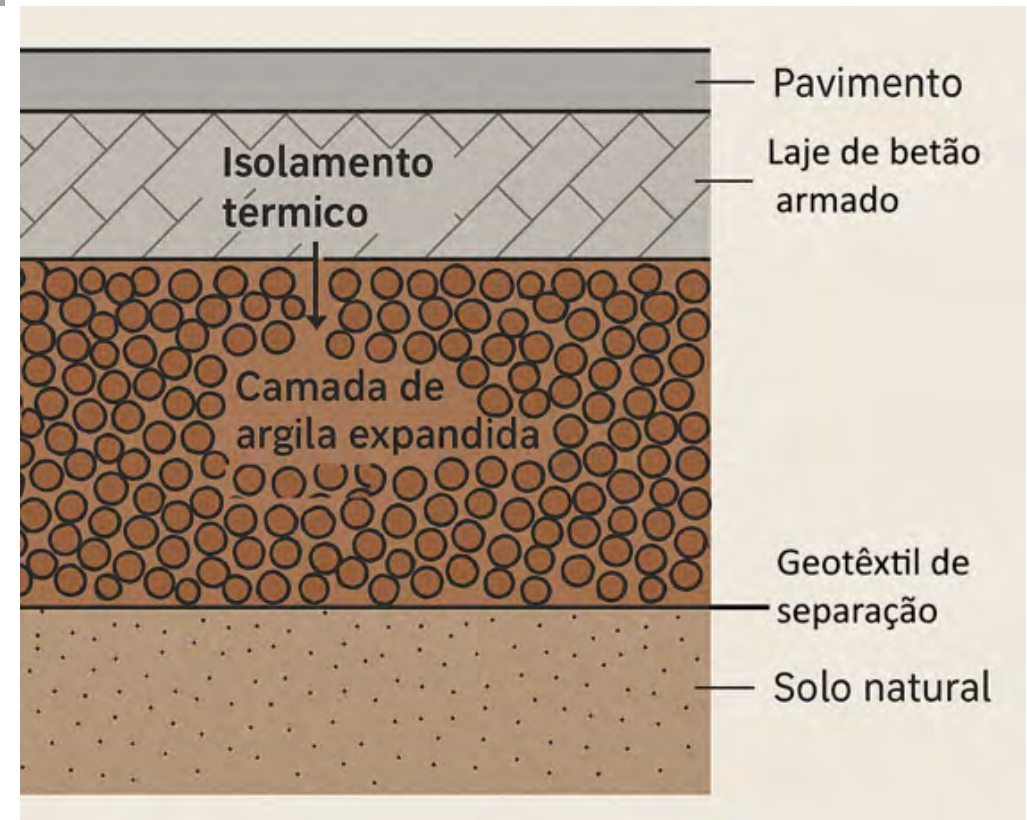


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Aplicações de agregados leves de argila expandida

### 4 - Isolamento térmico de solos

- Objetivo: Proteção contra o congelamento do solo (em países com geadas profundas).
- Como funciona: A baixa condutividade térmica da argila expandida ajuda a manter o solo a temperatura estável, evitando o fenómeno de “frost heave” (expansão por gelo).
- Exemplo de aplicação: Isolamento térmico de solos em armazém logístico - Países Nórdicos



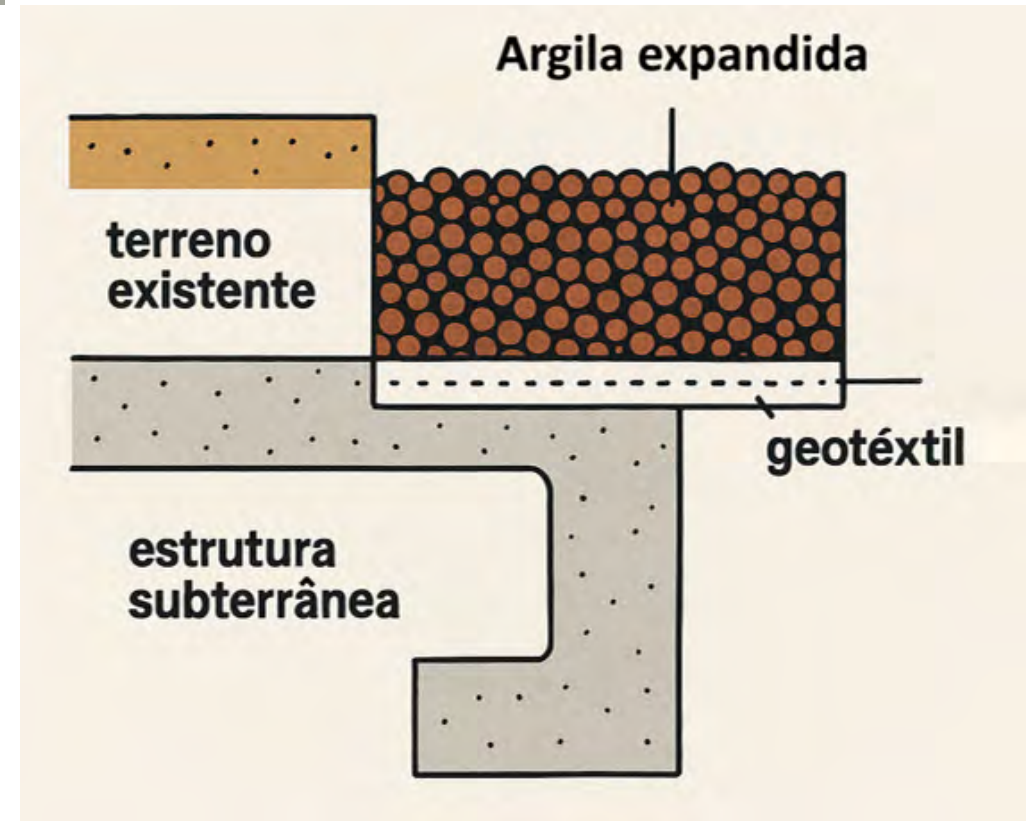


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Aplicações de agregados leves de argila expandida

### 5 - Preenchimentos sobre estruturas subterrâneas

- Objetivo: Aliviar carga sobre túneis, galerias técnicas ou lajes.
- Como funciona: Reduz a sobrecarga permanente sem limitar o volume de preenchimento necessário.





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Aplicações de agregados leves de argila expandida

### 6 - Melhoria de estabilidade de taludes

- Objetivo: Melhorar a estabilidade de taludes.
- Como funciona: Ao substituir parte do solo do talude por argila expandida, o peso total do maciço é reduzido, o que melhora a estabilidade global.
- Exemplo de aplicação: Taludes instáveis próximos a vias-férreas ou rodovias.

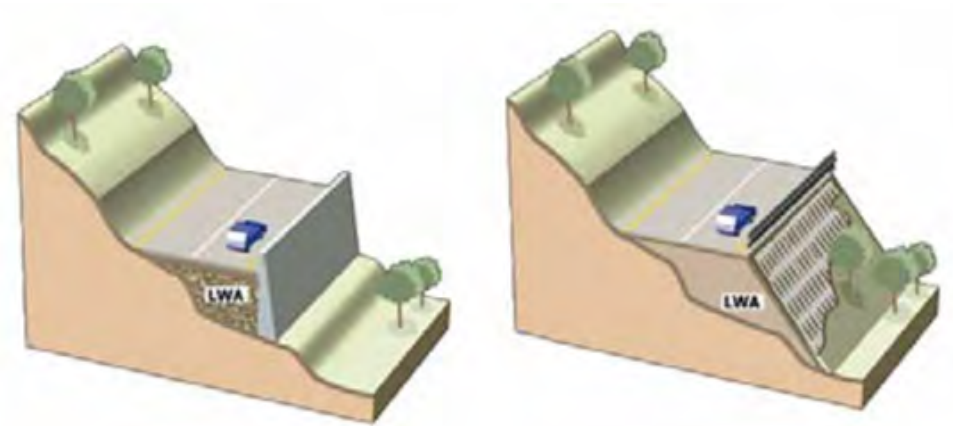


Imagem: Watn et al. (2008)





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Aplicações de agregados leves de argila expandida

### 7 - Substituição de solos contaminados ou instáveis

- Objetivo: Substituir solos contaminados ou instáveis
- Como funciona: A argila expandida, sendo um material industrialmente controlado e quimicamente inerte, pode ser usada para substituir solos inadequados sem risco de contaminação adicional e de alteração química.

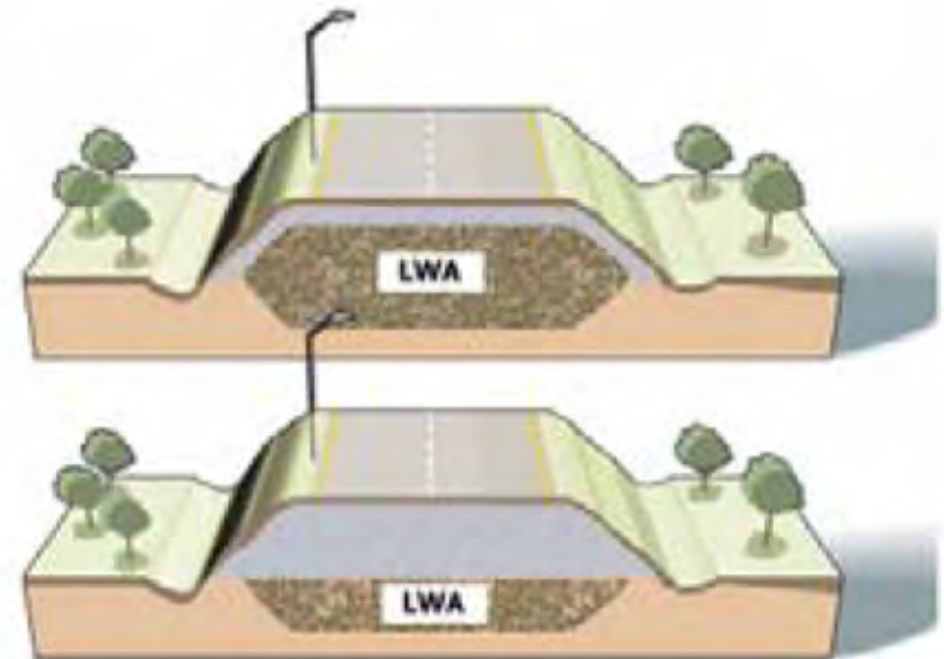


Imagem: Watn et al. (2008)





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

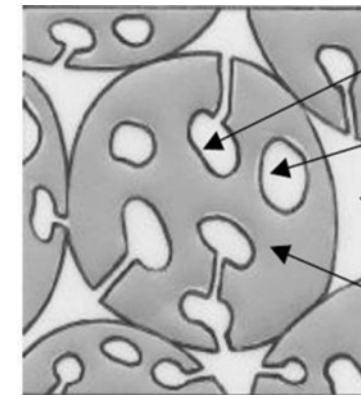
### Principais propriedades das partículas

#### Constituição de uma partícula:

- Argila expandida com estrutura interna semelhante à de uma rocha vulcânica
- Camada exterior: material resultante da junção de carbonato de cálcio na fase final do fabrico

Propriedade física	#10-20	#0-32
Porosidade acessível (%)	80,2	73,4
Massa volúmica aparente seca (kg/m <sup>3</sup> )	424	502
Massa volúmica na saturação (kg/m <sup>3</sup> )	1226	1236
Densidade de partículas sólidas	2,140	1,890
Teor máximo de água (%)	188,9	146,3

Quadro: Caldeira et al. (2012)



vazios que comunicam com o exterior do grão

vazios sem comunicação com o exterior do grão (vazios intraparticulares)

vazios do material de aterro de argila expandida (vazios interparticulares)

Partícula de argila expandida

Imagem: Almeida, P. (2009)





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Principais propriedades das partículas

### Curvas granulométricas

Característica	#10-20	#0-30
Dmin (mm)	0,23	0,1
D10 (mm)	10,0	2,7
D50 (mm)	15,0	13,0
Dmax (mm)	25,0	40,1
Cu = D60/D10	1,60	4,81
Cc = D302/(D60/D10)	1,06	1,52

Quadro: Caldeira et al. (2012)

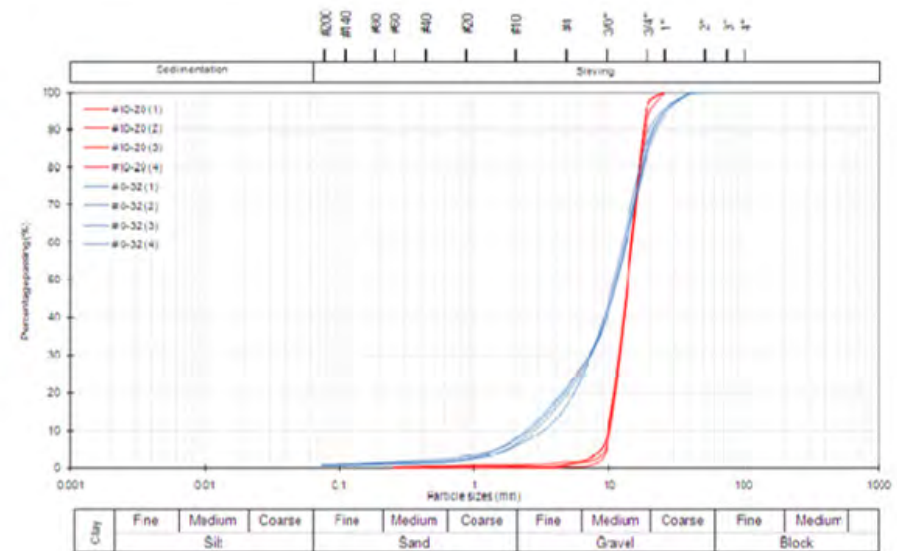


Imagem: Caldeira et al. (2012)

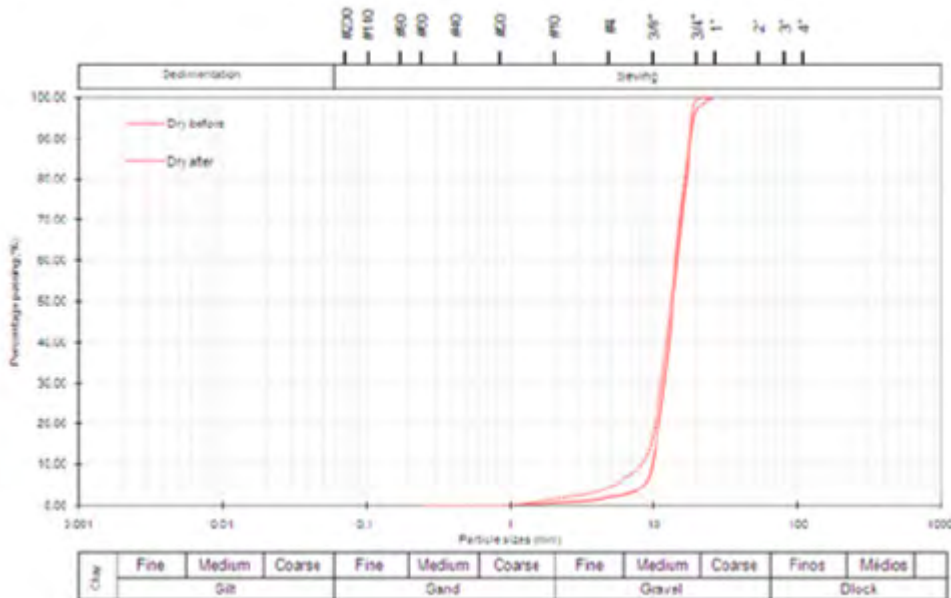




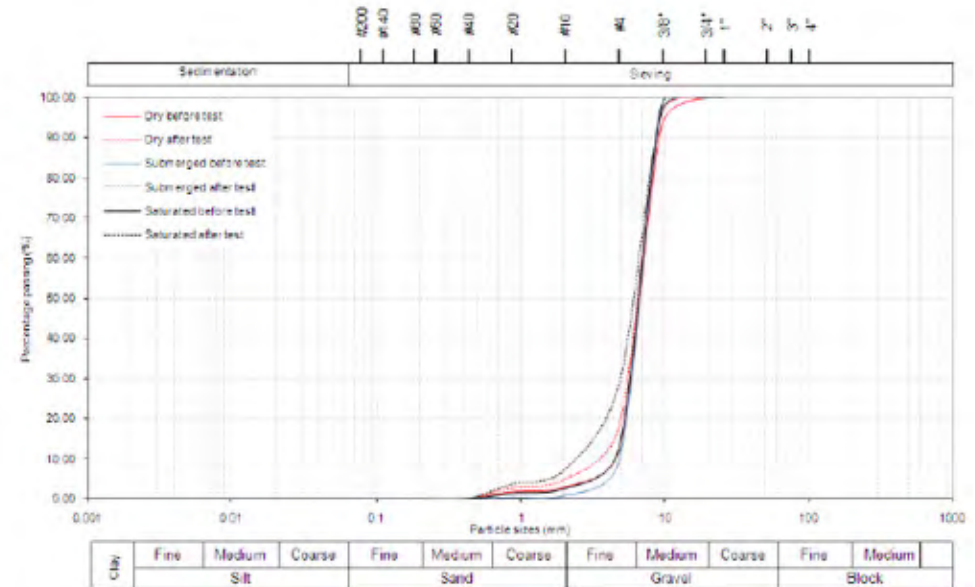
## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Principais propriedades das partículas

### Evolução granulométrica



#10-20, antes e após ensaio edométrico à humidade de laboratório  
Caldeira et al. (2012)



#10-20, antes e após ensaio KO a várias humidades  
Caldeira et al. (2012)

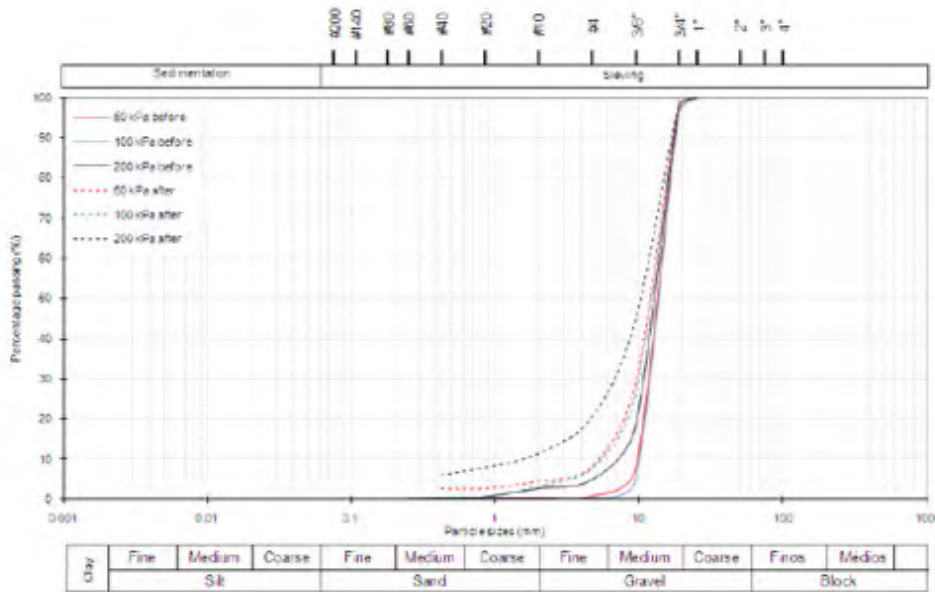




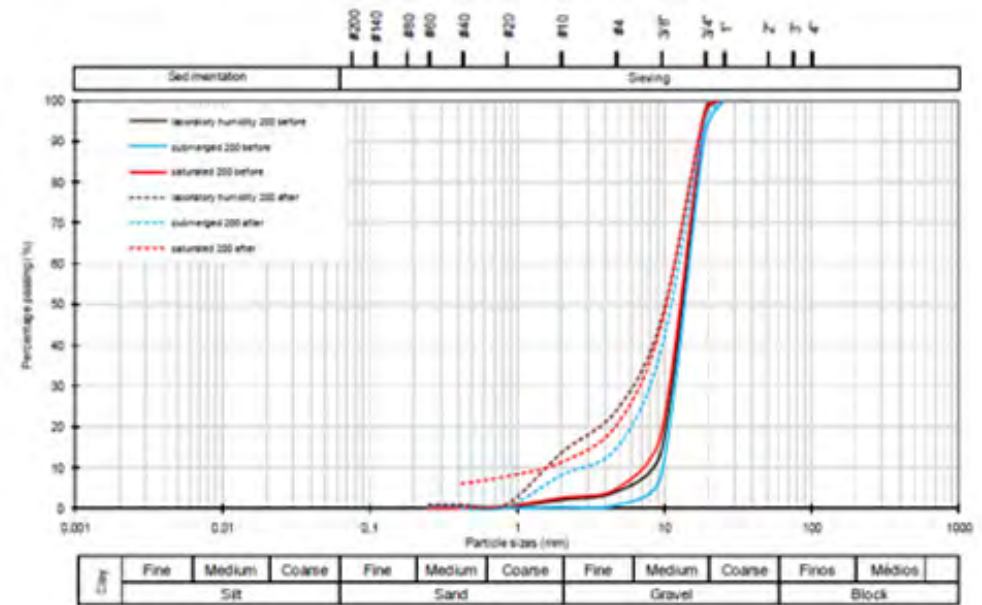
## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Principais propriedades das partículas

### Evolução granulométrica



#10-20, antes e após ensaio triaxial em condições saturada com tensões de confinamento de 50, 100 e 200 kPa  
 Caldeira et al. (2012)



#10-20, antes e após ensaio triaxial em várias condições de saturação com tensão de confinamento de 200 kPa  
 Caldeira et al. (2012)





# COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

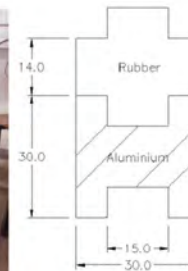
## Ensaio edométrico



Edómetro de 225 mm de diâmetro  
(Caldeira et al., 2012)



Edómetro de 500 mm de diâmetro  
(Caldeira et al., 2012)



Câmara com interação de anéis de borracha e de alumínio



150 mm

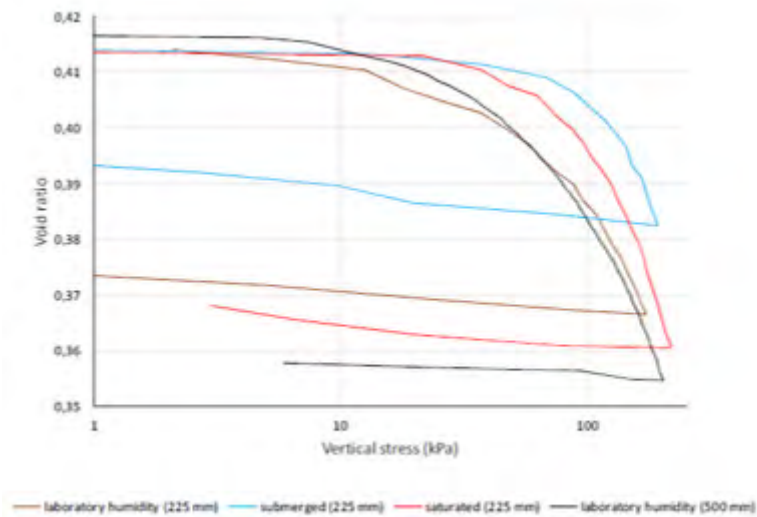




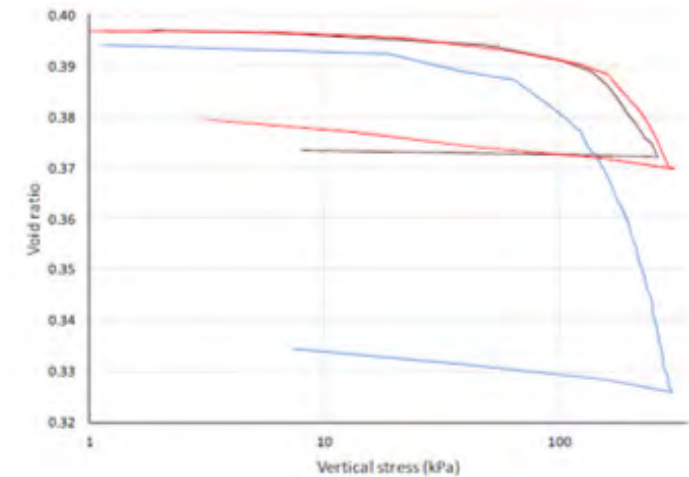
## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio edométrico



#10-20 (escala semi-logarítmica)  
(Caldeira et al. , 2012)  
 $\lambda - 0,0347$  e  $0,0379$



#0-32 (escala semi-logarítmica)  
(Caldeira et al. , 2012)  
 $\lambda - 0,0602$  e  $0,1373$





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

	Areia	Cascalho	AE (Portugal #10-20)	AE (Noruega #4-32)
M	15 - 30 MPa	60 - 120 MPa	5 - 30 MPa	20 - 60 MPa

### Ensaio edométrico

$$M = \frac{d\sigma'}{d\varepsilon} [kPa]$$

$$M = \frac{E(1 - \nu)}{(1 - \nu - 2\nu^2)} [kPa]$$

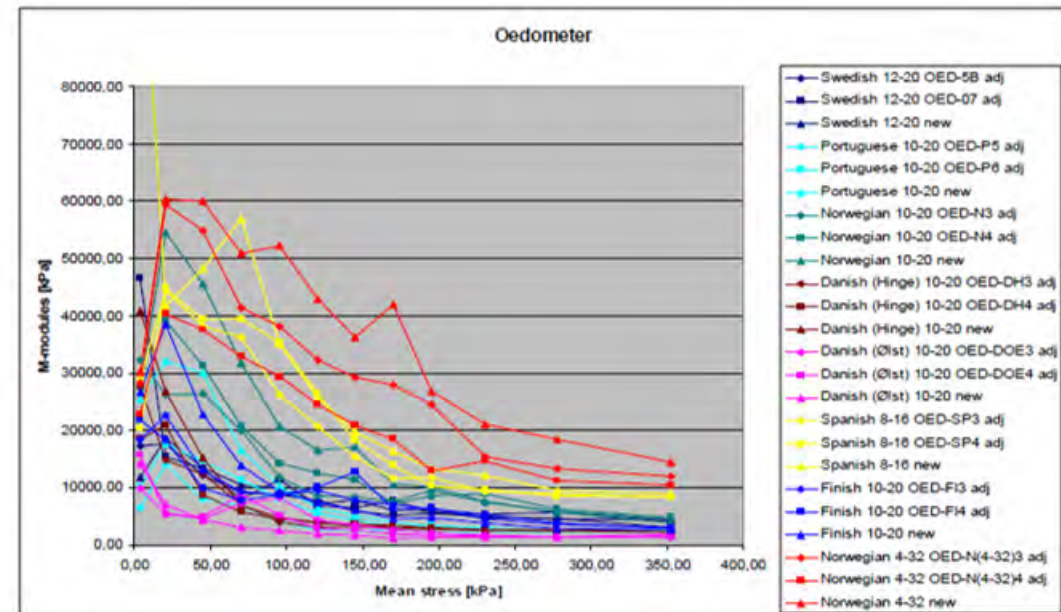
M = Módulo edométrico (kPa)

$d\sigma'$  = Variação da tensão efetiva (kPa)

$d\varepsilon$  = Variação da deformação

E = Módulo de Young

$\nu$  = Coeficiente de Poisson



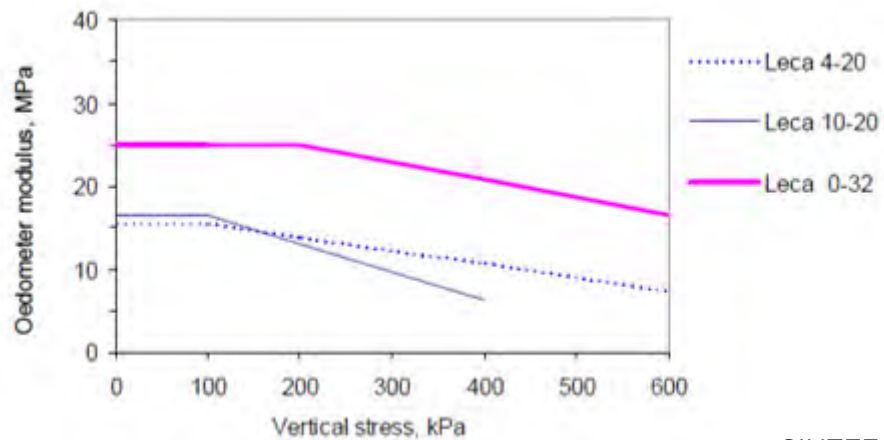
SINTEF (2009)



## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio edométricos



SINTEF (2009)

	Areia	Cascalho	AE (Portugal)
M	15 - 30 MPa	60 - 120 MPa	5 - 30 MPa





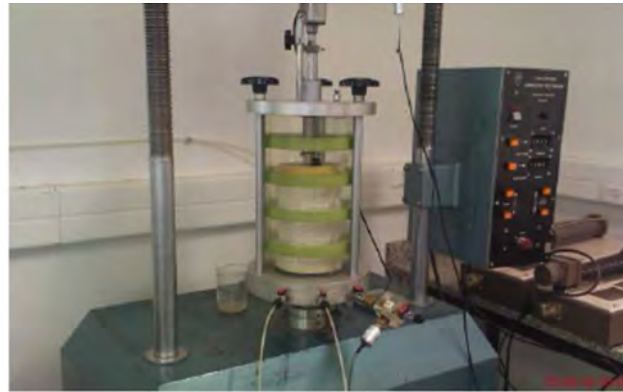
## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão isotrópica



↔  
100 mm



Equipamento utilizado

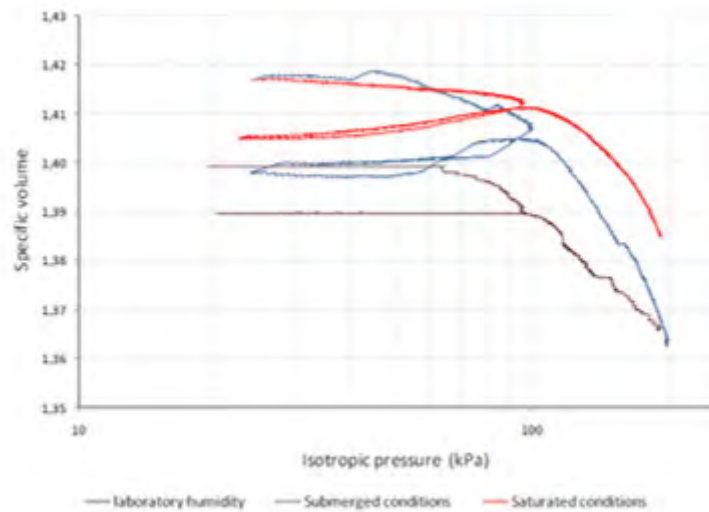




## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

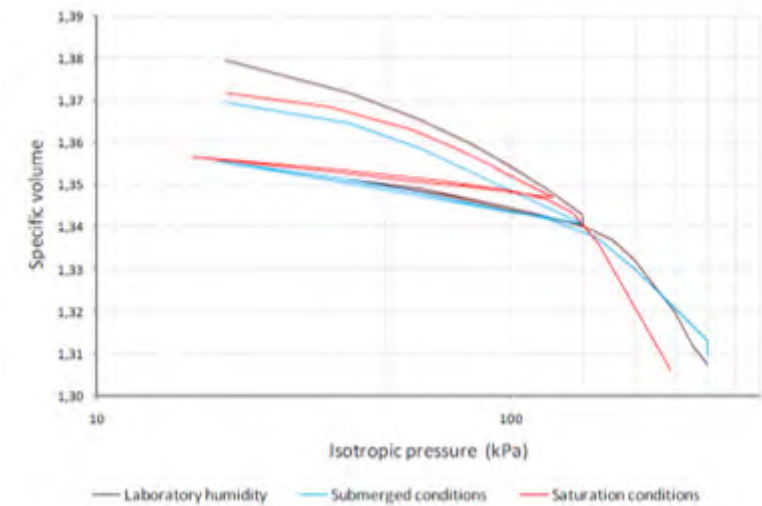
Estudos de agregados de partículas

### Ensaios de compressão isotrópica



- Humidade de laboratório
- Material submerso
- Material saturado

#10-20 (escala semi-logarítmica)  
(Caldeira et al. , 2012)  
 $\lambda$  - 0,0367 e 0,0640



#0-32 (escala semi-logarítmica)  
(Caldeira et al. , 2012)  
 $\lambda$  - 0,0253 e 0,0398

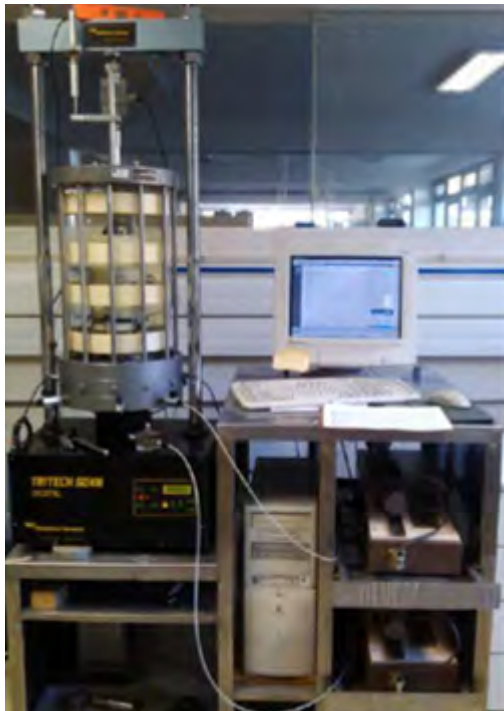




## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão $K_0$



#10-20



↕  
≈ 180 mm

↔  
100 mm

↕  
≈ 450 mm



230 mm  
↔

Equipamento utilizado



#0-32



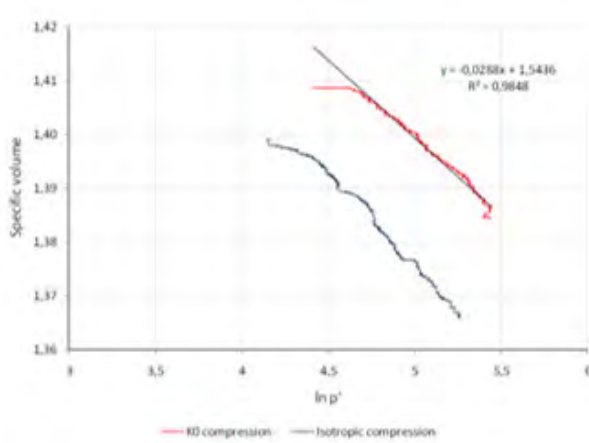


# COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

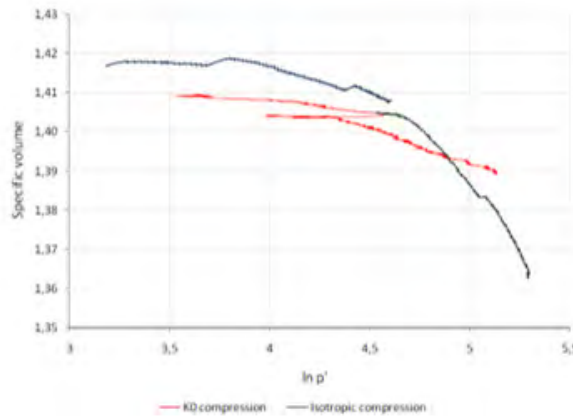
Estudos de agregados de partículas

## Ensaio de compressão $K_0$

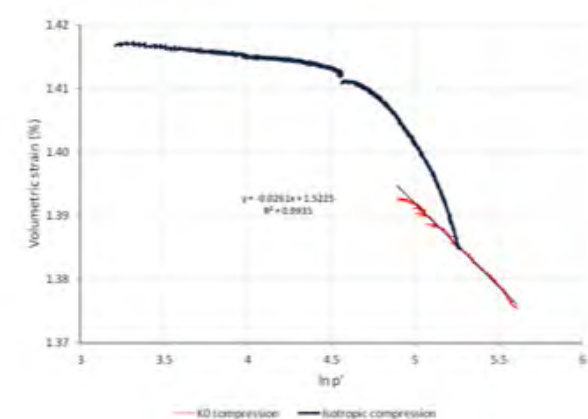
#10-20



Humidade do laboratório



Condições submersas



Condições saturadas

(Caldeira et al. , 2012)





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

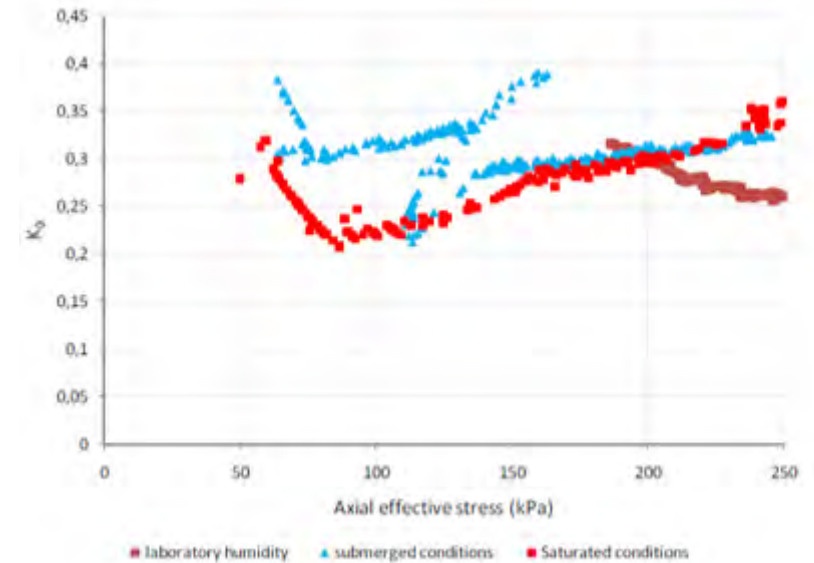
### Ensaio de compressão $K_0$

$K_0$  variável com o estado de tensão

#10-20

0 - 300 kPa →

Condições	Velocidade de corte (mm/min)	Tensão vertical (kPa)	$K_0$	$\lambda$
Humidade do laboratório		200-300	0,276	0,029
Submerso	0,01	142,7-303,1	0,309	0,018
Saturado		196,8-469,5	0,269	0,026



(Caldeira et al. , 2012)



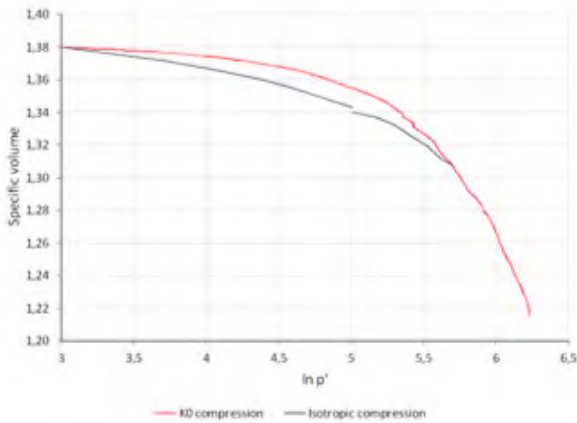


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

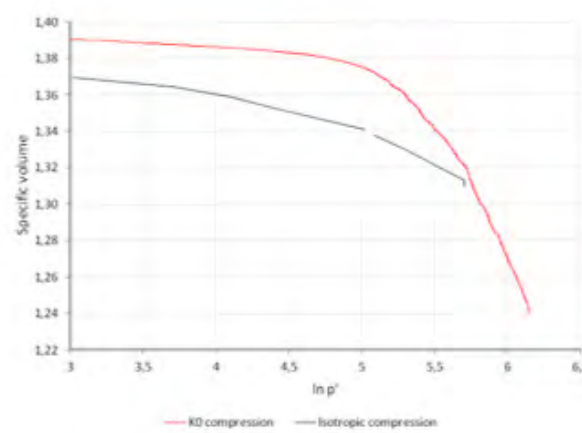
Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão $K_0$

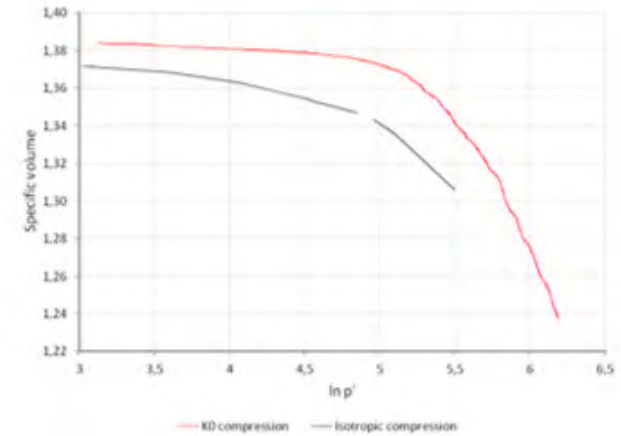
#0-32



Humidade do laboratório



Condições submersas



Condições saturadas

(Caldeira et al. , 2012)





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

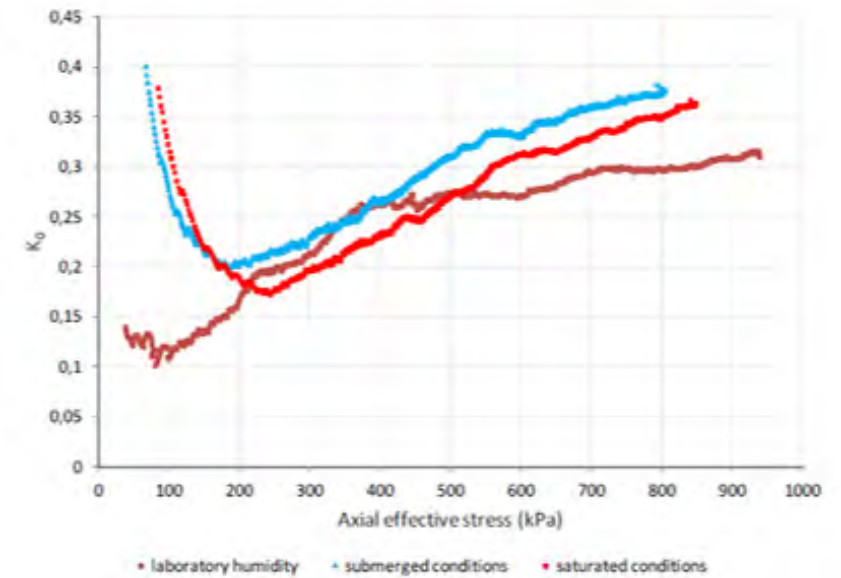
Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão $K_0$

$K_0$  variável com o estado de tensão

#0-32

Condições	Velocidade de corte (mm/min)	Tensão vertical (kPa)	$K_0$	$\lambda$
Humidade do laboratório	0,10	180-300	0,268	0,085
Submerso		160-300	0,284	0,085
Saturado		174-300	0,259	0,088



(Caldeira et al. , 2012)



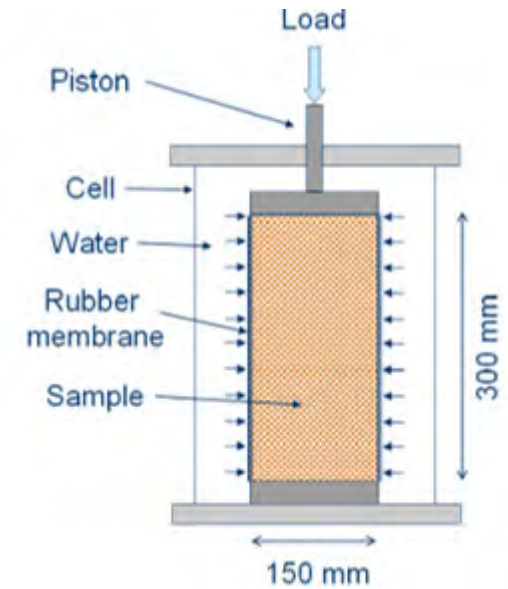


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão triaxial

- Diâmetro da amostra = 150 mm
- Altura da amostra = 300 mm
- Tensões de confinamento:  
20, 40, 80 kPa



SINTEF (2009)



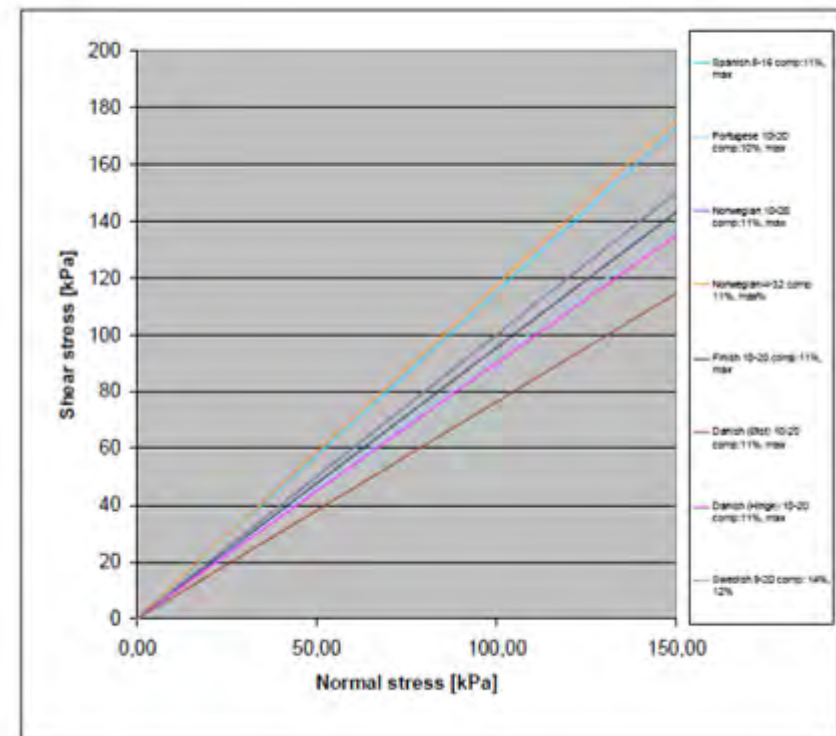


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaios de compressão triaxial

- Material #10-20
- Ângulo de atrito =  $42,5^\circ$ ;
- Efetuados com compactação com encurtamento de 10% do provete
- Tensões de confinamento = 20, 40, 80 kPa



SINTEF (2009)

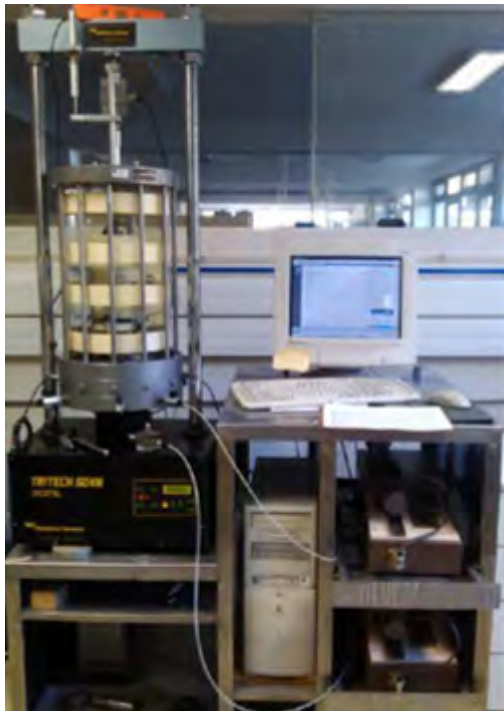




## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão $K_0$



#10-20



↕  
≈ 180 mm

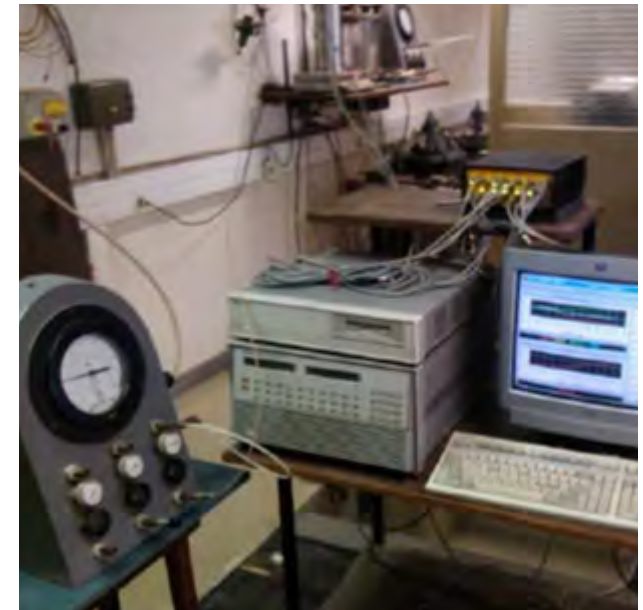
↔  
100 mm

↕  
≈ 450 mm



230 mm  
↔

Equipamento utilizado



#0-30



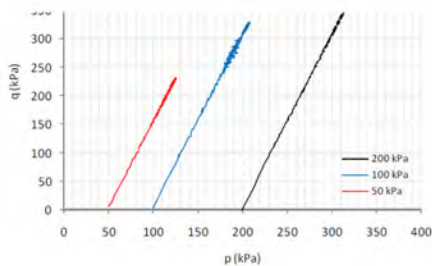
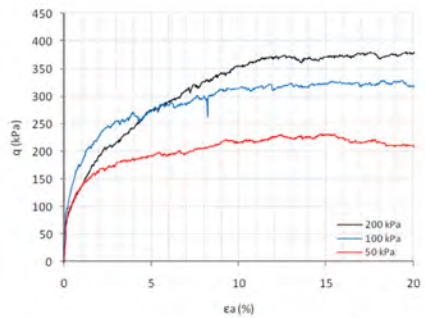


# COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

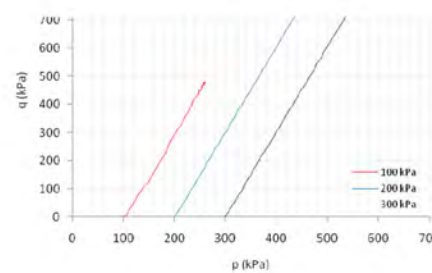
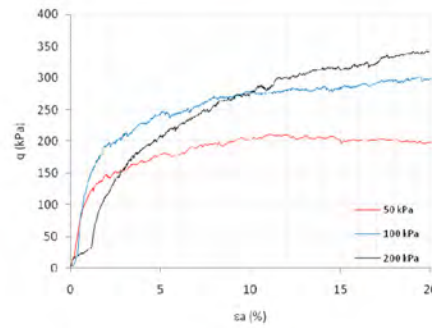
Estudos de agregados de partículas

## Ensaio de compressão triaxial

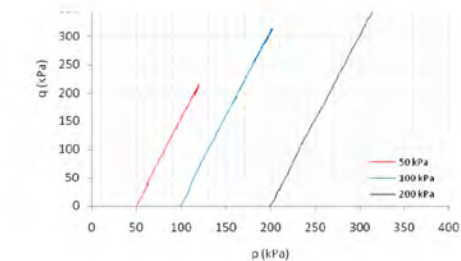
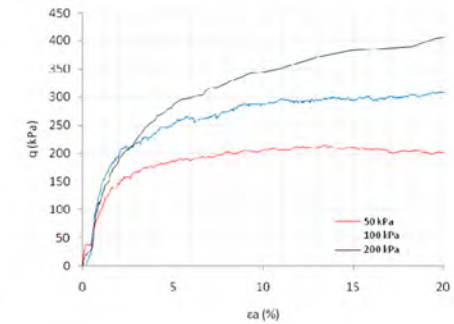
#10-20



Humidade do laboratório



Condições submersas  
(Caldeira et al. , 2012)



Condições saturadas





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaaios de compressão triaxial

#10-20

$$\phi = \phi_0 - \Delta\phi \log \left( \frac{\sigma_3}{p_a} \right)$$

s' - Tensão média MIT

t' - Tensão deviatória MIT

$\phi$  - Ângulo de atrito

$\phi_0$  - Ângulo de atrito para uma tensão de confinamento de s3 a 1 atm.

$\Delta\phi$  - Variação do ângulo de atrito com log (s3/pa)

R<sup>2</sup> - pressão atmosférica

Tensão de confinamento (kPa)	s' (kPa)	t' (kPa)	$\phi$ (°)	$\phi_0$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	R <sup>2</sup>
50	164,5	115,5	44,6			
100	263,3	164,3	38,6	37,3	25,5	0,984
200	388,7	190,0	29,3			

Humidade do laboratório

(Caldeira et al. , 2012)



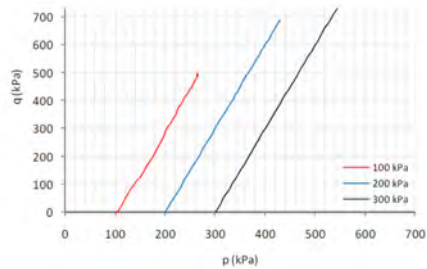
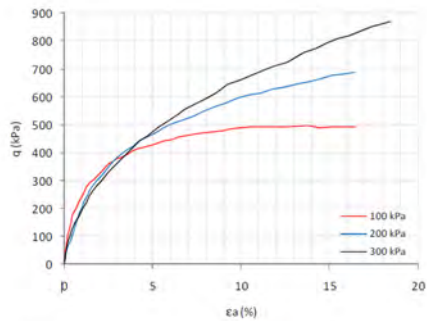


# COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

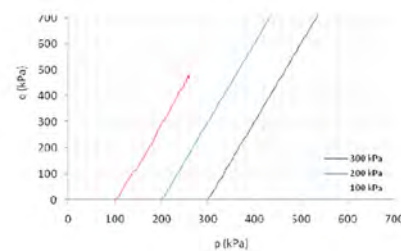
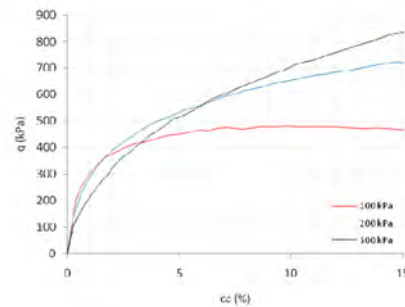
Estudos de agregados de partículas

## Ensaio de compressão triaxial

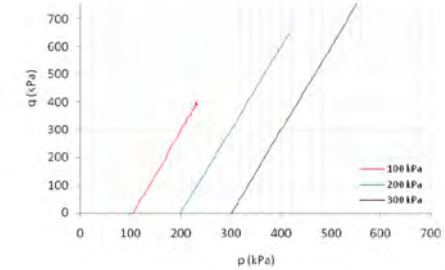
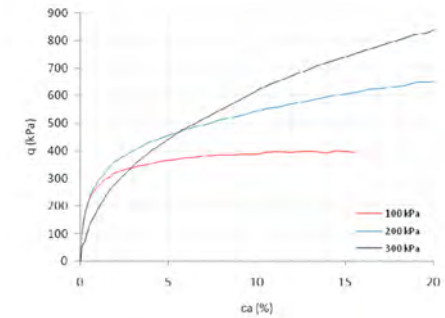
#0-32



Humidade do laboratório



Condições submersas  
(Caldeira et al. , 2012)



Condições saturadas





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaaios de compressão triaxial

#0-32

$$\phi = \phi_0 - \Delta\phi \log \left( \frac{\sigma_3}{p_a} \right)$$

s' - Tensão média MIT

t' - Tensão deviatória MIT

$\phi$  - Ângulo de atrito

$\phi_0$  - Ângulo de atrito para uma tensão de confinamento de s3 a 1 atm.

$\Delta\phi$  - Variação do ângulo de atrito com log (s3/pa)

R<sup>2</sup> - pressão atmosférica

Tensão de confinamento (kPa)	s' (kPa)	t' (kPa)	$\phi$ (°)	$\phi_0$ (°)	$\Delta\phi$ (°)	R <sup>2</sup>
100	348,5	247,8	45,3			
200	545,3	344,7	39,2	45,1	19,3	0,998
300	734,3	433,7	36,2			

Humidade do laboratório

(Caldeira et al. , 2012)

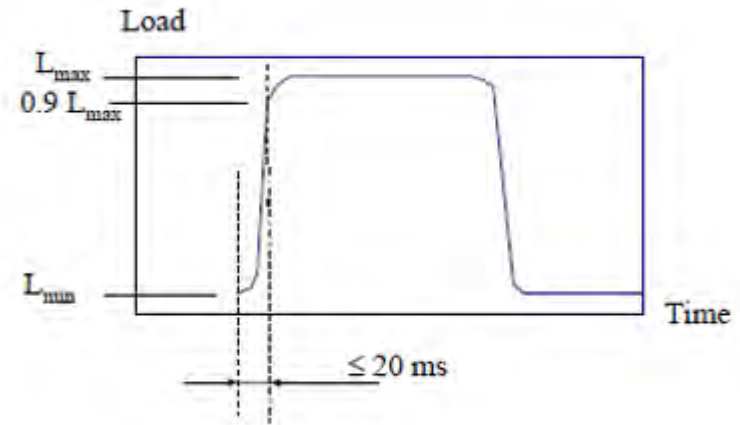
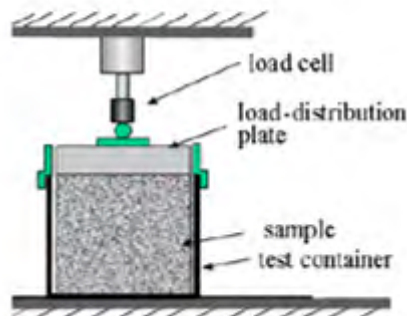




## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaios de compressão uniaxial cíclicos



Configuração da onda da carga cíclica

SINTEF (2009)



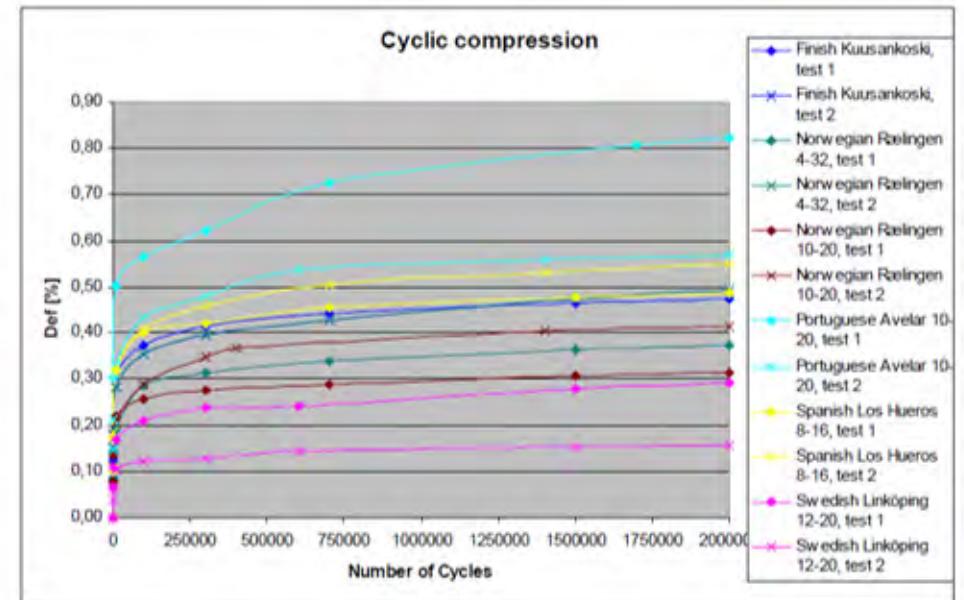


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão uniaxial cíclicos

- Carregamento cíclico com frequência de 4Hz para  $2 \times 10^6$  ciclos;
- Máximo carregamento de 120 kPa
- Deformação máxima ao fim de  $2 \times 10^6$  ciclos: 0,57-0,82 %



Deformação para todos os materiais ensaiados em função do número de ciclos  
SINTEF (2009)



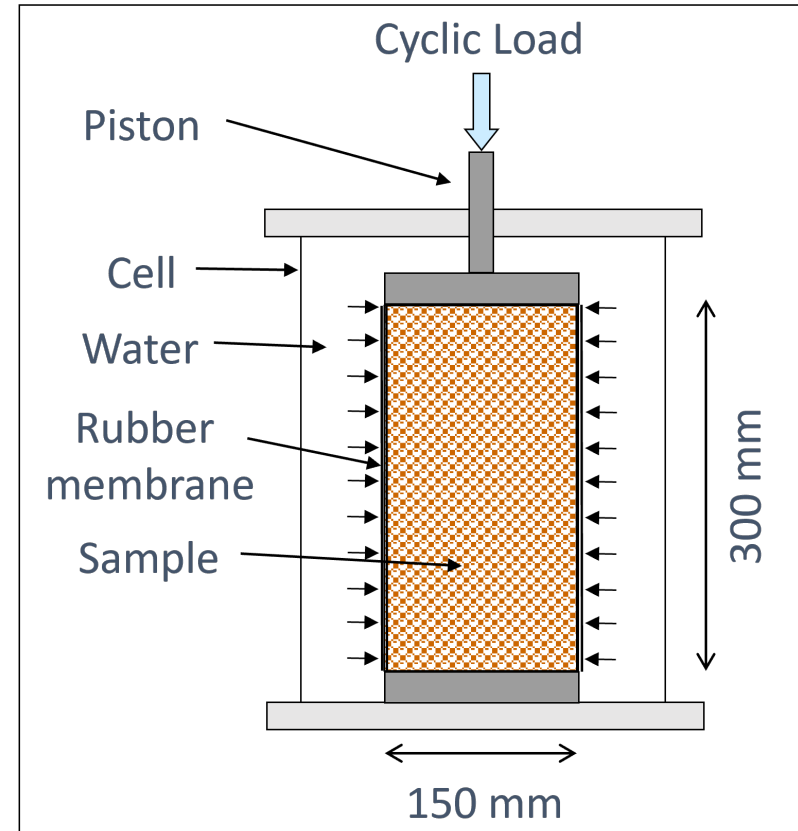


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão triaxial cíclicos

- Utilizados no projeto geotécnico de:
  - Estradas;
  - Caminhos de ferro.
- 10 000 ciclos
- 10 Hz de frequência



SINTEF (2009)

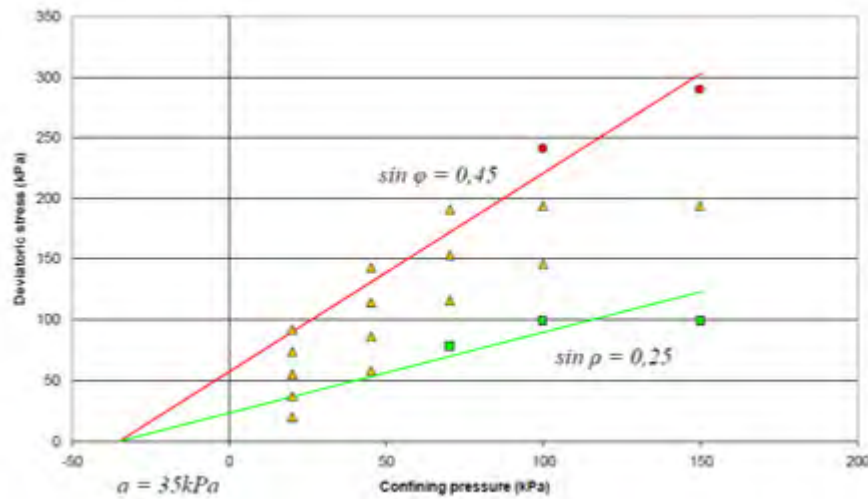




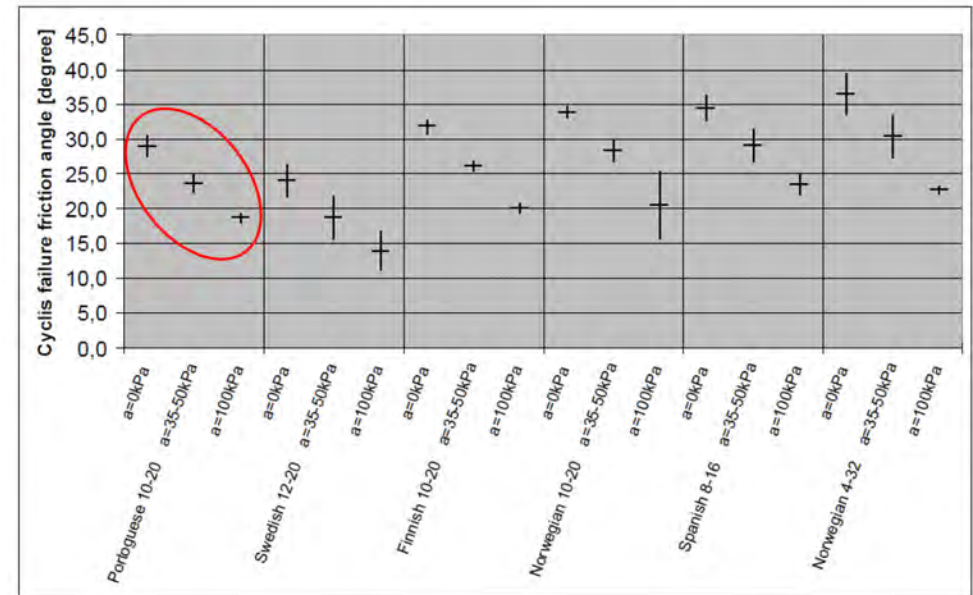
## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Estudos de agregados de partículas

### Ensaio de compressão triaxial cíclicos



Ângulo de atrito cíclico baseado numa atração aparente = 35 kPa SINTEF (2009)



Ângulo de atrito cíclico na rotura, para todos os materiais ensaiados, em função da atração aparente SINTEF (2009)



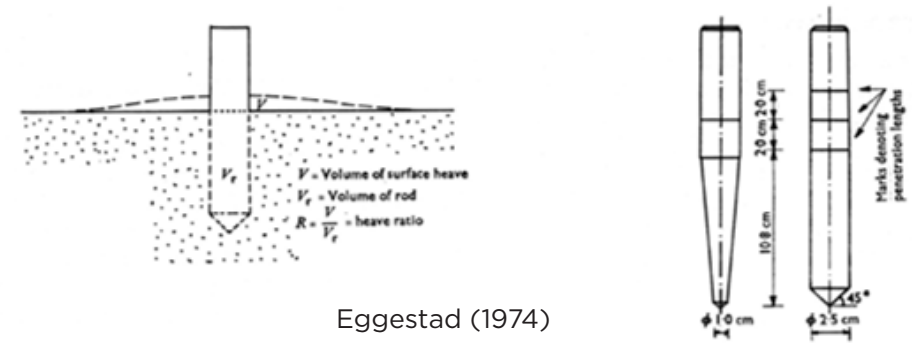


## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

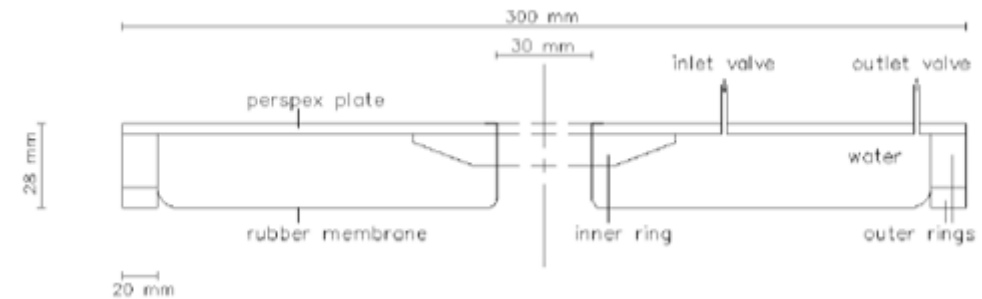
### Ensaio de penetração com o comprimeter

#### Ensaio de compressão triaxial cíclicos

- Dada a natureza do material, a medição do grau de compactação dos agregados de argila expandida é uma tarefa muito difícil e complexa.
- O comprimeter é um equipamento desenvolvido nos anos 70, por Eggestad, para medir o estado de compactação de areias.
- O princípio básico para medir a compactação é o seguinte: quando um pilão é inserido num solo denso, o material circundante tende a elevar-se de acordo com a sua densidade relativa.
- O comprimeter mede o volume de elevação na superfície, que está relacionado com o nível de compactação do material.



Eggestad (1974)



Esquema geral do comprimeter  
Caldeira e Maranhã das Neves (2012)

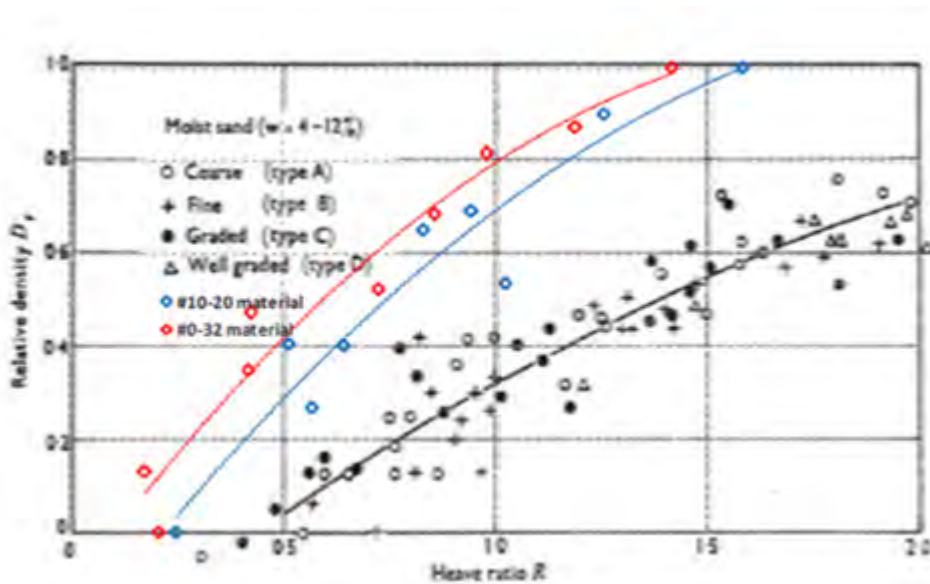




## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Ensaio de penetração com o compressor

**Curvas de compacidade e compactação relativas (Eggestad, 1974):**



Comparação dos resultados obtidos com Eggestad (1974)  
Caldeira e Maranha das Neves (2012)



Dispositivo laboratorial para ensaios com o compressor



Comprimeter





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

### Conclusões

- O comportamento dos agregados leves de argila expandida revelou tendências semelhantes às dos solos granulares.
- Não houve grande evolução granulométrica do material após ensaios.
- O valor do  $K_0$  (dependendo das condições de humidade) variou: entre 0,27 e 0,31 (material #10-20) e entre 0,26 e 0,28 (material #0-32) .
- O valor do  $I$  (dependendo das condições de humidade) variou: entre 0,018 e 0,029 (material #10-20) e entre 0,085 e 0,088 (material #0-32) .
- O valor do  $f$  (dependendo das condições de humidade) variou: entre 36,4° e 37,3° (material #10-20) e entre 41,8° e 45,1° (material #0-32) .
- O compriméter poderá constituir um equipamento eficaz e eficiente no controlo da compactidade dos aterros constituídos por estes materiais.





## COMPORTAMENTO MECÂNICO DE AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

### Bibliografia

- Almeida, P. (2009). Influência da humidade relativa no comportamento mecânico da LECA. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Maio 2009.
- Caldeira, L. e Maranha das Neves, E. (2012). Calibration of the compriometer for compaction control. LNEC/IST. Rel. 1/2012. Proc. 501/19/18038.
- Caldeira, L., Maranha das Neves, E. e Saraiva, P. (2012). Study of the mechanical behaviour of light expanded clay aggregates. LNEC/IST. Rel. 2/2012. Proc. 501/19/18038.
- Eggestad, A. (1974). A new method for compaction control of sand. Géotechnique 24, No.2, 141-153.
- EXCA (2015). Expanded clay LWA in CEA. Lightweight fill and thermal insulation products for civil engineering applications. Installation and structural quality control on site. Report. No. 2015/TR/001.
- SINTEF (2009). Documentation and correlation of material properties for Leca aggregates. SINTEF Report. Project No. 3C0280.
- SINTEF (2004). Lightweight aggregates for Civil Engineering. Technical solutions, mechanical properties, certification and quality control. SINTEF.
- Watn, A., Gylland, A., Reis, C. e Hyrve, O. (2008). Expanded clay lightweight aggregates for geotechnical applications. 11º Congresso Nacional Geotecnia (2008), Vol. 3, Tema Obras De Aterro, Pág. 261-268.





## Ana Raquel Fernandes

### SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO



Assiste a  
apresentação

**Ana Raquel Raimundo Fernandes** é Engenheira Química com mestrado pela Universidade de Coimbra e uma pós-graduação em Economia e Gestão Industrial. Recentemente, terminou o curso executivo Saint-Gobain Future Leaders na ESADE. Exerce funções como Sustainability Specialist na Leca International (Saint-Gobain), onde alinha as estratégias de sustentabilidade com os objetivos de negócio e acompanha projetos sustentáveis a nível internacional. É ainda responsável pelo desenvolvimento das Declarações Ambientais de Produto dos produtos Leca® nos diferentes países. Anteriormente, desempenhou funções na Leca Portugal como responsável de laboratório, assegurando o controlo de qualidade e colaborando no desenvolvimento de novos produtos. Tem competências técnicas em caracterização de argila expandida, otimização de processos e inventário de gases com efeito de estufa.





## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

### Soluções Geotécnicas em Solos Moles

- Caso de obra
- Soluções equacionadas
- Análise da pegada de carbono: estudo comparativo
- Considerações finais





## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

### Soluções Geotécnicas em Solos Moles: Caso de Obra

- Fundações de arruamentos sobre solos moles
- Zonas de circulação de ligeiros e de pesados
- Diferentes níveis de intervenção
- Principal condicionamento: condições geológicas e geotécnicas





## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

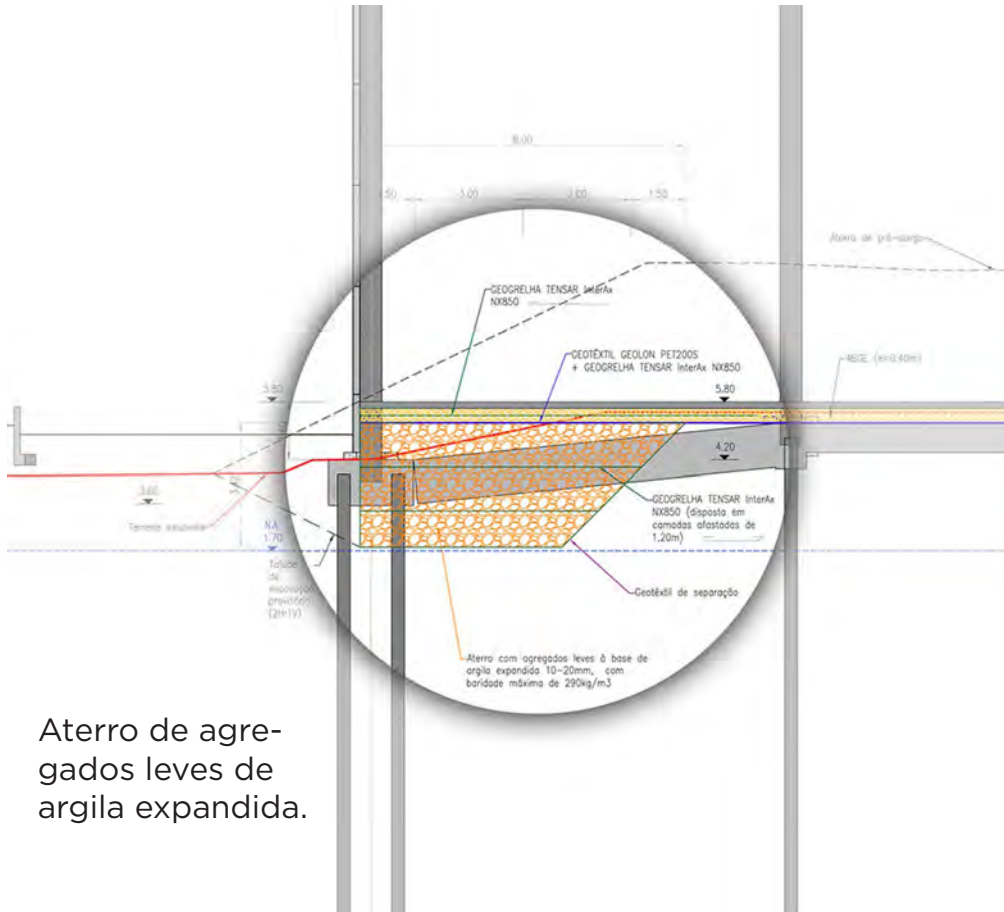
### Soluções Geotécnicas em Solos Moles: Soluções Equacionadas

- Solução de fundação indireta
- Aterro de agregados leves de argila expandida
- Melhoramento do solo de fundação com inclusões rígidas
- Melhoramento do solo de fundação com recurso a consolidação forçada com geodrenos e aterros de pré carga

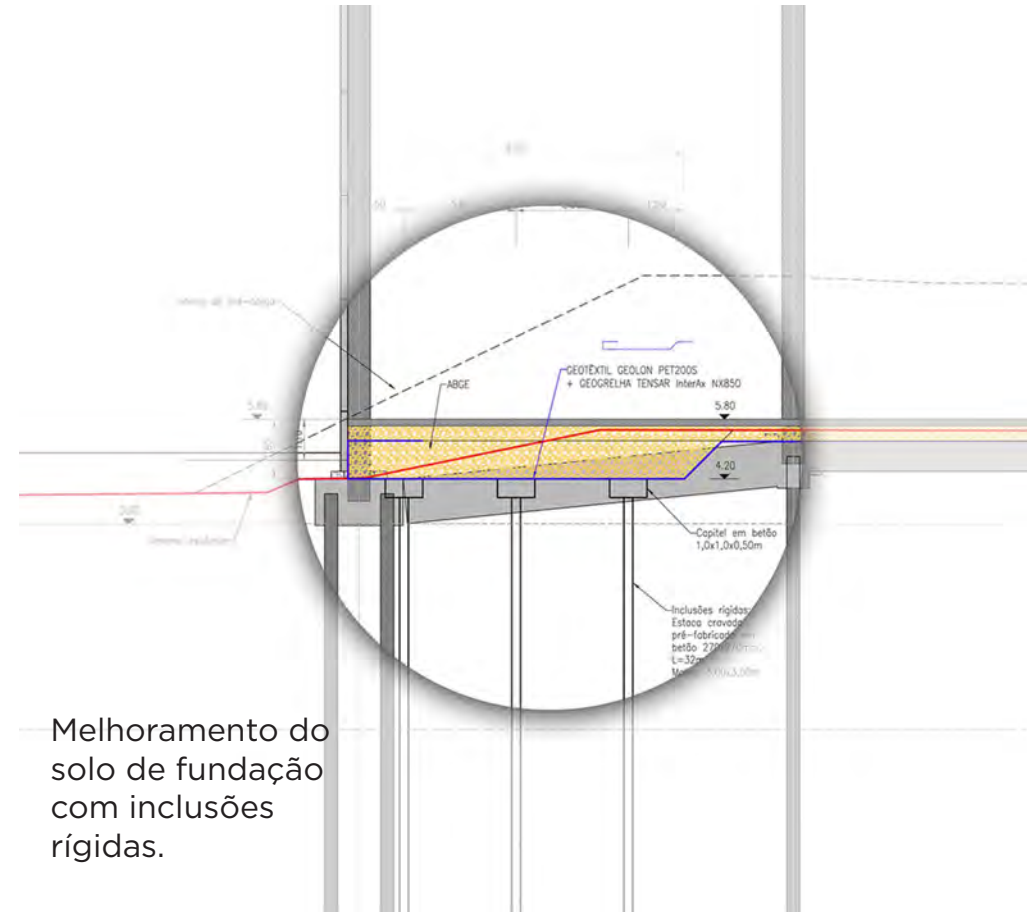




## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO



Aterro de agregados leves de argila expandida.



Melhoramento do solo de fundação com inclusões rígidas.





## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

Análise da pegada de carbono: Aterro de agregados leves de argila expandida

	Quantidade	Unidade Declarada (DU)	Potencial de Aquecimento Global A1 - A3 (Kg CO <sub>2</sub> eq/DU)	Fonte
Argila expandida Leca® 10-20	8 756	m <sup>3</sup>	34,5	NEPD-12023-11992 (EPD Norvege)
Geotêxtil	7 550	m <sup>2</sup>	1,1	Valor médio da literatura
Grelha de reforço	17 531	m <sup>2</sup>	0,8	EPD-TENSAR-253-EN (Kiwa-Ecobility Experts)
ABGE	5 730	Ton	2,2	DAP 020:2024 (DAP Habitat)

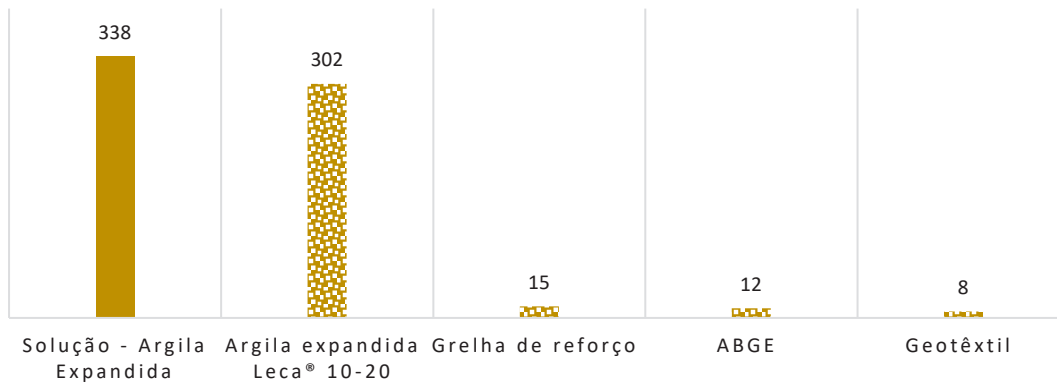




## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

Análise da Pegada de Carbono:  
Aterro de agregados leves de argila expandida

### Potencial de Aquecimento Global (ton CO<sub>2</sub>eq)





## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

Análise da Pegada de Carbono:  
Estudo Comparativo

Aterro com agregados leves de argila  
expandida: Potencial de reutilização de 100%





## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

Análise da pegada de carbono: Melhoramento do solo de fundação com inclusões rígidas

	Quantidade	Unidade Declarada (DU)	Potencial de Aquecimento Global A1 - A3 (Kg CO <sub>2</sub> eq/DU)	Fonte
Estacas pré-fabricadas T270	10 560	m	34,7	NEPD-3252-1892-EN (EPD Norge)
Betão C30/37	165	m <sup>3</sup>	300,0	Valor médio da literatura
Betão de regularização C12/15	33	m <sup>3</sup>	190,0	Valor médio da literatura
Aço A500 NR SD	23 265	Kg	0,4	NEPD-8238-7907-EN (EPD Norge)
Geotêxtil	4 864	m <sup>2</sup>	1,1	Valor médio da literatura
Grelha de reforço	4 864	m <sup>2</sup>	0,8	EPD-TENSAR-253-EN (Kiwa-Ecobility Experts)
ABGE	5 164	Ton	2,2	DAP 020:2024 (DAP Habitat)

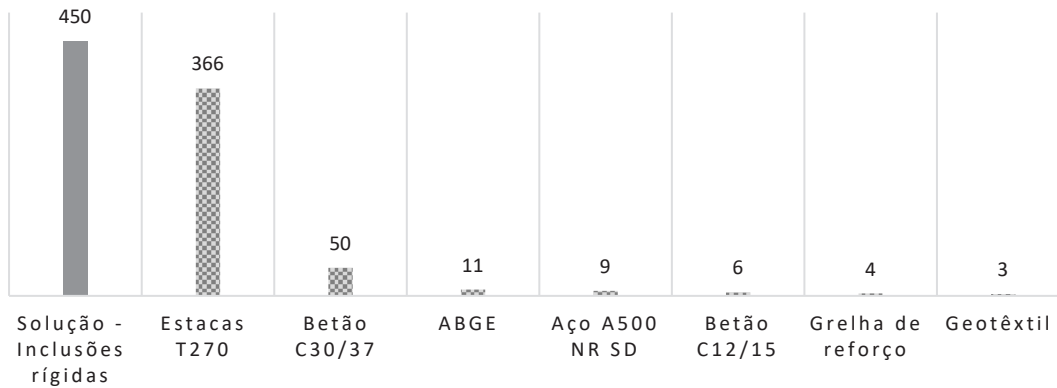




## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

Análise da Pegada de Carbono:  
Melhoramento do solo de fundação com inclusões  
rígidas

### Potencial de Aquecimento Global (ton CO<sub>2</sub>eq)

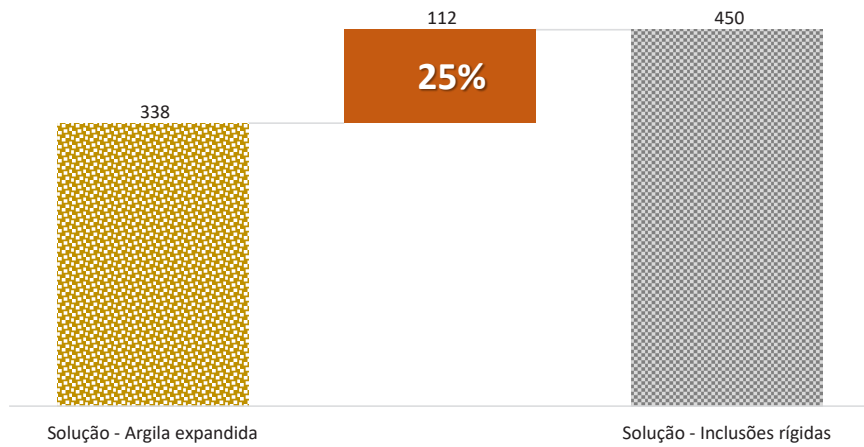




## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

Análise da Pegada de Carbono:  
Estudo Comparativo

Potencial de Aquecimento Global  
(ton CO<sub>2</sub>eq)



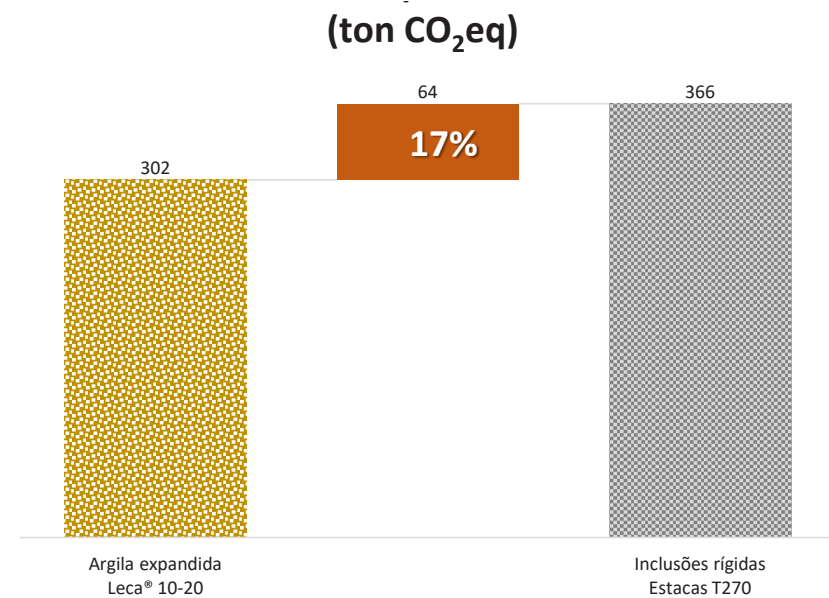


## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

### Conclusões

Solução Argila Expandida VS Inclusões Rígidas:

- Menor necessidade de maquinaria;
- Menor pegada carbono;
- Potencial de reutilização do material após o ciclo de vida da obra.



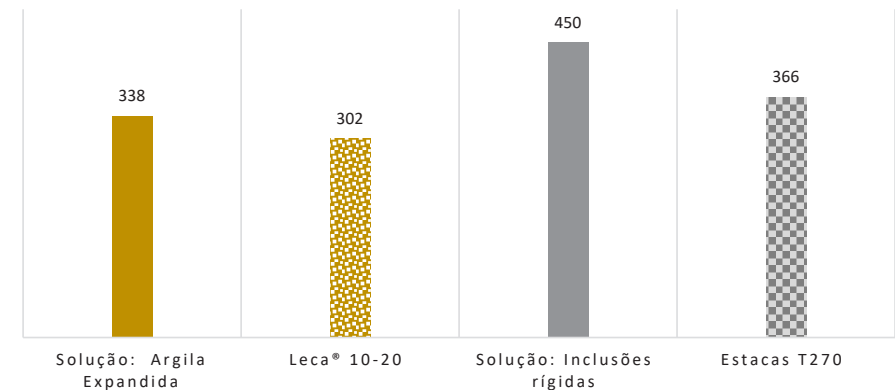


## SUSTENTABILIDADE EM OBRAS GEOTÉCNICAS: ESTUDO COMPARATIVO

### Considerações finais

- Escassez de DAPs de produtos para a construção Ibéricos
- Pegada de carbono e consumo de recursos
- Capacidade de reutilização

### Potencial de Aquecimento Global (ton CO<sub>2</sub>eq)





## Domingos Moreira

### MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES



Assiste a  
apresentação

**Domingos Eduardo Casal Moreira** é engenheiro civil, licenciado pela FEUP com especialização em estruturas. Membro sénior da Ordem dos Engenheiros, é fundador e CEO da VEconcept, tendo anteriormente desempenhado funções de direção no GEG. Conta com mais de duas décadas de experiência em projeto, coordenação e fiscalização de obras de engenharia civil, destacando-se nas áreas de pontes, túneis, barragens, reabilitação estrutural e data centers. Paralelamente, desenvolveu atividade pedagógica no ensino superior e em pós-graduações, e tem um percurso ativo em congressos técnicos e publicações científicas.

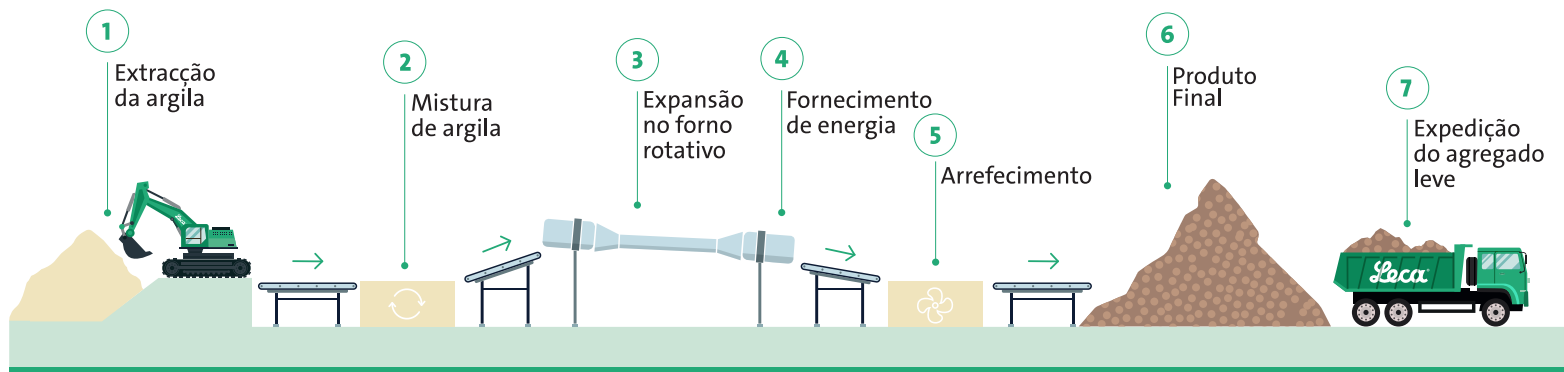




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 1 - Introdução

- A argila expandida é um agregado orgânico que tem origem na expansão da argila natural quando entra em contacto com altas temperaturas.



- Surge como um material leve que alia a baixa densidade a uma elevada resistência mecânica.
- Pode ser aplicada solta ou como agregado de um betão leve.
- Permite reduzir tensões aplicadas ao solo de fundação, melhorar condições de estabilidade e aumentar a durabilidade de infraestruturas.

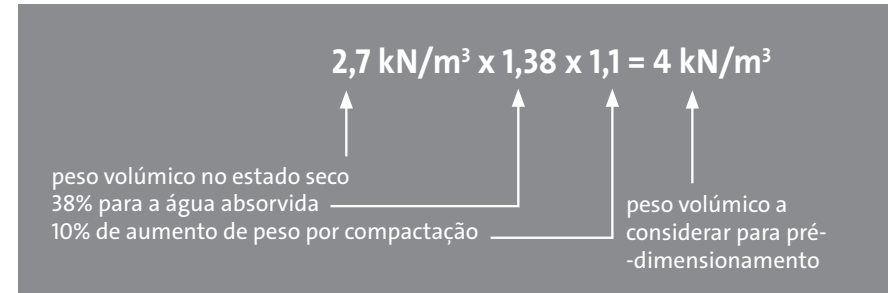




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 2 - Características da Geo Leca

- Agregado Leve – baridade (seco) -  $275 \pm 15\% \text{ kg/m}^3$
- Granulometria – entre 10 e 20 mm
- Elevada resistência mecânica
- Material inalterável com o tempo
- Material inerte
- Elevada capacidade drenante
- Elevada resistência ao esmagamento



Em situações nas quais o agregado fique frequente ou permanentemente abaixo do nível freático, outros valores para o aumento de peso por absorção de água deverão ser utilizados. Para a determinação do peso volúmico nestas situações, recomenda-se a metodologia expressa no manual técnico Lättklinker i vägkonstruktioner (Agregados leves na construção de estradas), da autoridade rodoviária sueca. No entanto, para pré-dimensionamento nas situações de subida frequente do nível freático, poderá ser adoptado um valor médio de  $5 \text{ kN/m}^3$  para o peso volúmico.

Situação	Peso volúmico a considerar
Presença ocasional de água	$4 \text{ kN/m}^3$
Presença frequente de água	$5 \text{ kN/m}^3$

Pesos volúmicos médios para pré-dimensionamento.

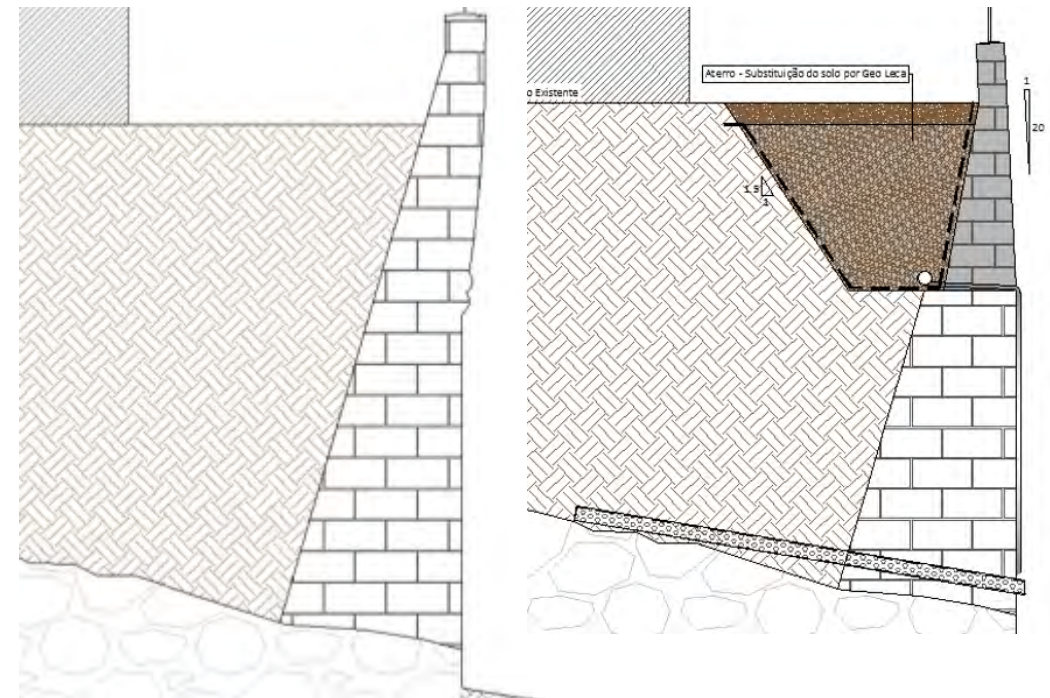




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 2 - Características da Geo Leca

- Agregado Leve - baridade-  $275 \pm 15\% \text{ kg/m}^3$
- Granulometria - entre 10 e 20 mm
- Elevada resistência mecânica
- Material inalterável com o tempo
- Material inerte
- Elevada capacidade drenante
- Elevada resistência ao esmagamento



Aterro sem Geo Leca

Aterro com Geo Leca





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 3 - Experiência com a Geo Leca

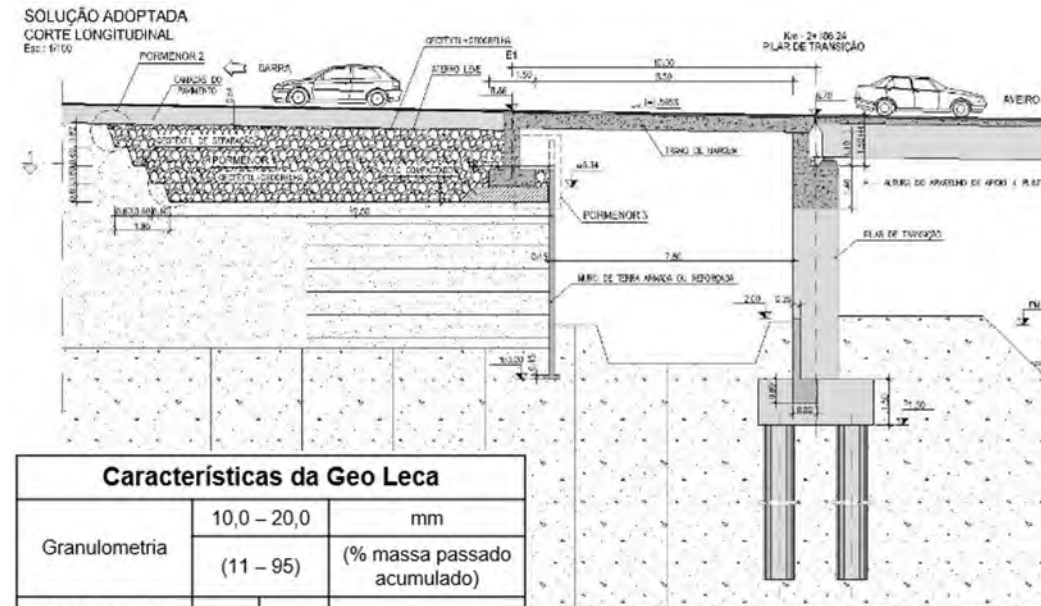
#### Reabilitação do encontro da Ponte sobre o Rio Boco

##### Patologia

- Assentamento significativo no tramo de margem do encontro E1, iniciado durante a construção da ponte;
- Tramo é rotulado no pilar de transição e contínuo com a viga de fundação que apoia num maciço de terra armada.

##### Solução Adotada

- Substituição de 2m de aterro do maciço por Geo Leca;
- Redução em 30 kPa das tensões sobre o maciço;
- Melhoria das condições de estabilidade global do maciço de terra armada, encontrando-se após a construção em estado de sobreconsolidação.



Características da Geo Leca		
Granulometria	10,0 – 20,0	mm
	(11 – 95)	(% massa passado acumulado)
Massa volúmica aparente seca (baridade)	275	kg/m <sup>3</sup>
	± 1 5	
Massa volúmica seca da partícula	480	kg/m <sup>3</sup>
Percentagem de partidos	26	% massa
	9	
Resistência ao esmagamento	0,70	N/mm <sup>2</sup>
Absorção de água	< 38	% massa seca

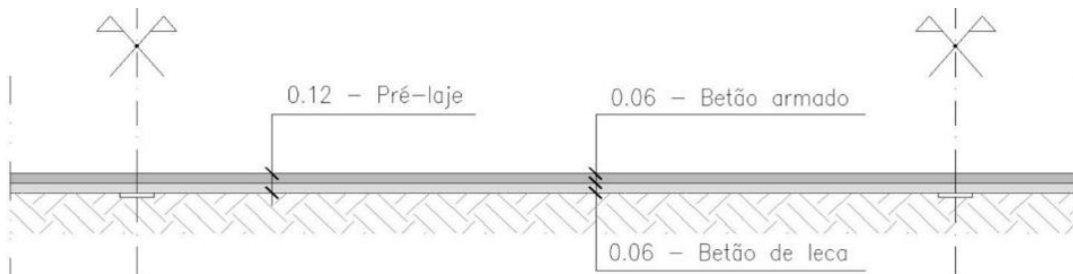




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

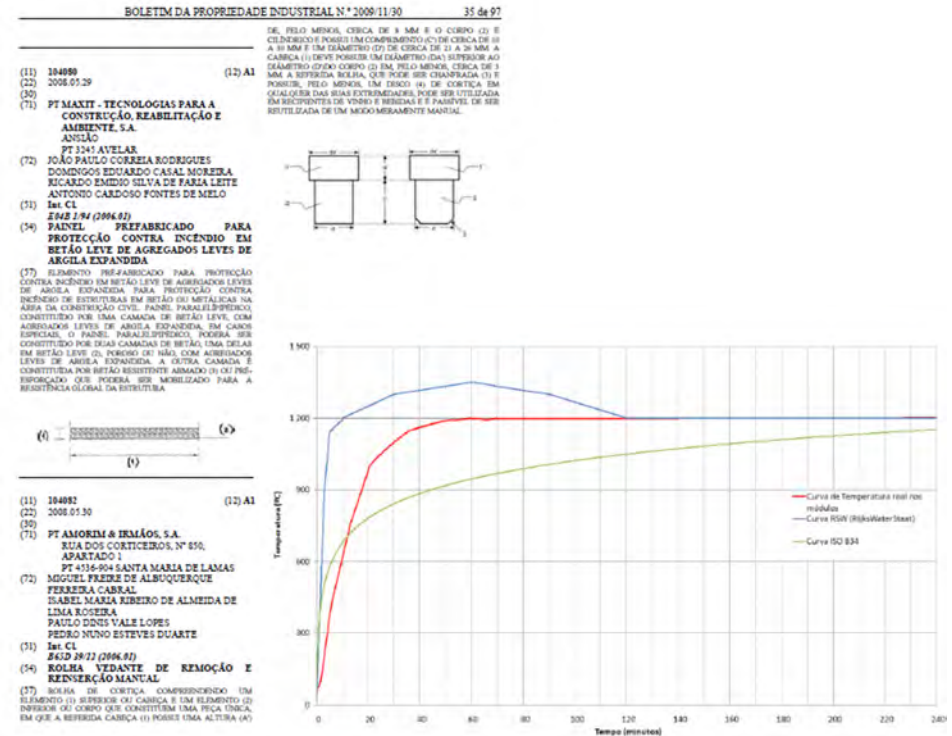
### 3 - Experiência com a Geo Leca

#### Túnel de Benfica/ IC17 - Método Invertido (Estacas) Pré-Laje (patenteada)



Para a ação da curva de evolução de temperaturas do fogo RWS das Recomendações Holandesas, os seguintes requisitos:

- Taxa máxima de subida da temperatura no betão adjacente à proteção inferior a 4°C/min;
- Temperatura máxima atingida pelo betão, na interface com a proteção, inferior ou igual a 300°C, em ensaio com duração de 240 min.





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 3 - Experiência com a Geo Leca

#### Túnel de Benfica/ IC17 - Método Invertido (Estacas) Pré-Laje (2 testes à escala real)

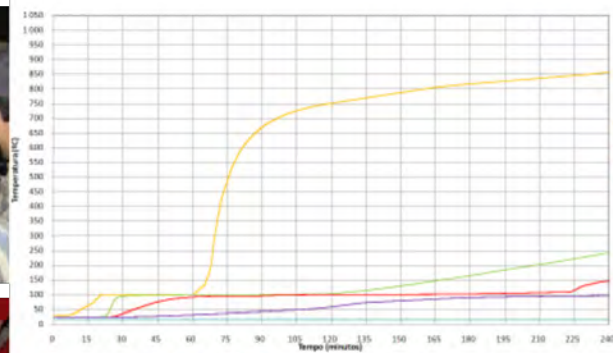
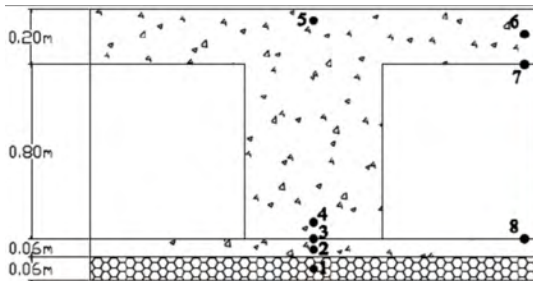
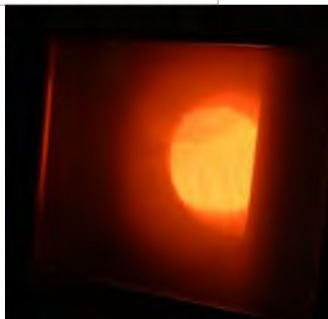


Figura 30- Evolução de temperaturas na Secção 4 na zona da nervura.

Secção 4 - zona da nervura	
Termopar	Temperatura aos 240 min (°C)
1	855,9
2	241,5
3	146,6
4	95,6
5	17,4

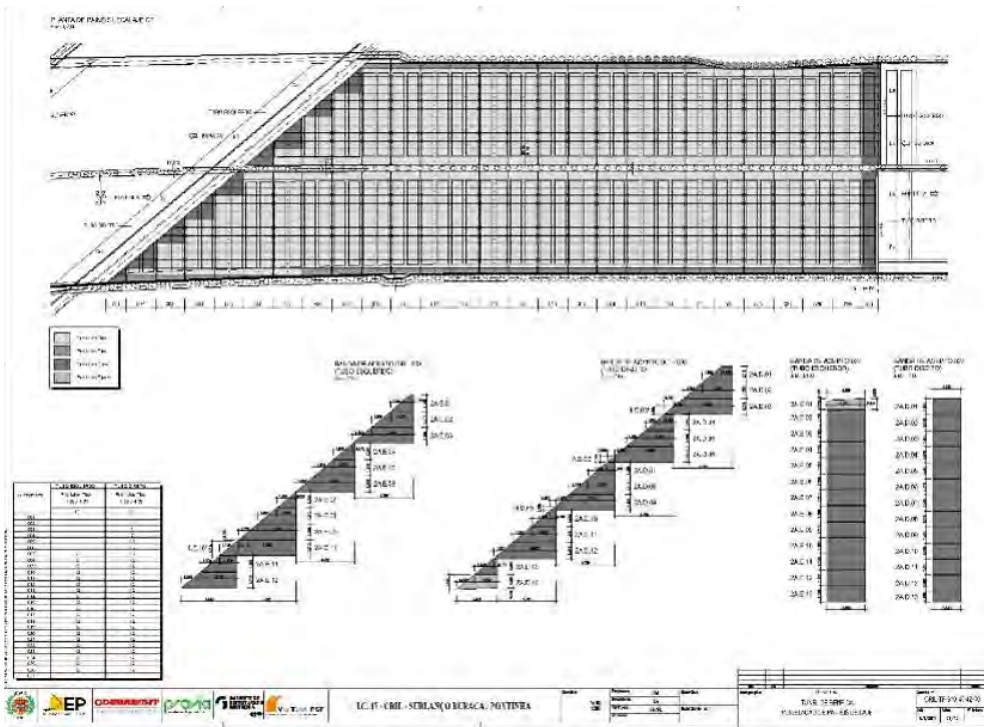




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

3 - Experiência com a Geo Leca

### Túnel de Benfica/ IC17 - Método Invertido (Estacas)

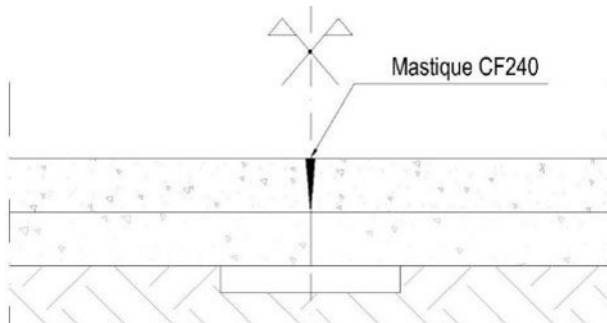




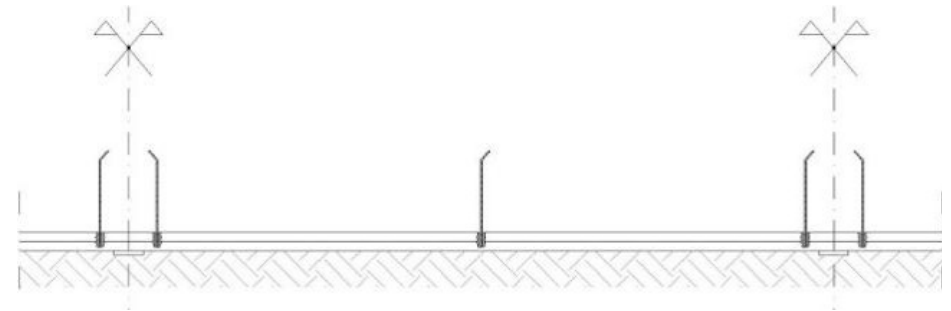
## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 3 - Experiência com a Geo Leca

**Túnel de Benfica/ IC17 - Método Invertido (Estacas)**  
**Colocação de “Mastique” CF240 entre painéis**



**Colocação dos tirantes de fixação das pré-lajes,**  
**nas peças metálicas integradas nas pré-lajes**



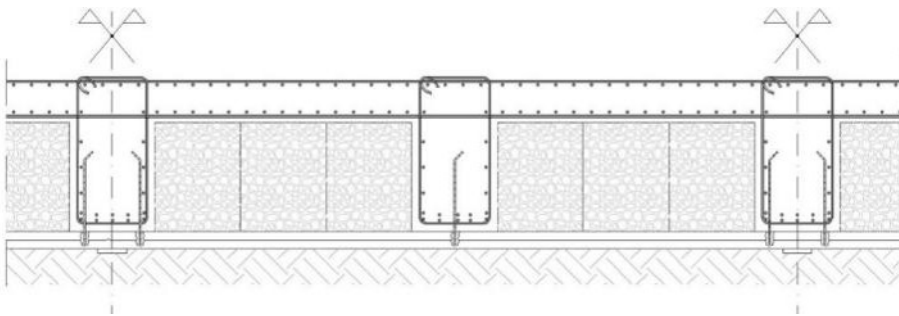


## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

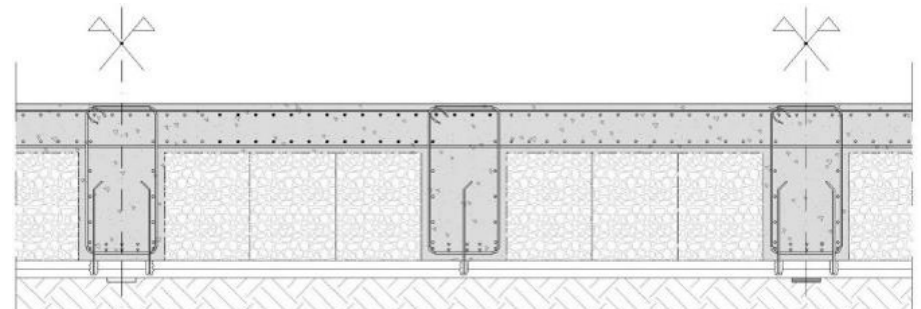
### 3 - Experiência com a Geo Leca

#### Túnel de Benfica/ IC17 - Método Invertido (Estacas)

Colocação dos blocos de aligeiramento em esferovite e das armaduras da laje



#### Betonagem das nervuras e da laje



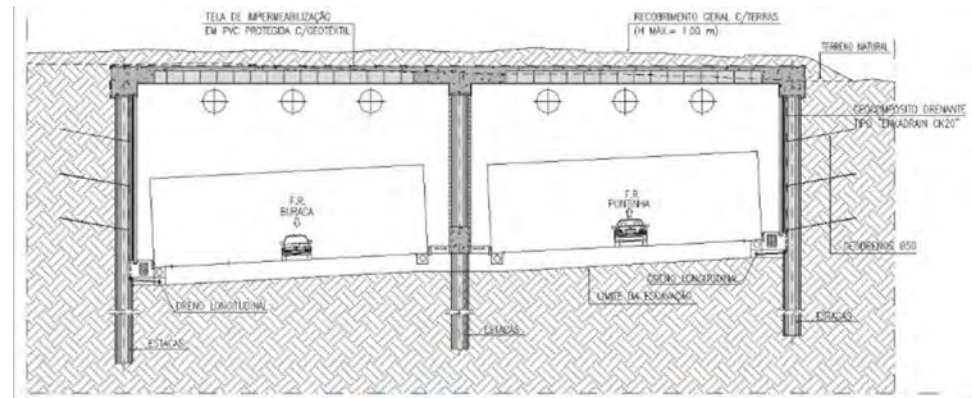
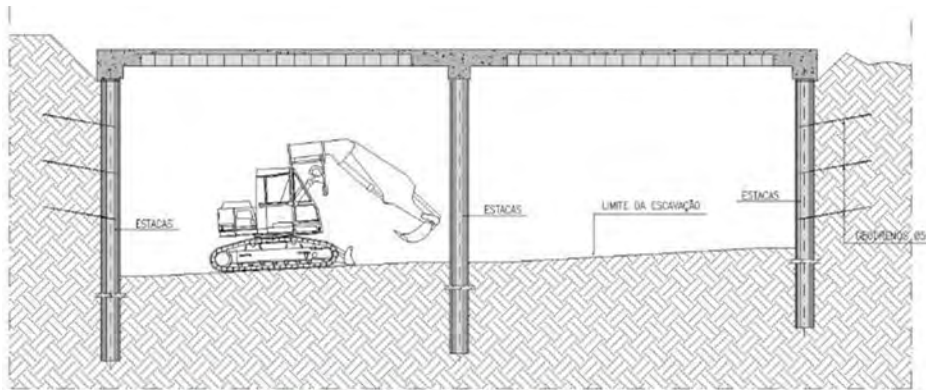


## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

3 - Experiência com a Geo Leca

### Túnel de Benfica/ IC17 - Método Invertido (Estacas)

Escavação até à base da plataforma





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 4 - Caso prático 1 – Reconstrução de muro de suporte na Rua do Outeiro, Vila Nova de Gaia

- O muro de suporte de terras na Rua do Outeiro encontra-se numa zona de receção de águas pluviais provenientes de encostas envolventes.
- A acumulação de água no tardo do muro provocou um aumento das ações sobre este e reduziu a capacidade de resistência do solo, o que justificaria o seu derrube depois de alguns dias de chuvas mais intensas.





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

4 - Caso prático 1 – Reconstrução de muro de suporte na Rua do Outeiro, Vila Nova de Gaia

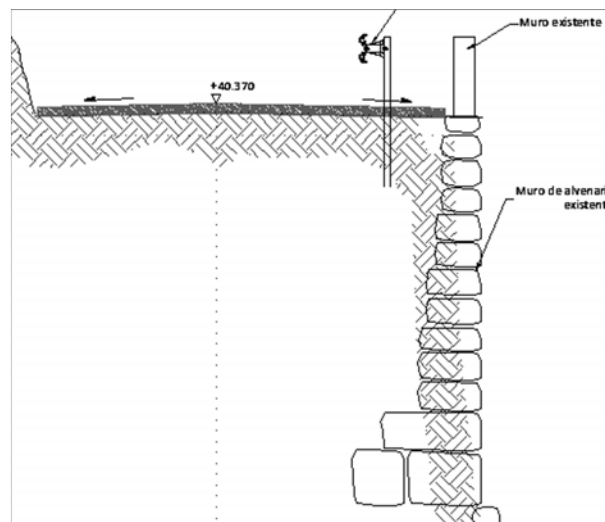
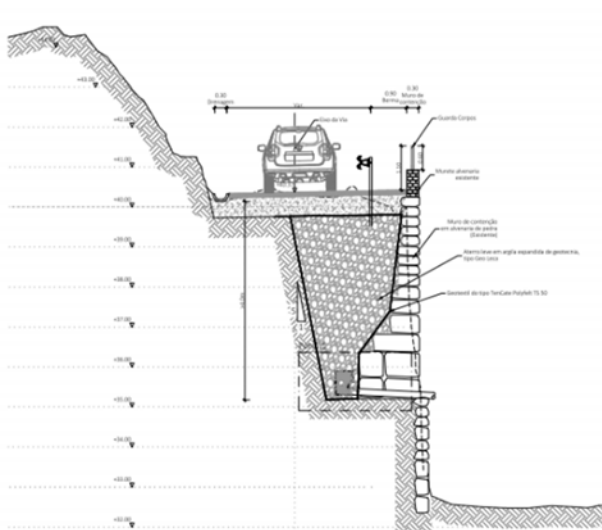




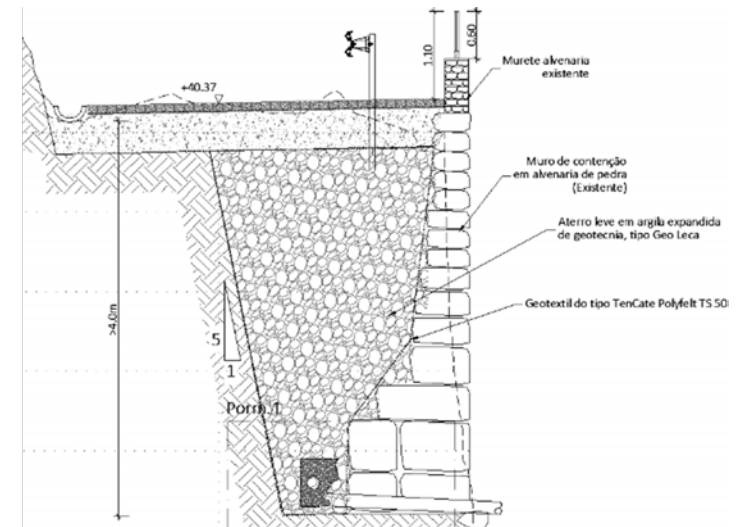
## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 4 - Caso prático 1 - Reconstrução de muro de suporte na Rua do Outeiro, Vila Nova de Gaia

- O material de aterro no tardo do muro foi substituído por argila expandida.
- Permite uma redução dos impulsos ativos no tardo do muro, pois é um material com um peso volúmico inferior ao solo pré-existente e reduz os impulsos hidrostáticos por ser um material com elevada capacidade drenante.



Solução antes do derrube



Solução adotada

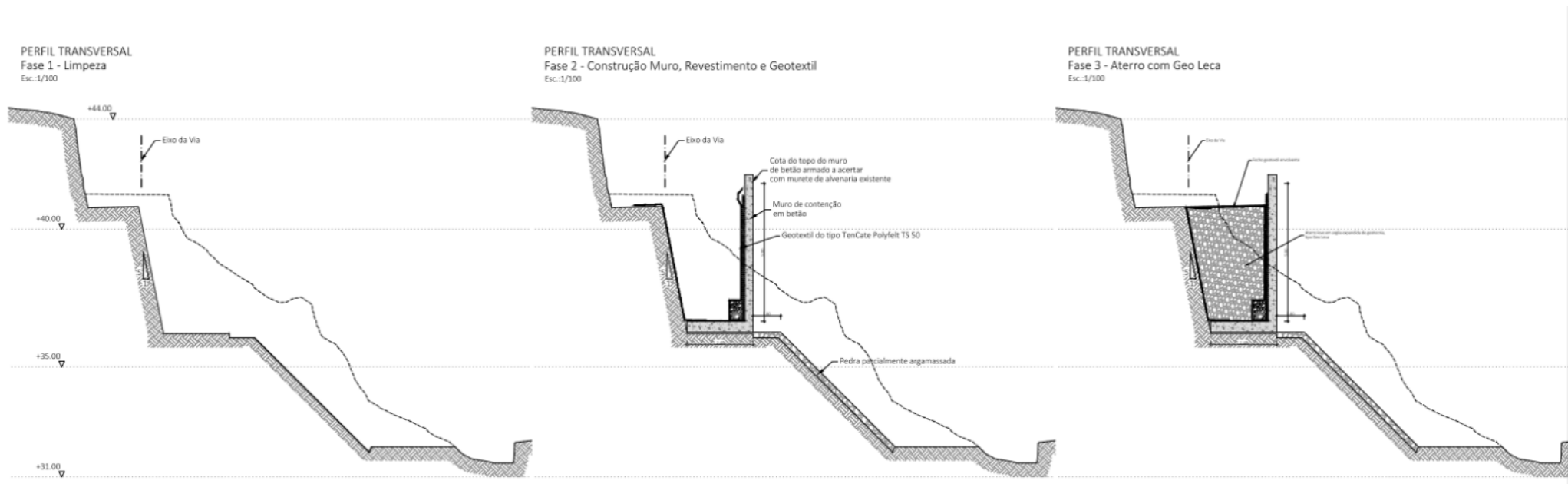




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 4 - Caso prático 1 – Reconstrução de muro de suporte na Rua do Outeiro, Vila Nova de Gaia

■ A zona em ruína foi substituída por um muro em betão armado, com geoleca no tardoz, que permitiu uma redução dos impulsos ativos no tardoz do muro, pois é um material com um peso volúmico inferior ao solo pré-existente e reduz os impulsos hidrostáticos por ser um material com elevada capacidade drenante.





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

4 - Caso prático 1 – Reconstrução de muro de suporte na Rua do Outeiro, Vila Nova de Gaia

### Análise comparativa do fator de segurança

■ Ao substituir o solo existente pela argila expandida no tardo do muro, obtêm-se um aumento substancial do fator de segurança devido à significativa redução de peso volúmico do material de aterro.

(RETRO-ANÁLISE)

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	F.S.
Solo pré-existente	20,0	30,0	1,01
Argila expandida	5,0	30,0	1,79

Sobrecarga - 5 kPa distribuídos na superfície do tardo

$$F.S. = \frac{M_{derrube}}{M_{estabilizador}}$$

■ Este raciocínio não considera fatores positivos, como a elevada capacidade drenante e o ângulo de atrito da argila expandida, estando do lado da segurança através da substituição do aterro no tardo.





# MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

4 - Caso prático 1 - Reconstrução de muro de suporte na Rua do Outeiro, Vila Nova de Gaia

## Análise comparativa do fator de segurança

Análise comparativa do fator de segurança

Análise comparativa do fator de segurança

Dados relativos a materiais								Dados relativos a solicitações			
$\gamma$	$\phi$	$\delta$ (Tardoz)	$\delta$ (Base)	$\sigma_{adm}$	$f_{syd}$	$f_{cd}$	$\tau_1$	S	V	H	M
(kN/m <sup>3</sup> )	(graus)	(graus)	(graus)	(kPa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(kPa)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
20	30	20	30	250	435	20	0.85	5	0	0	0

Dados relativos à geometria										
b1	b2	b3	b4	b5	h1	h2	h3	h4	h5	h6
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.30	1.40	0.00	5.00	0.40	0.40	0.40	0.00	0.00

Fs para Imp. Passivo		Estabilidade externa		Elementos de cálculo da estabilidade externa						
Est. ext.	Est. Int.	Fs(derr.)	Fs(desl.)	$\sigma_{s4}$	M (derr.)	M (est.)	H (desl.)	H (est.)	$\sigma_{esq}$	L ACTIVE
(-)	(-)	(-)	(-)	(kPa)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kPa)	(m)
1.5	2	1.01	1.62	10117	178	180	83	134	13489	0.03

Indicadores relativos à estabilidade interna (valores envolventes)											
Parede do muro			Parte anterior da sapata			Parte posterior da sapata					
$\mu$	As	Asw/s	$\mu$	As	Asw/s	$\mu$	As	Asw/s			
(-)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(-)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(-)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)			
0.005	19.92	0.00	0.107	19.68	0.00	0.001	4.32	0.00			

Coeficientes de impulso		Pesos e abscissas					
$K_r$	$K_s^T$	P1	P2	P3	P4	P5	P6
(-)	(-)	V (kN)	x (m)	V (kN)	x (m)	V (kN)	x (m)
2.000	0.431	125.00	0.50	0.00	0.00	17.00	0.85

Impulsos no tardoz			Impulsos na frente		
$I_{Tx}$	$Y_{ITx}$	$I_{Ty}$	$X_{ITy}$	$I_{Sx}$	$Y_{ISx}$
(kN/m)	(m)	(kN/m)	(m)	(kN/m)	(m)
75.35	2.07	77.06	1.23	7.54	2.90

Dados relativos a materiais								Dados relativos a solicitações			
$\gamma$	$\phi$	$\delta$ (Tardoz)	$\delta$ (Base)	$\sigma_{adm}$	$f_{syd}$	$f_{cd}$	$\tau_1$	S	V	H	M
(kN/m <sup>3</sup> )	(graus)	(graus)	(graus)	(kPa)	(Mpa)	(Mpa)	(Mpa)	(kPa)	(kN/m)	(kN/m)	(kN/m)
5	30	20	30	250	435	20	0.85	5	0	0	0

Dados relativos à geometria										
b1	b2	b3	b4	b5	h1	h2	h3	h4	h5	h6
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
0.00	0.00	0.30	1.40	0.00	5.00	0.40	0.40	0.40	0.00	0.00

Fs para Imp. Passivo		Estabilidade externa		Elementos de cálculo da estabilidade externa						
Est. ext.	Est. Int.	Fs(derr.)	Fs(desl.)	$\sigma_{s4}$	M (derr.)	M (est.)	H (desl.)	H (est.)	$\sigma_{esq}$	L ACTIVE
(-)	(-)	(-)	(-)	(kPa)	(kNm/m)	(kNm/m)	(kN/m)	(kN/m)	(kPa)	(m)
1.5	2	1.79	3.73	299	61	109	26	98	399	0.85

Indicadores relativos à estabilidade interna (valores envolventes)											
Parede do muro			Parte anterior da sapata			Parte posterior da sapata					
$\mu$	As	Asw/s	$\mu$	As	Asw/s	$\mu$	As	Asw/s			
(-)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(-)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(-)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)			
0.002	19.92	0.00	0.034	5.79	0.00	0.003	4.32	0.00			

Coeficientes de impulso		Pesos e abscissas					
$K_r$	$K_s^T$	P1	P2	P3	P4	P5	P6
(-)	(-)	V (kN)	x (m)	V (kN)	x (m)	V (kN)	x (m)
2.000	0.431	125.00	0.50	0.00	0.00	17.00	0.85

Impulsos no tardoz			Impulsos na frente		
$I_{Tx}$	$Y_{ITx}$	$I_{Ty}$	$X_{ITy}$	$I_{Sx}$	$Y_{ISx}$
(kN/m)	(m)	(kN/m)	(m)	(kN/m)	(m)
18.84	2.07	19.27	1.23	7.54	2.90





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

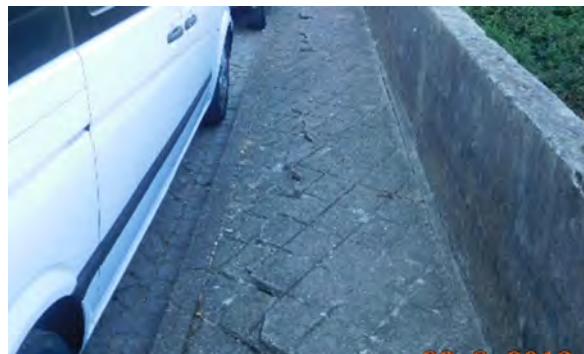
### 5 - Caso prático 2 - Requalificação da Rua Espiridião de Sousa, Vila Nova de Gaia

- A requalificação da Rua Espiridião de Sousa obrigou a estabilização dos muros de suportes na sua envolvente.
- A prospeção realizada no tardo do muro identificou um solo de baixa competência, tornando necessária a requalificação do sistema de drenagem das terras no tardo.



### Análise comparativa do fator de segurança

- Fissuras de tração na calçada atrás do muro;
- Assentamentos de 10 a 20 cm na parte posterior do muro.





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

5 - Caso prático 2 - Requalificação da Rua Espiridião de Sousa, Vila Nova de Gaia

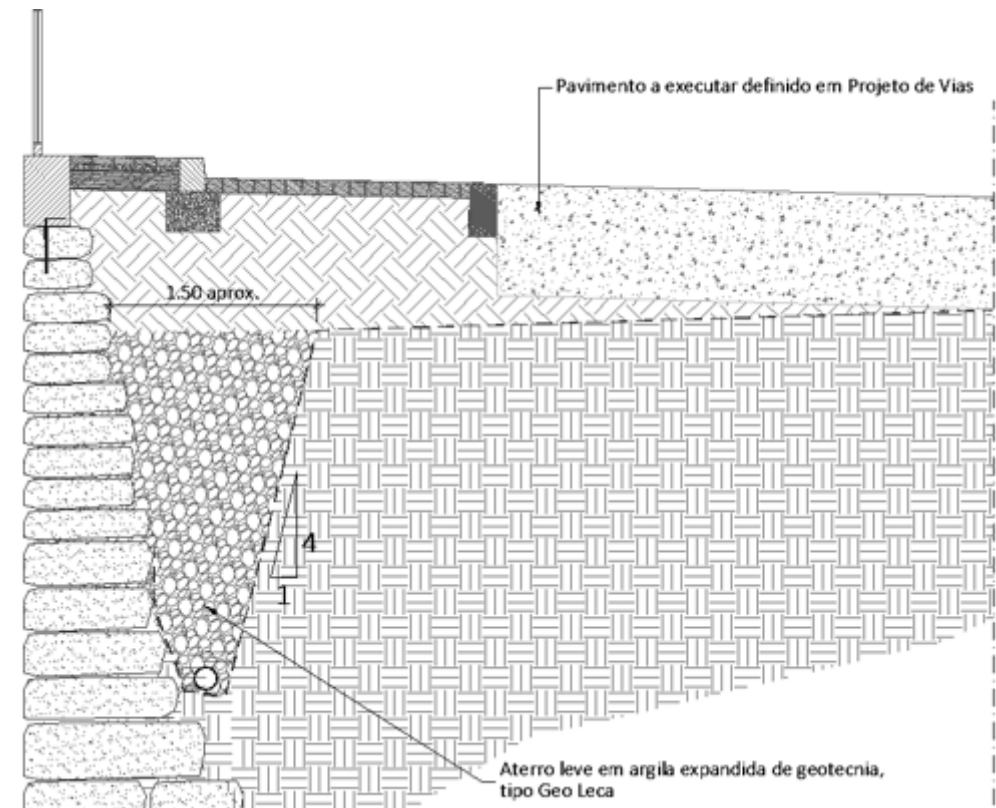
Para restabelecer a segurança, podem adotar-se 2 abordagens:

- Aumento da resistência
- Diminuição das ações

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	F.S.
Solo pré-existente	22,0	25,0	1,00
Argila expandida	5,0 (Saturado)	30,0	2,08

A solução final incluiu:

- Substituição do pavimento;
- Criação de um sistema de drenagem eficiente;
- Substituição do aterro pelo agregado de argila expandida.





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

5 - Caso prático 2 - Requalificação da Rua Espiridião de Sousa, Vila Nova de Gaia

### Construção do aterro

- Sem necessidade de energias de compactação médias/altas (danos na parede);
- Simplicidade e rapidez de execução;
- Método de construção simples;
- Sem equipamentos complexos

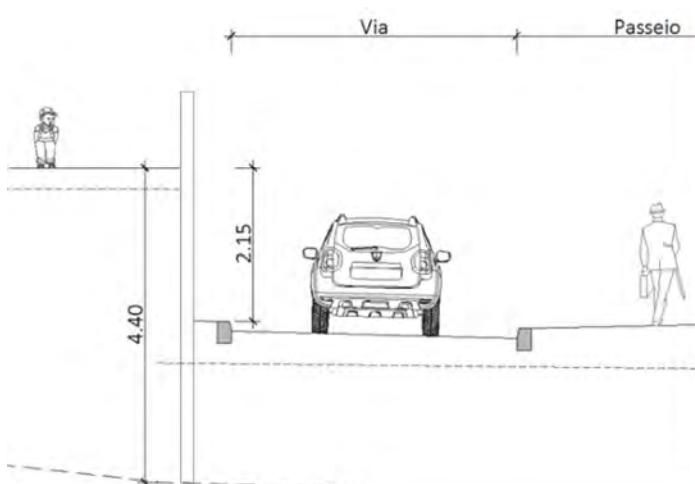




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 6 - Caso prático 3 - Queda de muro limítrofe - Gaia Tower, Vila Nova de Gaia

- Em 2024, o muro pertencente à Creche e Jardim Infantil do Torne na Rua dos Polacos colapsou.
- No momento do colapso, encontravam-se em curso trabalhos de substituição de solo no maciço de fundação de um novo arruamento na proximidade do muro.
- A escavação do solo do arruamento provocou a descompressão do maciço de fundação do muro e, conseqüentemente, a queda do mesmo por movimento da base.

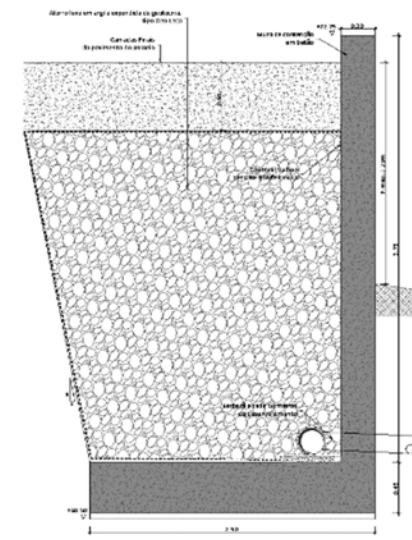
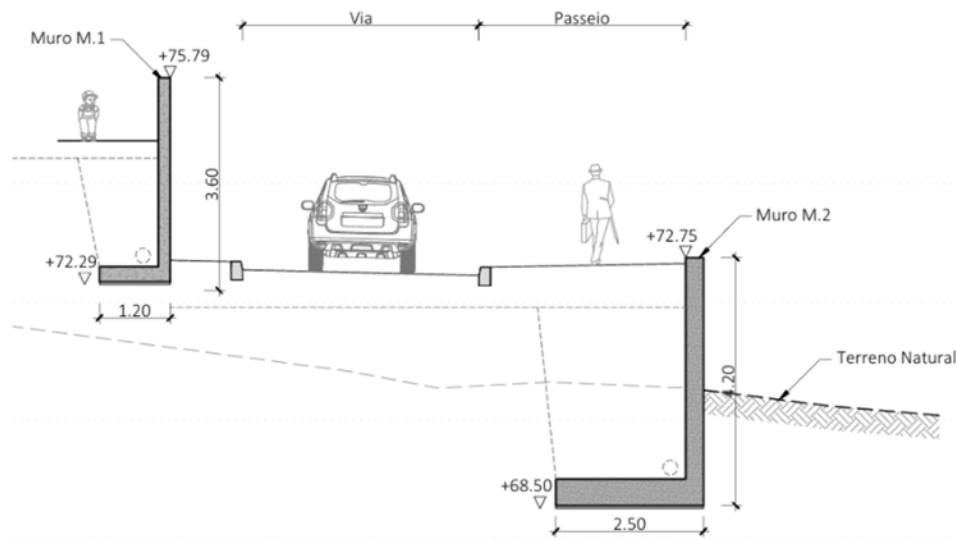
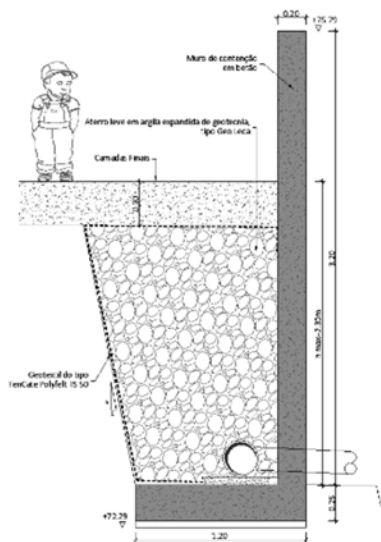




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 6 - Caso prático 3 - Queda de muro limítrofe - Gaia Tower, Vila Nova de Gaia

- A solução adotada recaiu na substituição do solo no tardo do muro por argila expandida, bem como um sistema de drenagem eficaz na base do aterro deste novo material.
- A substituição do aterro aliada a um sistema de drenagem eficiente, constitui uma forma eficaz para reduzir significativamente ações desfavoráveis sobre o muro, como as tensões na fundação e as cargas hidrostáticas.

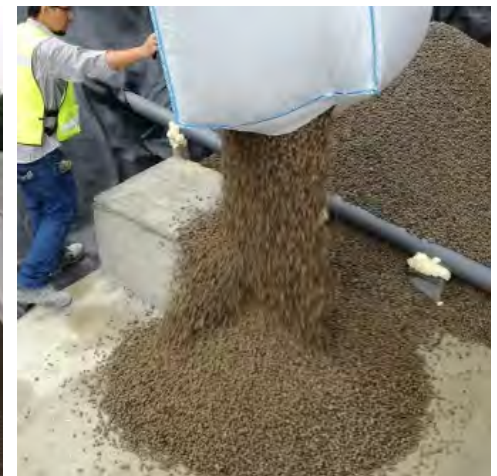




## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 7 - Conclusão

- A introdução da Geo Leca revolucionou as intervenções de reabilitação de muros de suporte com problemas de estabilidade, especialmente quando é necessário conjugar estabilidade estrutural com eficiência construtiva.
- Destaca-se pela capacidade de reduzir cargas e impulsos.
- Quando a redução das tensões no solo e/ou estruturas é um fator determinante para o projeto, a Geo Leca permite:
  - Intervir de forma segura junto a estruturas novas ou preexistentes;
  - Resolver rapidamente problemas originados pela existência de solos deformáveis e com pouca resistência.





## MUROS DE SUPORTE COMO DOMINAR AS AÇÕES

### 7 - Conclusão

O exercício de um engenheiro de estruturas/geotecnia é o de assegurar que as reações são superiores às ações.

- seja com fatores de segurança parciais ou globais

A abordagem clássica e tradicional é de o majorar as reações, investindo em solução mais robustas/resistentes, que necessariamente são mais onerosas

- Em situações existentes a abordagem clássica é a de reforçar, com elementos adicionais, no caso de muros

Deve também ser equacionada, reduzir e “dominar” as ações, que no caso da Geo Leca permite reduzir os impulsos, neste caso em muros.

Este “dominar” de ações tem um duplo efeito no caso da Geo Leca há uma redução de 18 a 20 kN/m<sup>3</sup> para 5 kN/m<sup>3</sup> para um KO similar ( $\varnothing=30^\circ$ ), e um controlo absoluto sobre os impulsos hidrostáticos, desde que seja criada drenagem, uma vez que a Geo Leca é um dreno muito eficaz.





## Alexandre Pinto

### SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS DE ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM RECURSO A AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



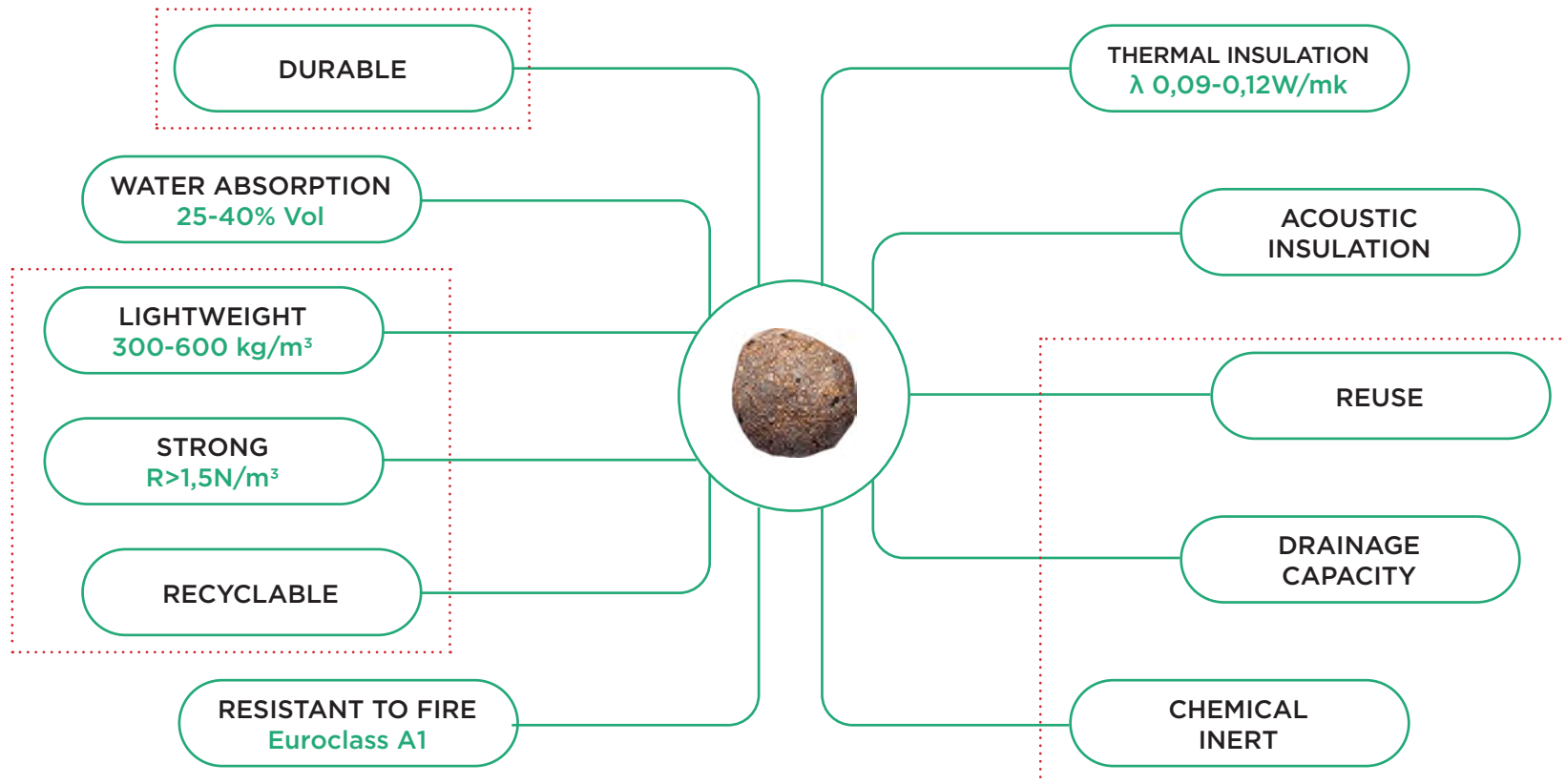
Assiste a  
apresentação

**Alexandre Pinto** é licenciado em Engenharia Civil pelo Instituto Superior Técnico (IST), onde também concluiu o mestrado em Engenharia de Estruturas, complementado com um mestrado em Gestão de Empresas pela Universidade Católica Portuguesa. É Professor Associado Convidado no IST e tem uma carreira marcada por forte envolvimento associativo e técnico na área da geotecnia. É membro sénior e especialista em geotecnia da Ordem dos Engenheiros, onde exerceu cargos de coordenação na especialização de Geotecnia. Presidiu à Sociedade Portuguesa de Geotecnia (2020–2024) e lidera atualmente a Comissão Portuguesa de Geotecnia nos Transportes (2024–2028). Foi também Presidente da Comissão Organizadora da ECSMGE 2024. Desde 2004, é sócio-gerente e diretor técnico da JETsj – Geotecnia, Lda.



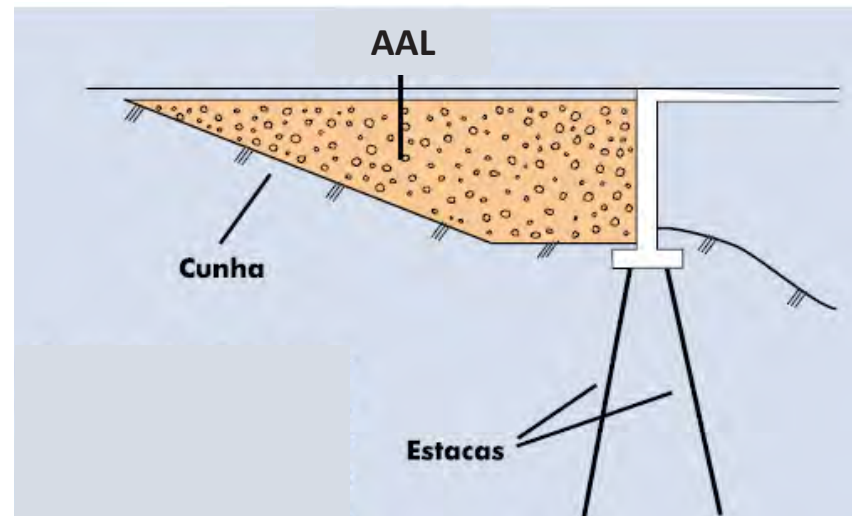
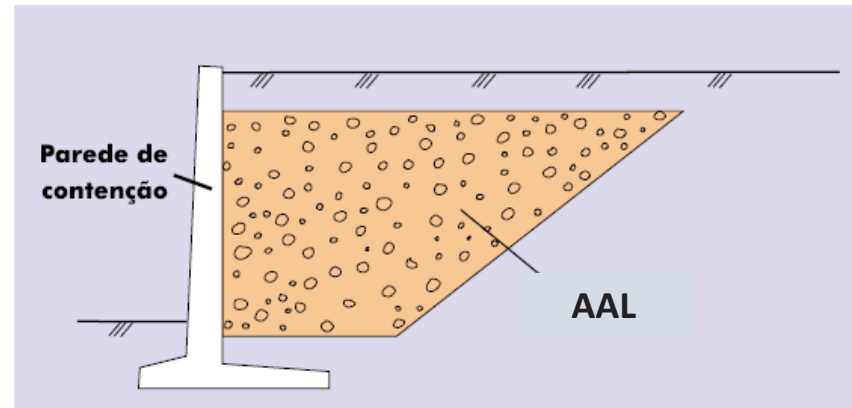
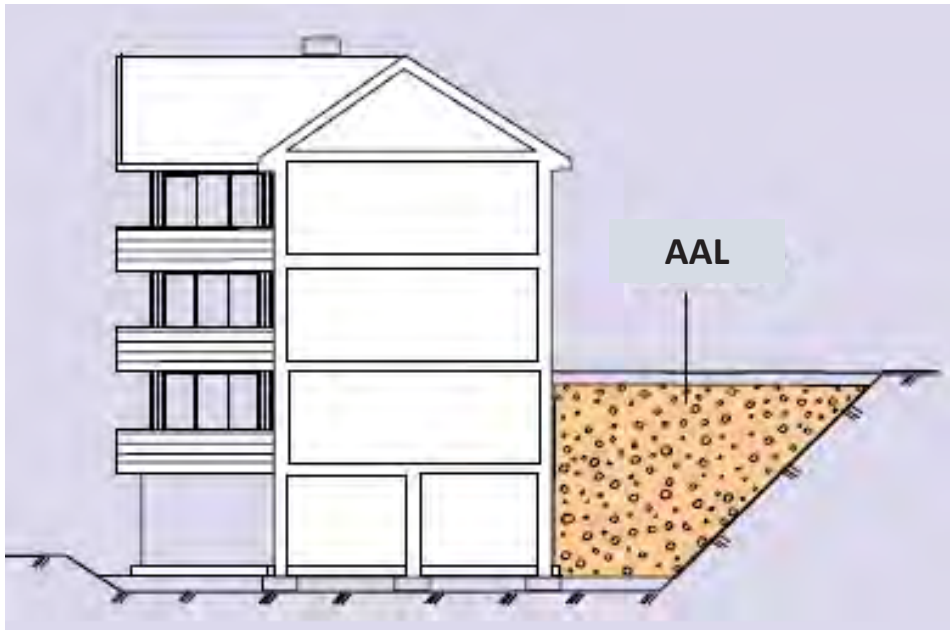


## O CONCEITO | agregados leves de argila expandida (AL)





## A UTILIZAÇÃO | Muros suporte

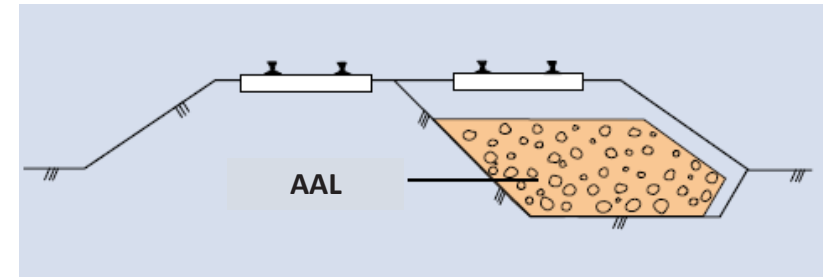
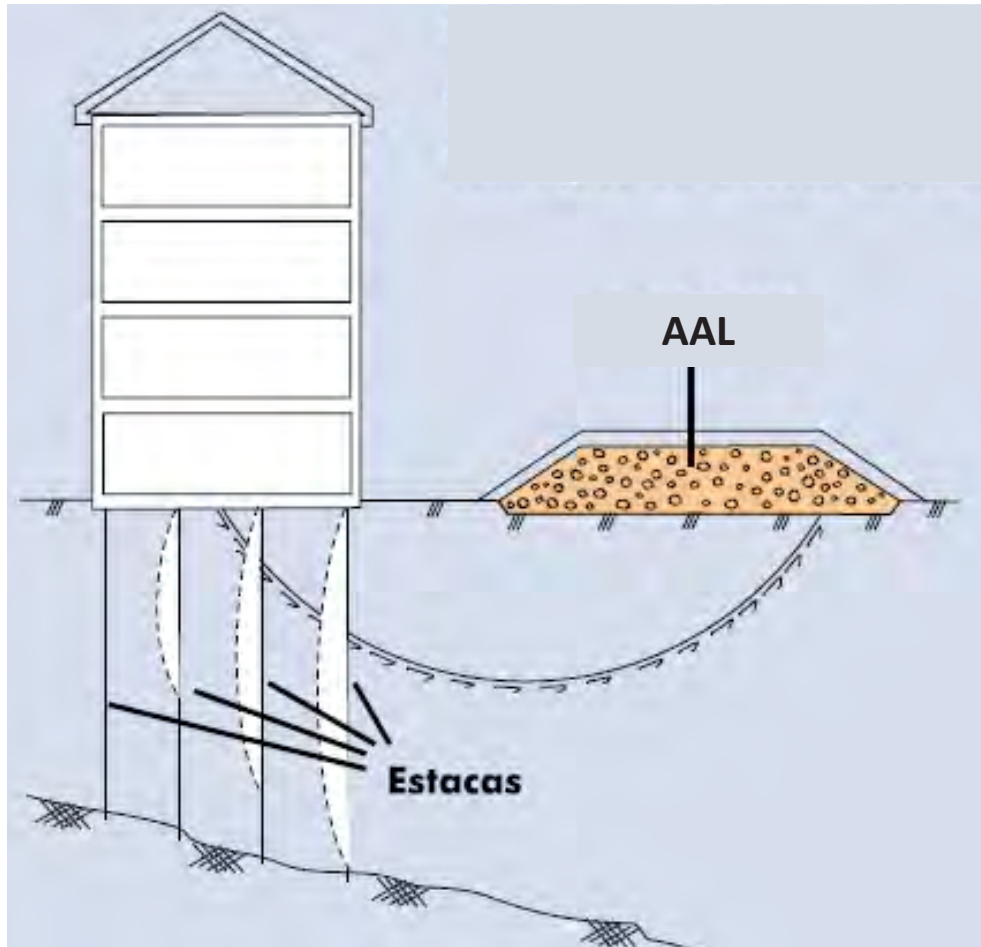


Redução dos impulsos atuantes  
e incremento da drenagem





## A UTILIZAÇÃO | Aterros e alargamento de aterros



Redução de efeitos secundários (esforços e deformações) em estruturas e infraestruturas vizinhas



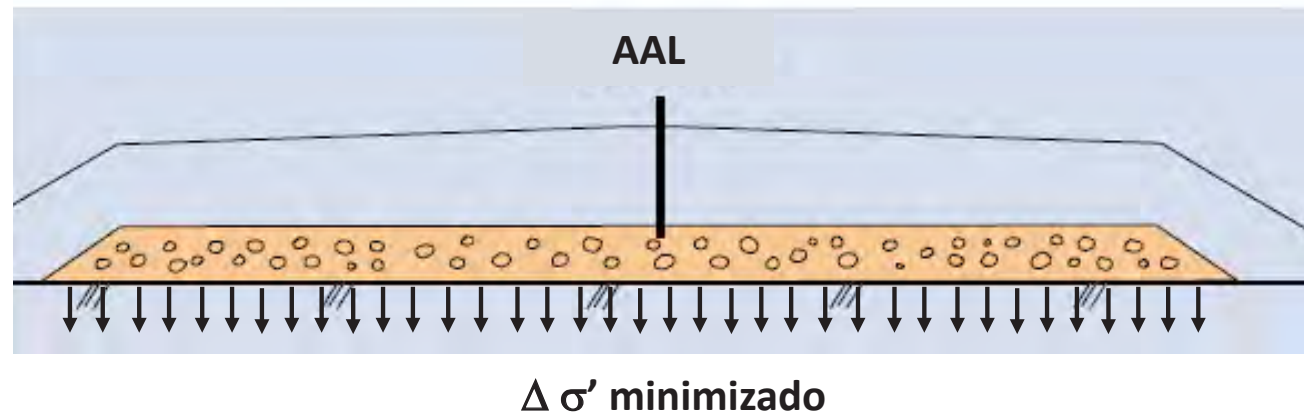
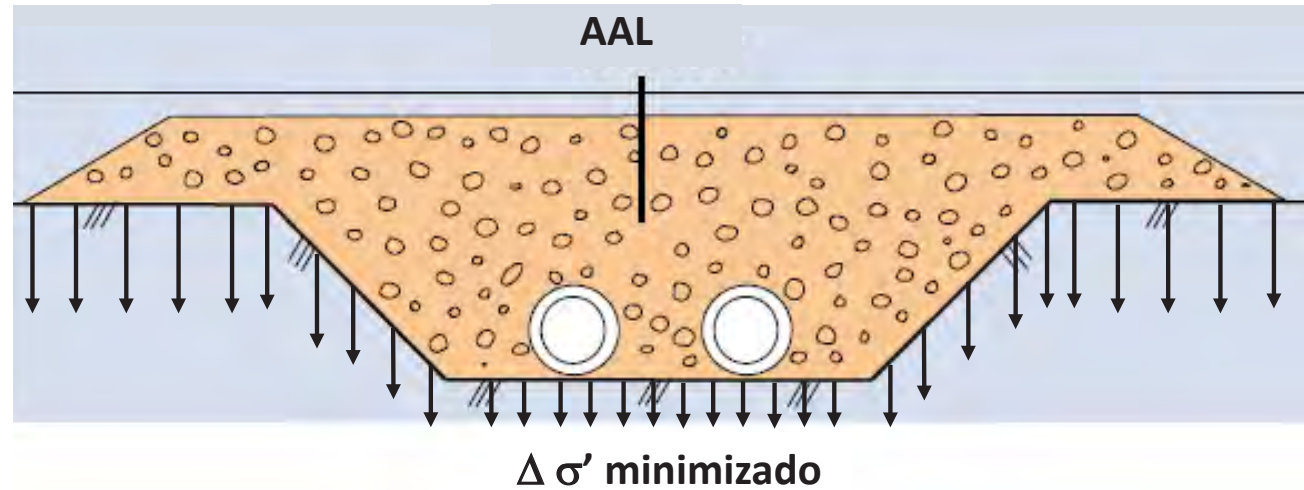


## A UTILIZAÇÃO | Aterros de compensação

Substituição do solo pré existente por um material com peso cerca de 4 vezes inferior



Compensação das tensões a que o solo virá a ser submetido, permitindo minimizar as deformações





**Alexandre Pinto**  
SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS DE ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM  
RECURSO A AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



## A UTILIZAÇÃO | Parque Oriente, Sacavém, Loures



2009

2010

2017

2019

2022

2023

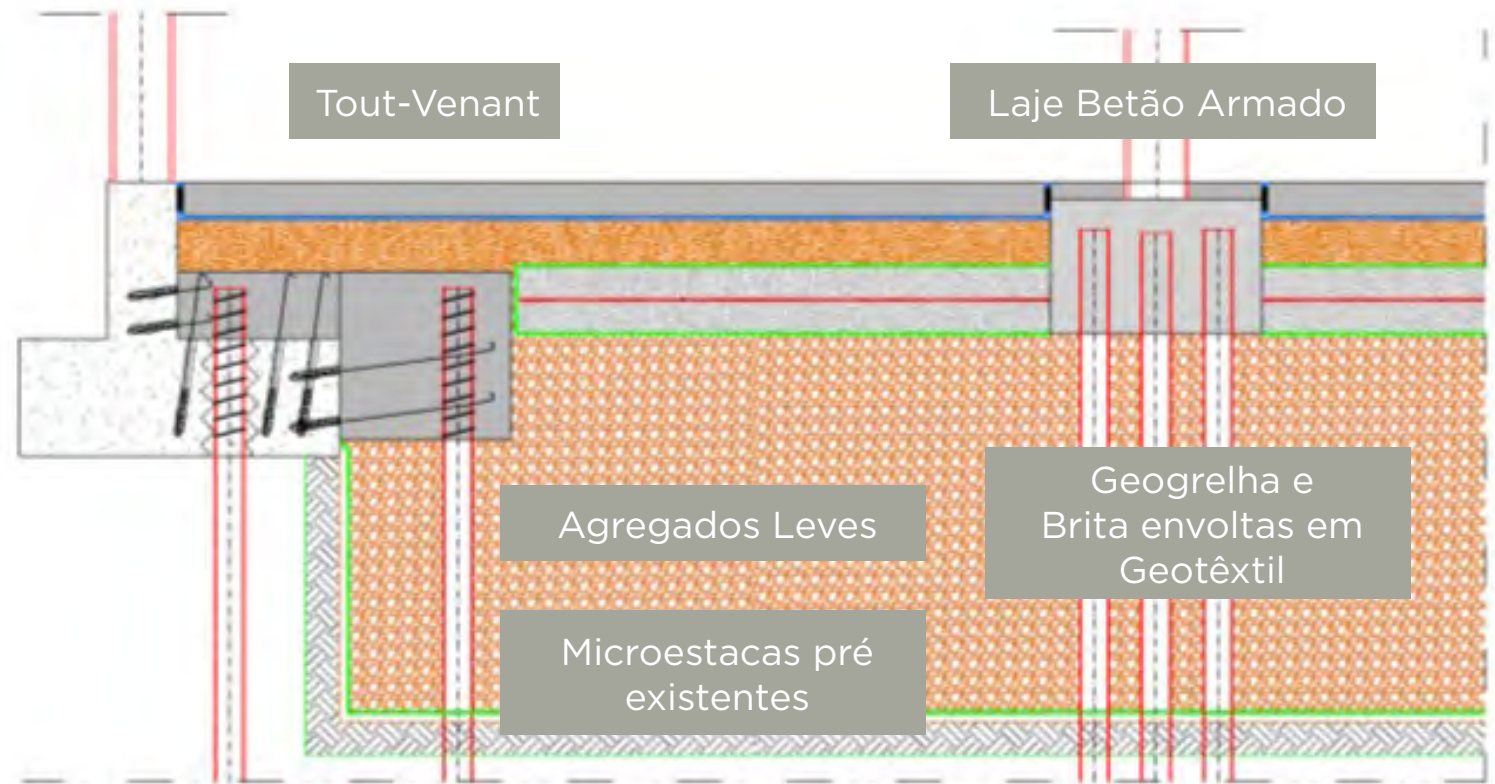
2024





## A UTILIZAÇÃO | Parque Oriente, Sacavém, Loures

Corte Tipo da  
Solução de  
Substituição de  
Solos



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





**Alexandre Pinto**  
SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS DE ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM  
RECURSO A AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





**Alexandre Pinto**  
SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS DE ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM  
RECURSO A AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





**Alexandre Pinto**  
SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS DE ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM  
RECURSO A AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO

### A8: obras entre nós de Tornada e Alfeizerão só terminam em Julho

tv24

30 abr 2010, 18:05



2009

2010

2017

2019

2022

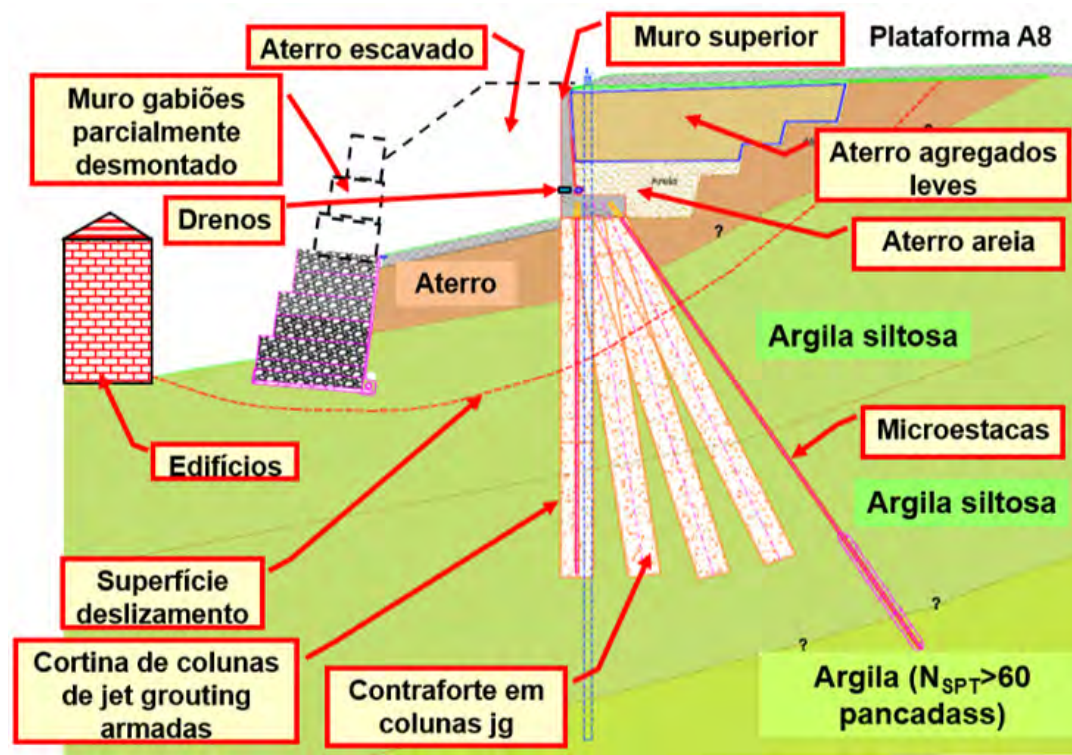
2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO

24 notícias Atualidade Economia Desporto Vida Tecnologia Local Opinião Jornais Notícias Lusa

Últimas Hoje o dia foi assim É Desta Que Leio Isto Acho Que Vais Gostar Disto Inovação & Startups Isto é útil

### Lisboa: Terra continua a deslizar nas traseiras da rua Damasceno Monteiro. 27 pessoas retiradas de casa

MadreMedia / Lusa  
 27 fev 2017 12:28  
 Atualidade  
 Lisboa - Proteção Civil - Deslizamento de terra

Este artigo tem mais de 8 anos

Seis horas depois da queda de um muro que levou à retirada de 27 pessoas de edifícios na Rua Damasceno Monteiro, em Lisboa, continuam a verificar-se pequenos deslizamentos de terra no local, constatou a Lusa.

f x g in

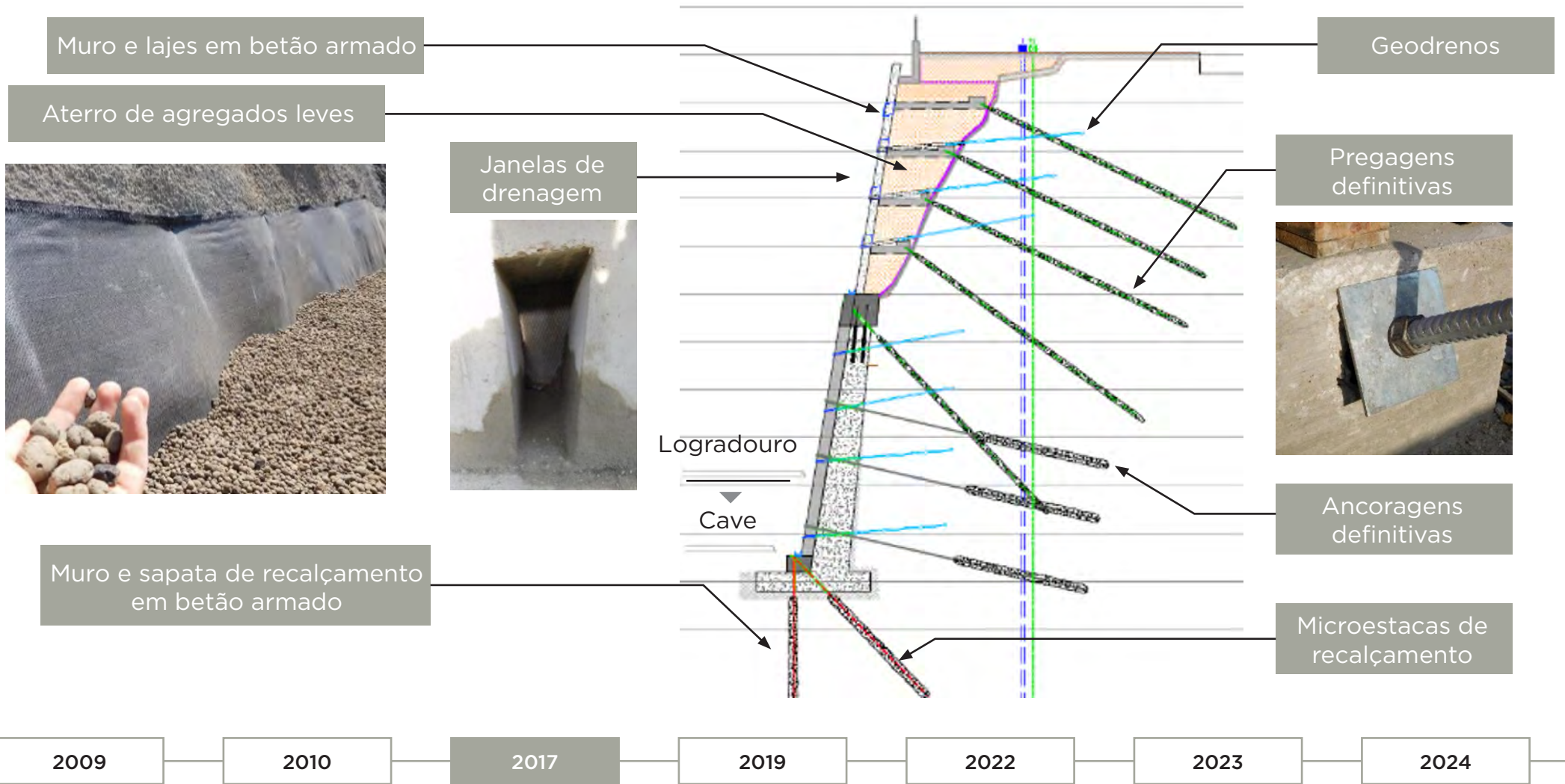


Atualidade - 27 fev 2017 09:53  
 Autoridades fazem "análise técnica" a edifícios atingidos por deslizamento de terras em Lisboa






## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

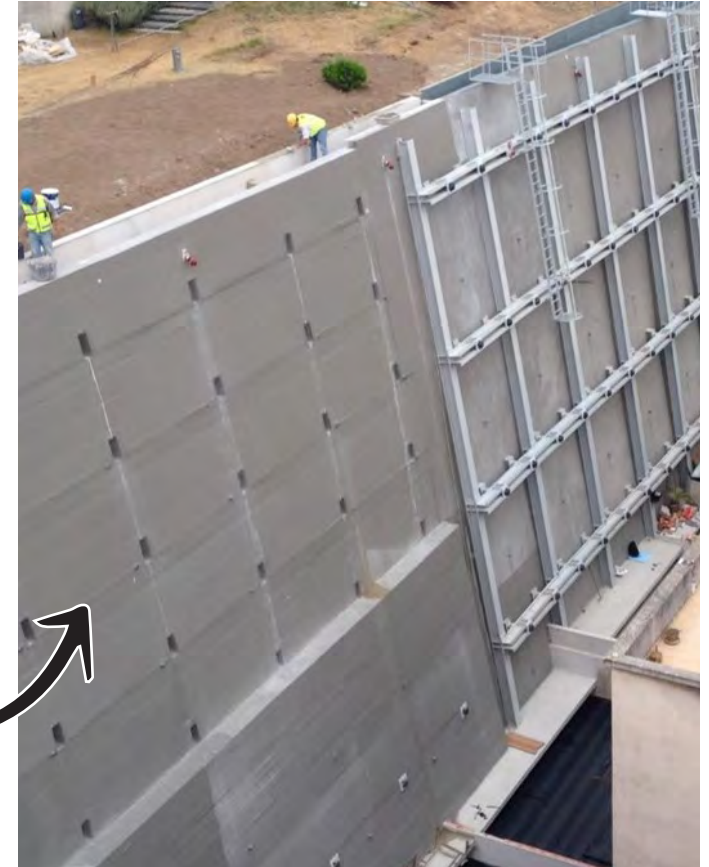
2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



Cultura    Desporto    Entrevista    Informação Geral    Estatuto Editorial    Contactos

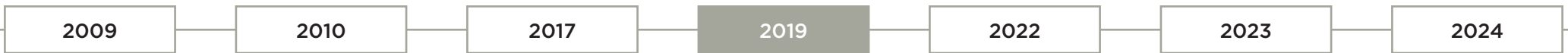
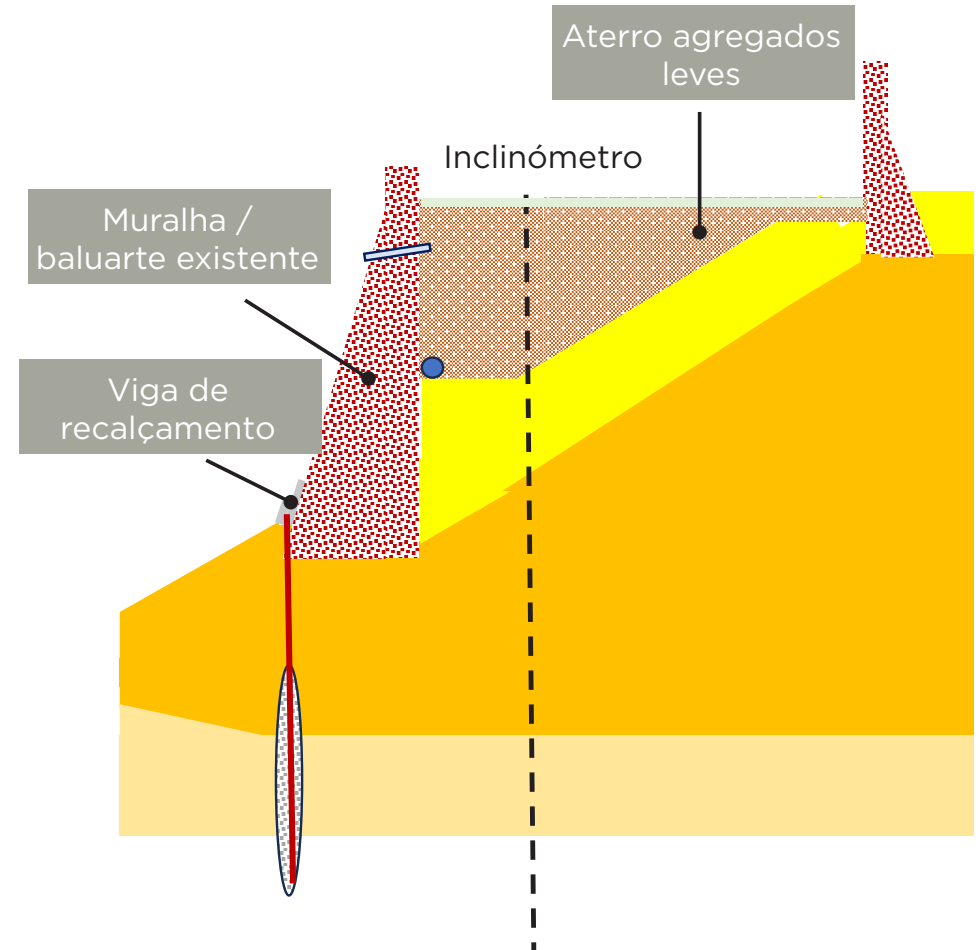
### Projecto de execução para consolidação da Encosta do Castelo adjudicado

A Câmara Municipal de Palmela adjudicou o projecto de execução para a Intervenção de Natureza Estrutural para Evitar Derrocadas nas Encostas do Castelo de Palmela, pelo valor...



By admin  
Mar 25, 2019

1055





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

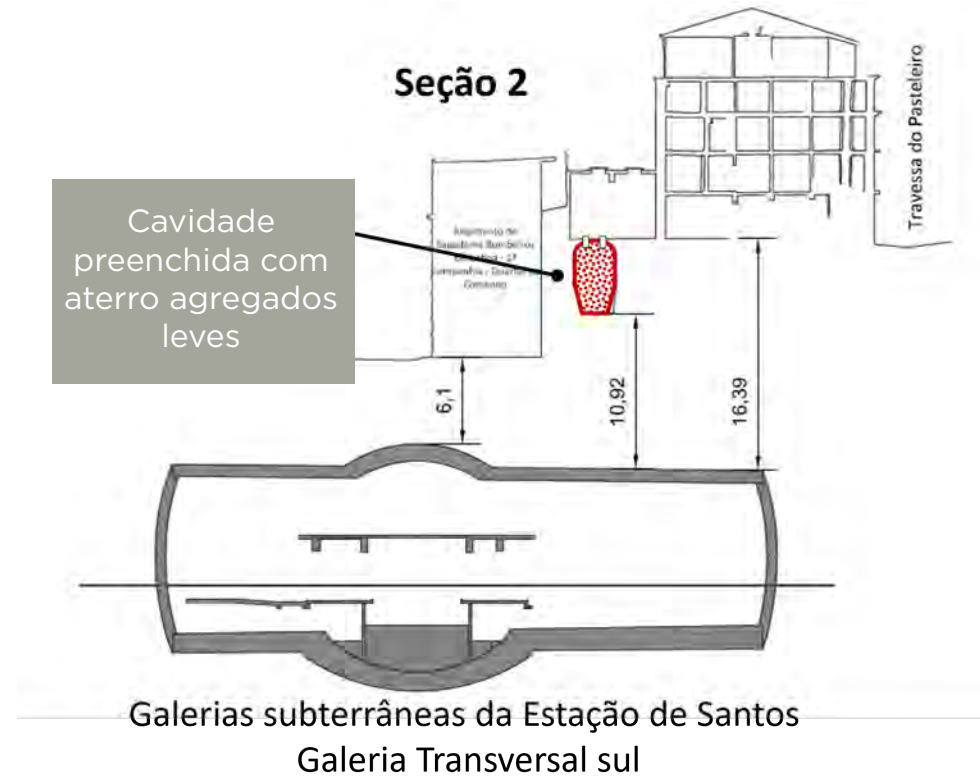
2023

2024





## A UTILIZAÇÃO | Lote 2, Santos / Cais do Sodré, ML



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

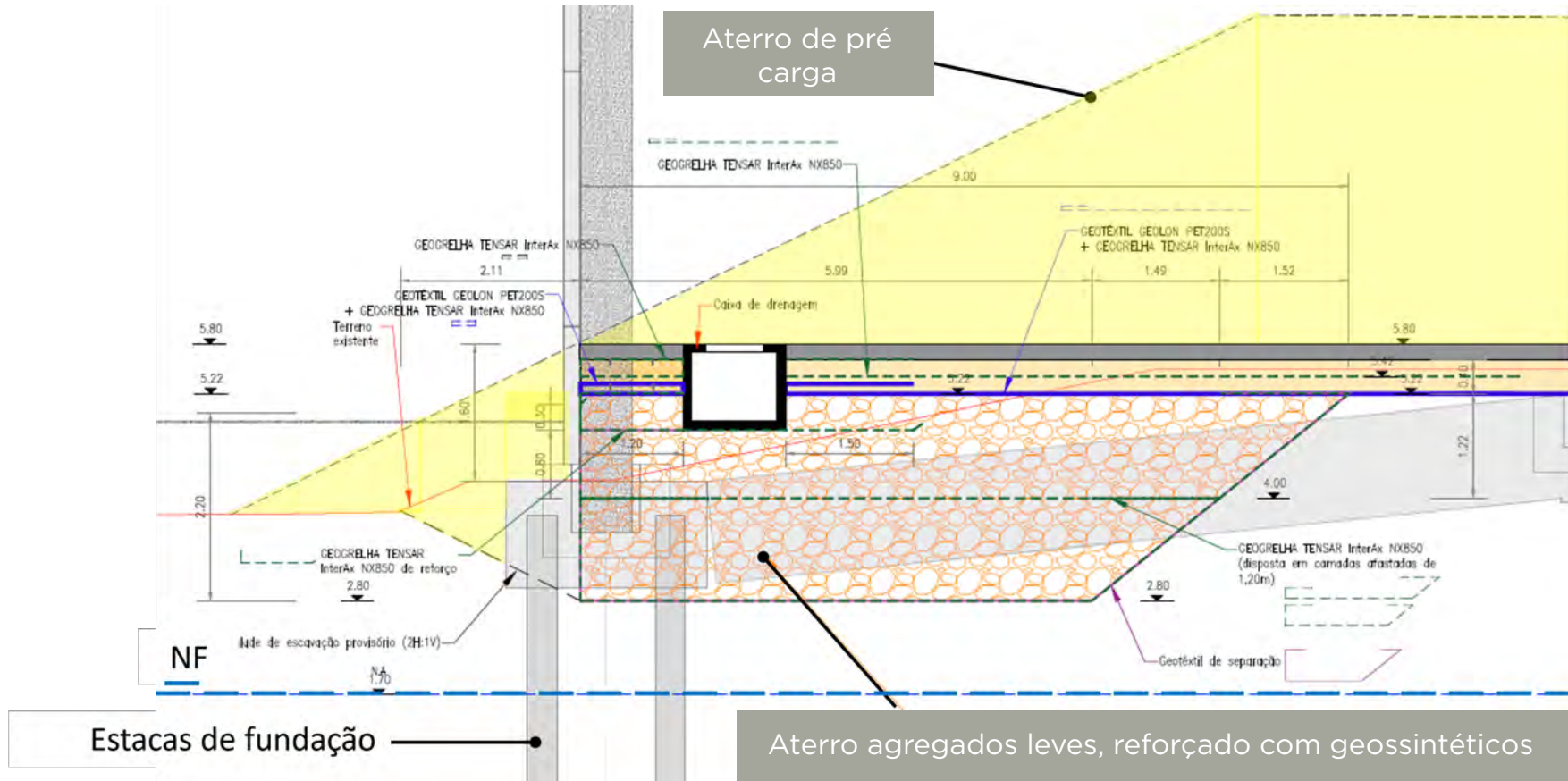
2023

2024





## A UTILIZAÇÃO | PLLN



2009

2010

2017

2019

2022

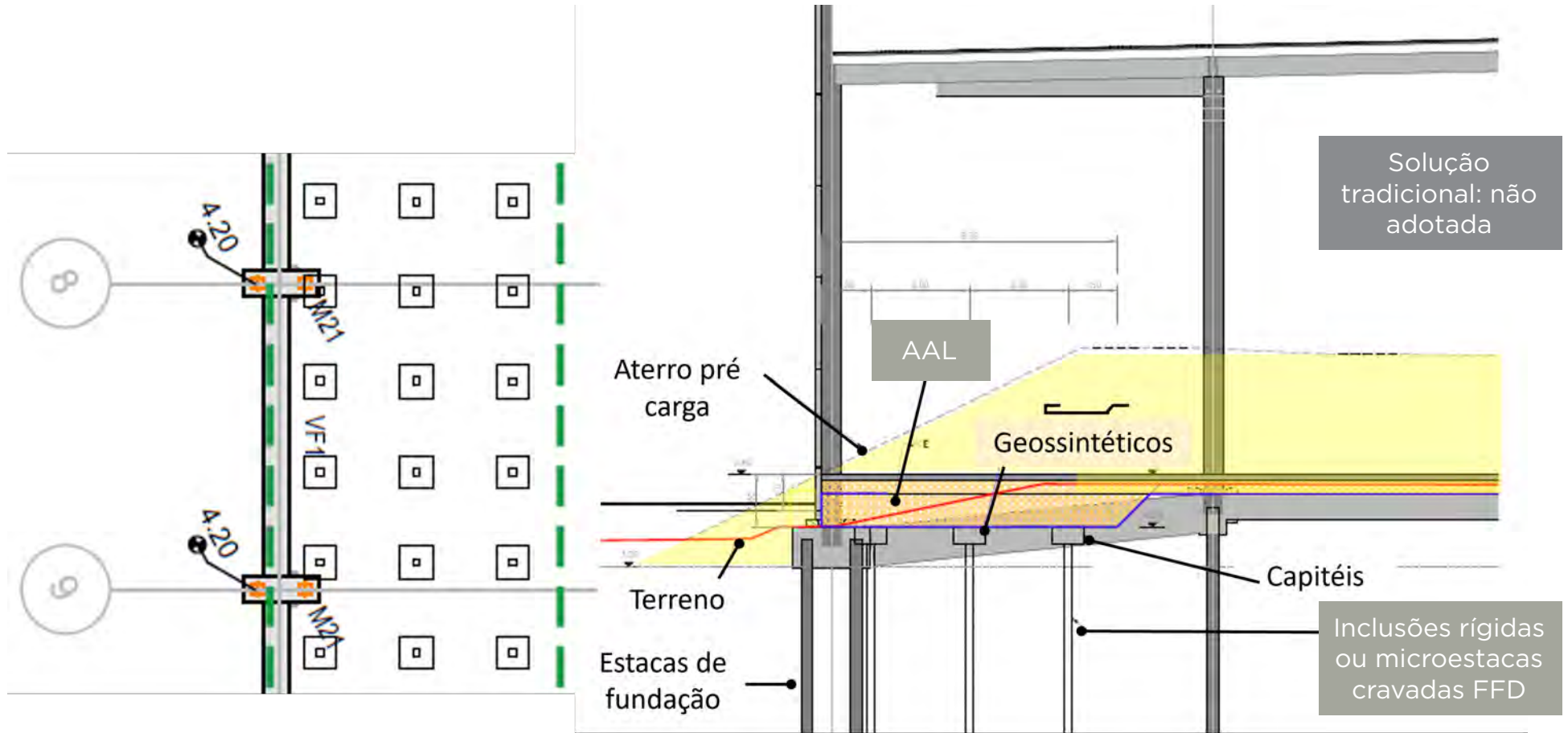
2023

2024



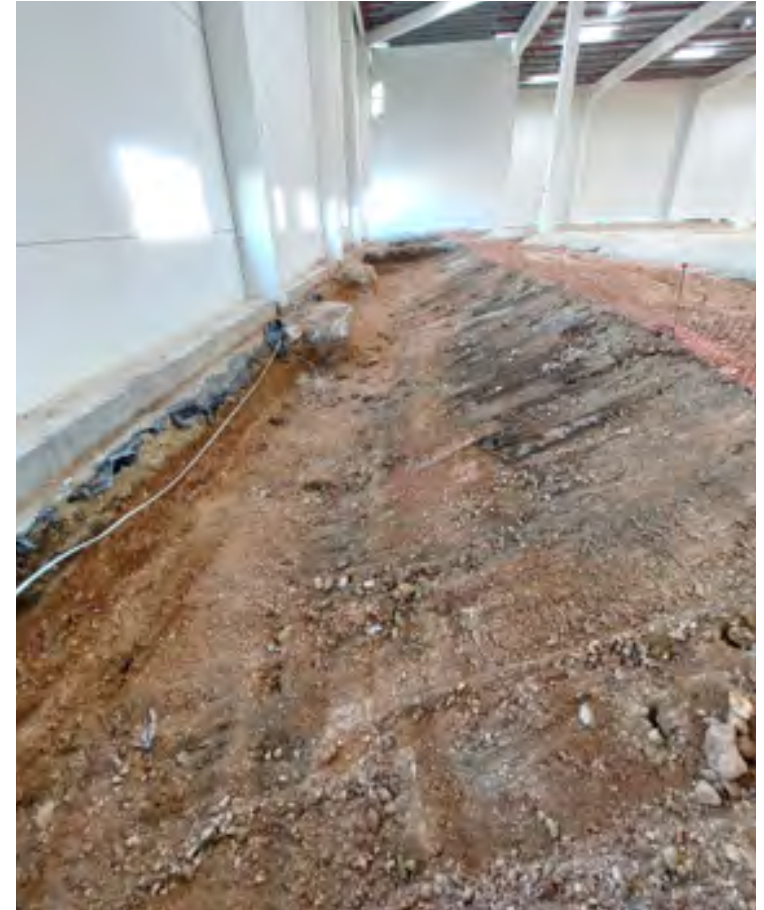


## A UTILIZAÇÃO





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## A UTILIZAÇÃO



INÍCIO ▾

### Obras consolidação solos Travessa Sinbad

12-MAR-2024



2009

2010

2017

2019

2022

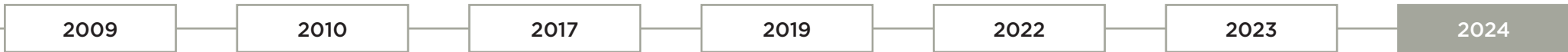
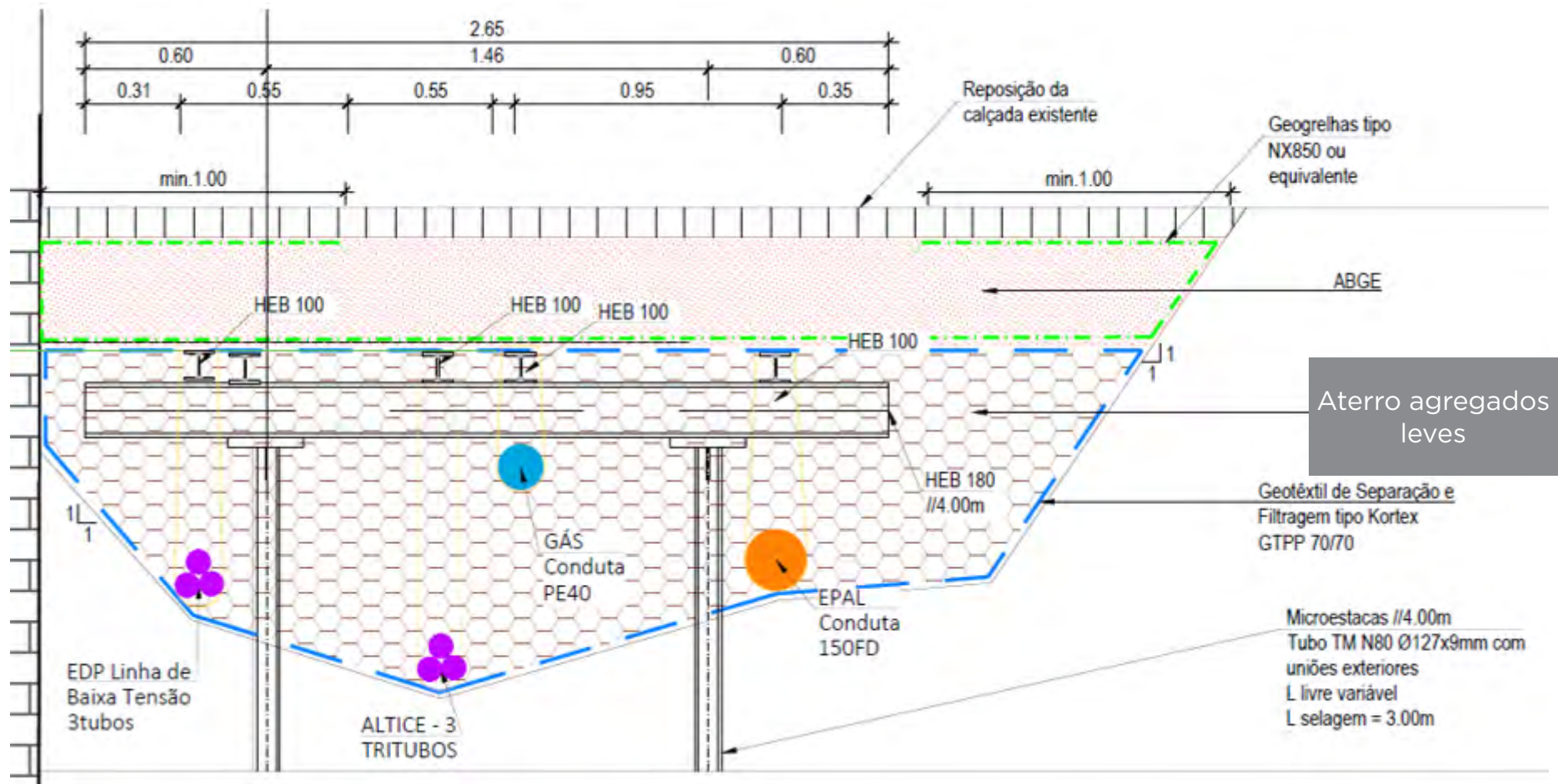
2023

2024





## A UTILIZAÇÃO | Estabilização de Assentamentos junto a edifícios no PN, Lisboa





## A UTILIZAÇÃO



2009

2010

2017

2019

2022

2023

2024





## CASO DE OBRA | Arruamentos junto à PLLN, Carregado



**ENQUADRAMENTO**

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

SOLUÇÕES ADOTADAS

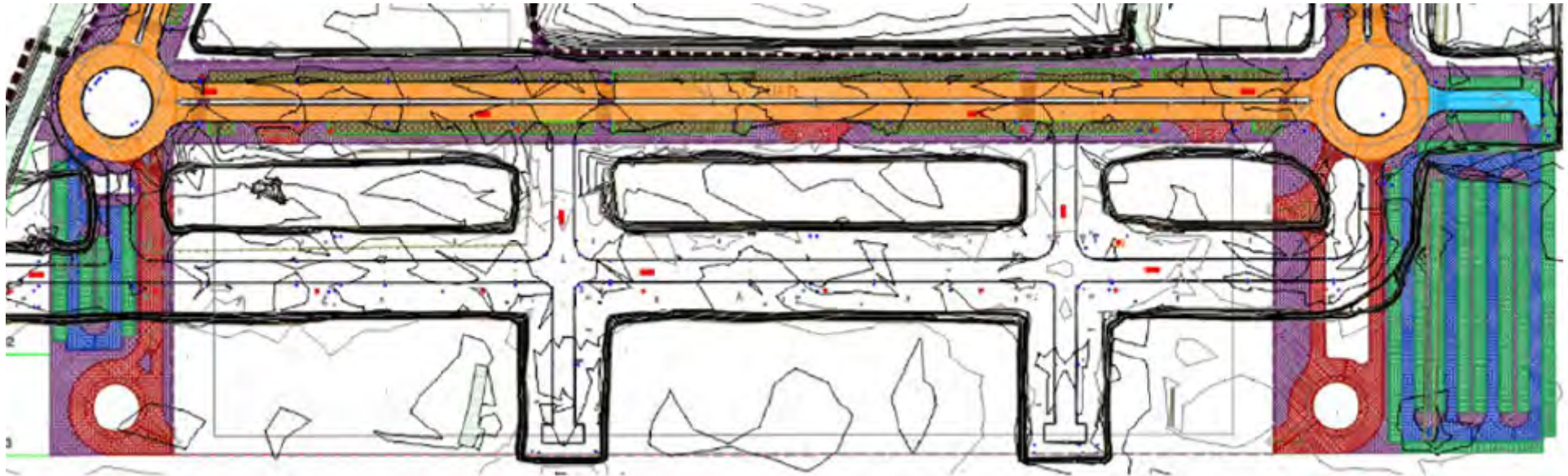
INSTRUMENTAÇÃO








REFLEXÕES





## CASO DE OBRA



- |   |   |
|---|---|
|  Vias de circulação Pesados (zonas de finalização) iii)      |  Estacionamento de ligeiros (zonas de finalização) iv) |
|  Vias de circulação Pesados (zonas novas) i)                 |  Estacionamento de ligeiros (zonas novas) ii)          |
|  Vias de Acesso a Estacionamentos (zonas novas) iv)          |  Passeio em blocos                                     |
|  Vias de Acesso a Estacionamentos (zonas de finalização) iv) |   |

**ENQUADRAMENTO**

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

SOLUÇÕES ADOTADAS

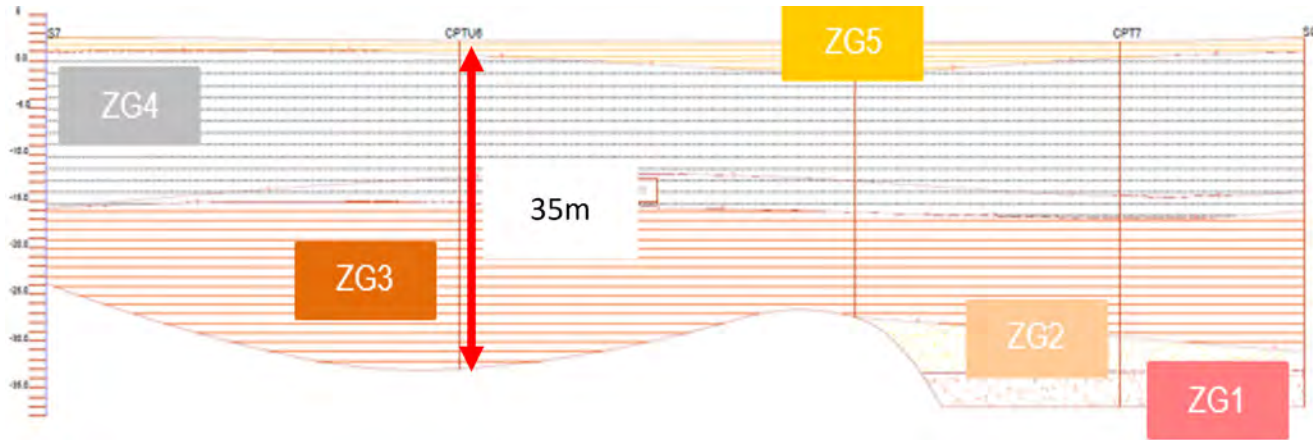
INSTRUMENTAÇÃO

REFLEXÕES





## CASO DE OBRA



- Depósitos de aterro (ZG5)
- Depósitos aluvionares, solos muito moles (ZG4)
- Depósitos co aluvionares (ZG3)
- Depósitos de areias e cascalheiras do Quaternário (ZG2)
- Depósitos de Areias Médias (ZG1)





**Alexandre Pinto**

**SOLUÇÕES GEOTÉCNICAS DE ATERROS DE COMPENSAÇÃO COM RECURSO A AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA**



## CASO DE OBRA

Soluções equacionadas para execução dos aterros tradicionais:

- Solução de fundação indireta
- Melhoramento do solo de fundação com inclusões rígidas
- Melhoramento do solo de fundação com recurso a consolidação forçada com geodrenos e aterros de pré carga



Aterro agregados leves como solução que assegura:



Otimização:

- ✓ Custo da obra
- ✓ Prazo da obra
- ✓ Vantagens ambientais

ENQUADRAMENTO

**PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS**

SOLUÇÕES ADOTADAS

INSTRUMENTAÇÃO

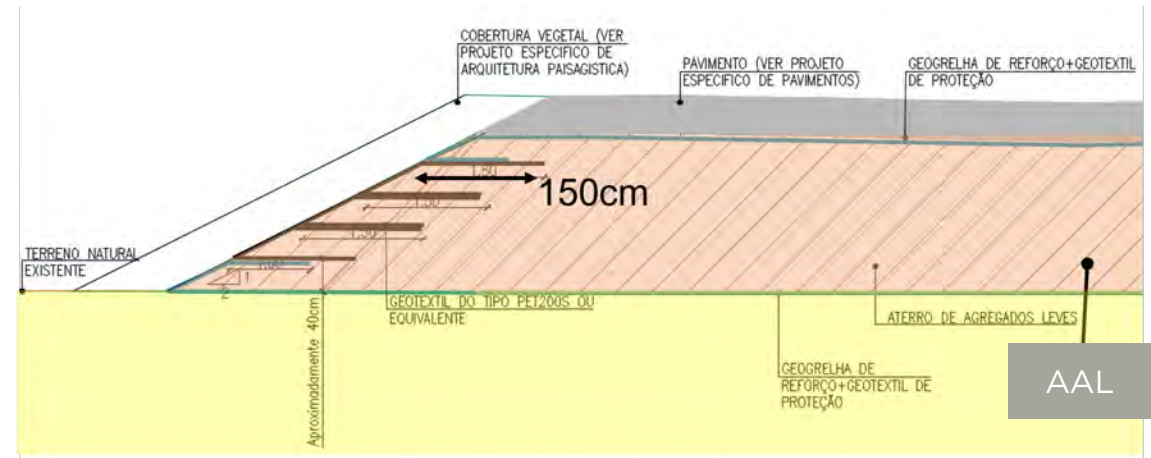
REFLEXÕES



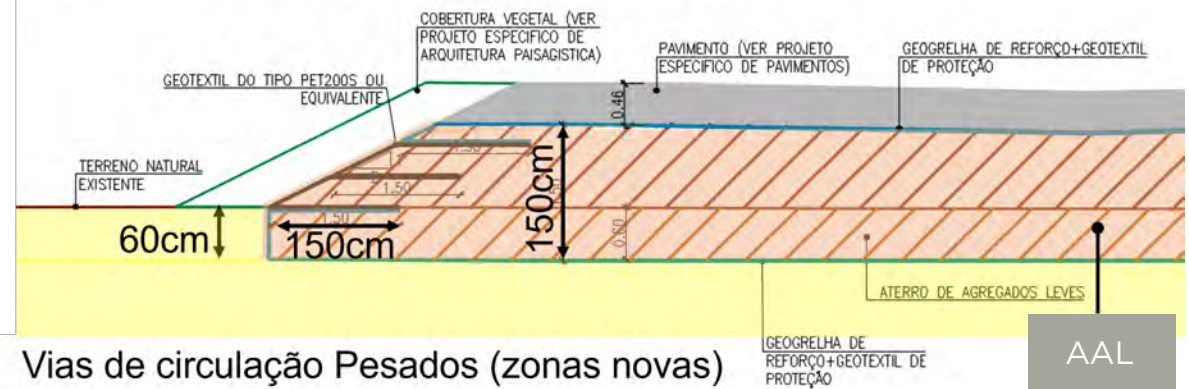


## CASO DE OBRA

- Aterro constituído por agregados leves em argila expandida com alturas entre 1-2m
- Confinado por geogrelha + geotêxtil
- Taludes reforçados com geotêxtil de elevada resistência
- Pré-escavação de 60cm nos locais em circulação de pesados: aterro de compensação



Estacionamento de ligeiros (zonas novas)



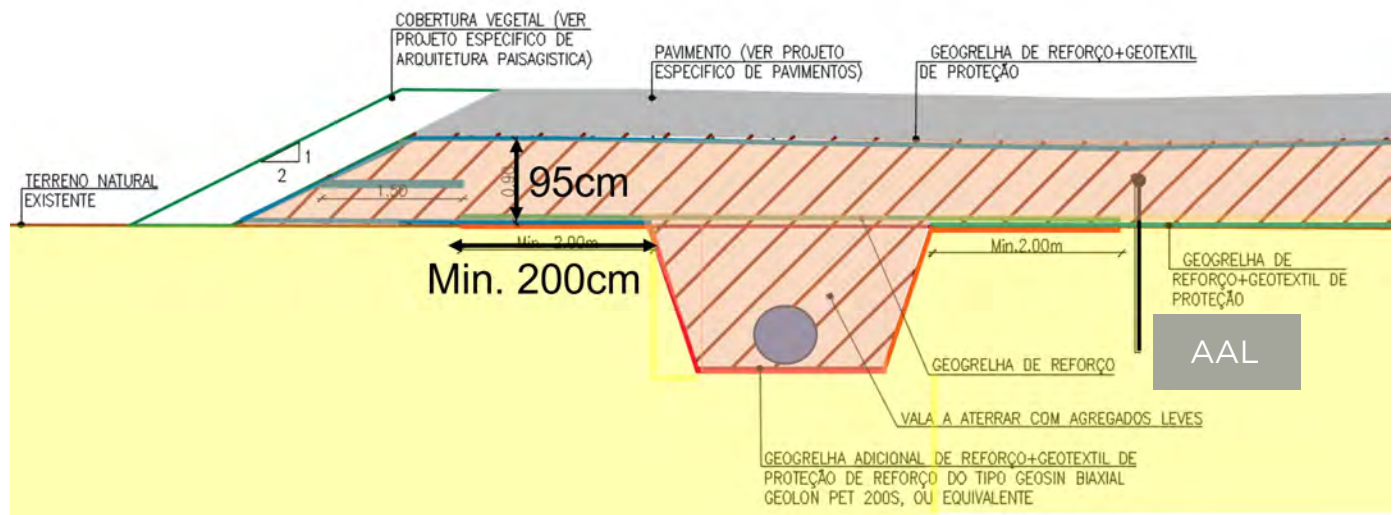
Vias de circulação Pesados (zonas novas)





## CASO DE OBRA

- Compatibilização com infraestruturas





## CASO DE OBRA

- Facilidade de Instalação



ENQUADRAMENTO

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

**SOLUÇÕES ADOTADAS**

INSTRUMENTAÇÃO

REFLEXÕES





## CASO DE OBRA



ENQUADRAMENTO

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

**SOLUÇÕES ADOTADAS**

INSTRUMENTAÇÃO

REFLEXÕES





## CASO DE OBRA

- Controlo de Qualidade /  
Controlo de Execução

Ensaio de carga em placa, tendo-se obtido um valor de EV2 entre os 70MPa e os 80MPa, para o critério de aceitação de 60MPa

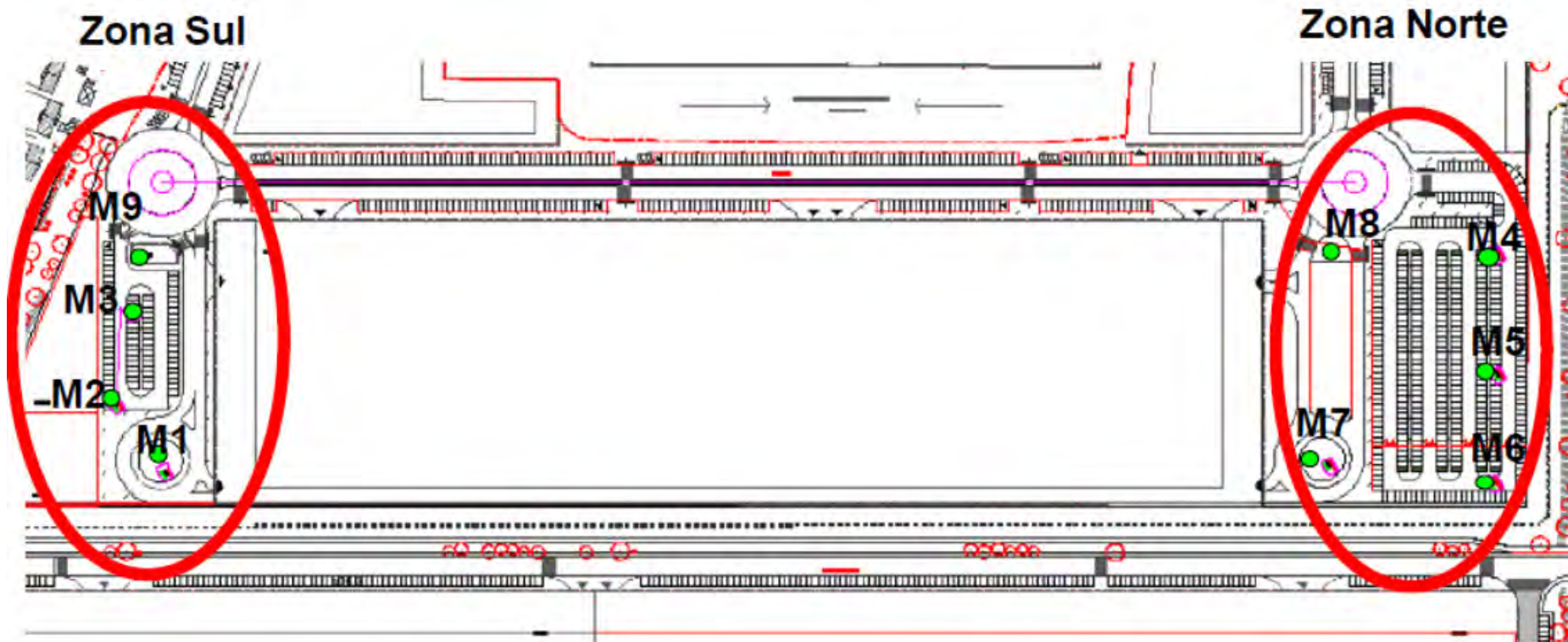
Ev1=	46.53	MPa	K=	1.52
Ev2=	70.60	MPa		





## CASO DE OBRA

### ■ Instrumentação e Observação



ENQUADRAMENTO

PRINCIPAIS CONDICIONAMENTOS

SOLUÇÕES ADOTADAS

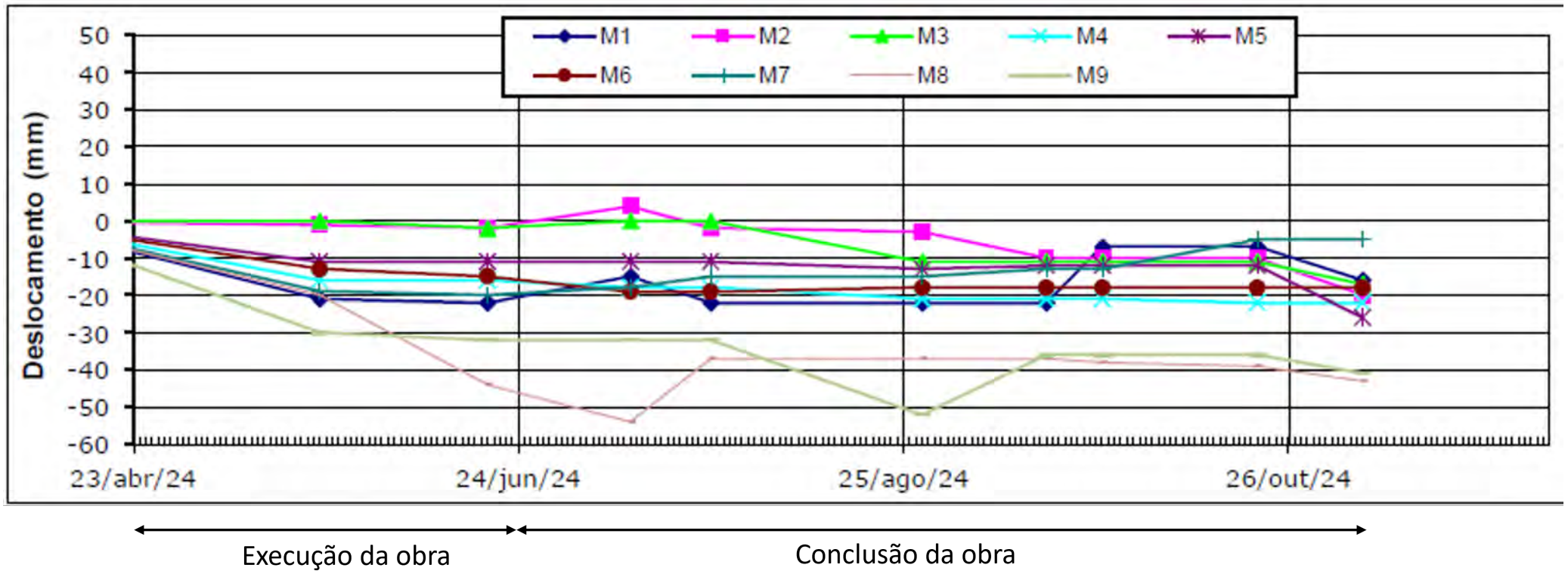
**INSTRUMENTAÇÃO**

REFLEXÕES





## CASO DE OBRA





## CASO DE OBRA

Solução de AAL nesta obra:

- Utilização de AAL proporcionou efetiva mitigação de assentamentos diferenciais
- Assentamento total estimado de aproximadamente 7 cm ao longo de 5 anos para a zona de circulação de pesados (zona crítica)

Comparação com Solução Convencional:

- Solução convencional (apenas com aterro tradicional) resultaria em assentamentos diferenciais da ordem de 20cm
- Alternativas mais onerosas, em prazo e custo económico e ambiental, incluiriam consolidação forçada por geodrenos e aterros de pré-carga

Benefícios da Utilização de Agregados Leves:

- Redução significativa no incremento de tensões efetivas nos materiais aluvionares de fundação, associada à minimização dos assentamentos totais e diferenciais
- Vantagens: construtivas, económicas, prazo e ambientais





## Jose Estaire

### COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD



Assiste a  
apresentação

**José Estaire** é engenheiro doutorado, trabalha no Laboratório de Geotecnia do CEDEX como consultor sénior em engenharia geotécnica e foi também professor assistente na Universidad Politécnica de Madrid. Atualmente, é o responsável pela infraestrutura de ensaios CEDEX Track Box. Está envolvido no desenvolvimento da Segunda Geração do Eurocódigo 7 há mais de 10 anos, sendo um dos membros do CEN-SC7-PT6 (o comité de redação final do futuro Eurocódigo 7). Foi também o coordenador do comité que redigiu as diretrizes da UIC relativas ao projeto e manutenção de aterros em linhas ferroviárias.





**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD

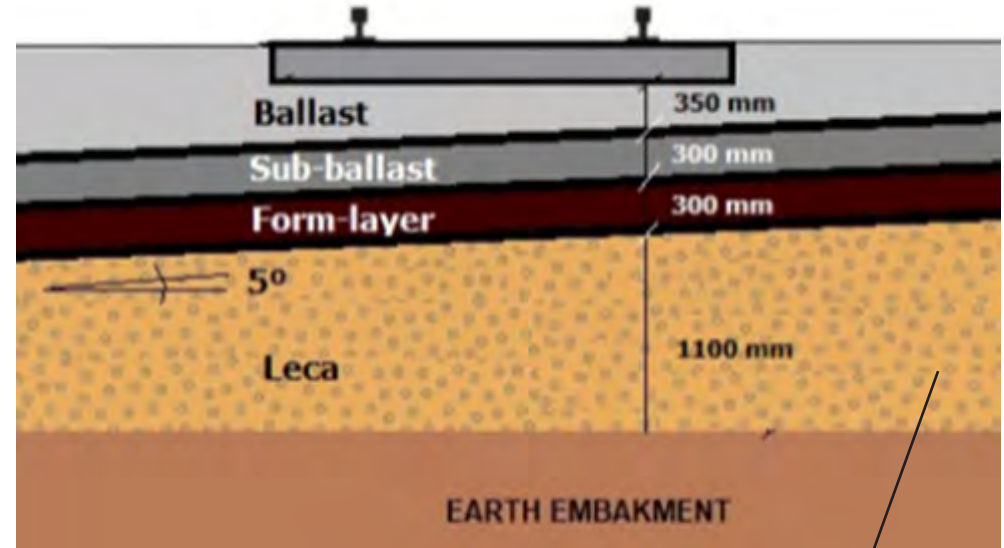
Presentar los resultados de los ensayos realizados en

el CAJÓN FERROVIARIO DEL CEDEX

del proyecto PEDLER (Performance and Durability of a Leca filling in Railway embankments)

dentro del Consorcio Europeo GEOLAB (financiado por la Unión Europea)

El principal objetivo del del Proyecto PEDLER es conocer el comportamiento de la **arcilla expandida** (Arlita-LECA) como material constitutivo de una infraestructura ferroviaria de ALTA VELOCIDAD



	GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE	VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO	<b>CEDEX</b> CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS
			MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO	





**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## **COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**

### A: EL CAJÓN FERROVIARIO DEL CEDEX

 <p>GOBIERNO DE ESPAÑA</p>	<p>MINISTERIO DE TRANSPORTES Y MOVILIDAD SOSTENIBLE</p>	<p>VICEPRESIDENCIA TERCERA DEL GOBIERNO</p> <p>MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO</p>	 <p>CEDEX</p> <p>CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS</p>
---	---	--	--





**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA  
EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## A.- CEDEX TRACK BOX - PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

### GEOMETRÍA

Dimensiones:

21 m de longitud; 5 m de anchura y 4 m de profundidad

Esas dimensiones hacen posible ensayar modelos a escala 1:1 de secciones ferroviarias completas





## A.- CEDEX TRACK BOX - PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

SISTEMA DE CARGAS para simular el paso de trenes

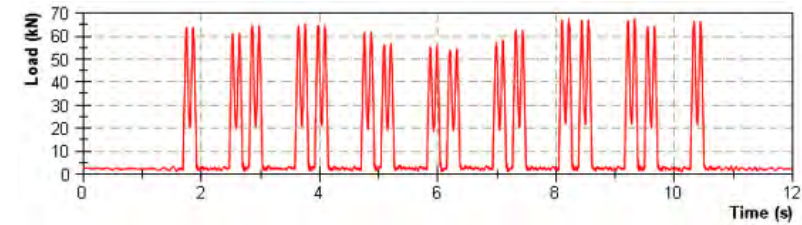
Cargas aplicadas por tres pares de actuadores servohidráulicos

Máxima carga: 250 kN (a frecuencia de 50 Hz)

Carga desfasada en los tres actuadores para simular el efecto de la velocidad



Siemens S-103: 32 axel loads



Sistema para modelizar las cargas de los trenes



### TRENES MODELIZADOS

Trenes de líneas convencionales y de alta velocidad

Trenes de pasajeros y de mercancías

Cargas de hasta 400 kN/eje

Velocidades de tren hasta de 420 km/h

axle	distance (m)	load (t)
1	3.51	15.5
2	2.5	15.5
3	14.875	15.5
4	2.5	15.5
5	4.9	15.5
6	2.5	15.5
7	14.875	15.5
8	2.5	15.5
9	4.9	15.5
10	2.5	15.5
11	14.875	15.5
12	2.5	15.5
13	4.9	13.5
14	2.5	13.5
15	14.875	13.5
16	2.5	13.5

axle	distance (m)	load (t)
17	4.9	13.5
18	2.5	13.5
19	14.875	13.5
20	2.5	13.5
21	4.9	15.5
22	2.5	15.5
23	14.875	15.5
24	2.5	15.5
25	4.9	15.5
26	2.5	15.5
27	14.875	15.5
28	2.5	15.5
29	4.9	15.5
30	2.5	15.5
31	14.875	15.5
32	2.5	15.5
	3.51	
total	200.32	480.00

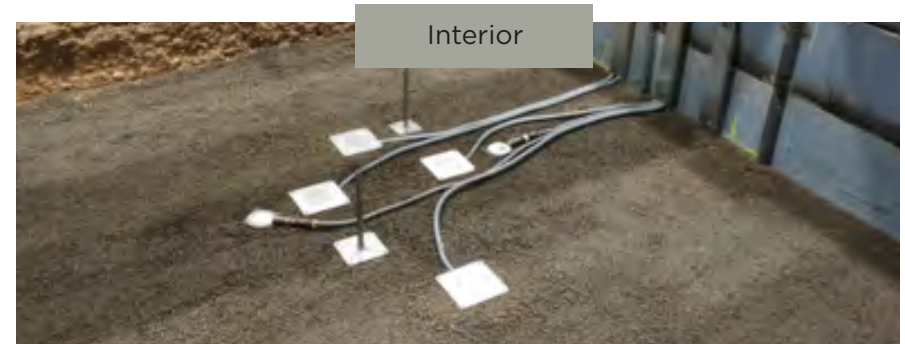




## A.- CEDEX TRACK BOX - PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

### SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN

Desplazamientos, velocidades, aceleraciones y presiones verticales  
↓ ↓ ↓ ↓ ↓  
Sensores láser, potenciómetros y LVDT's, geófonos, acelerómetros y células de presión  
Instalados en los componentes de vía: carril, suela bajo carril, traviesa, capas ferroviarias (balasto, subbalasto y terraplén)





## A.- CEDEX TRACK BOX – TIPO DE ENSAYOS

### 1.- Tipo de secciones a ensayar



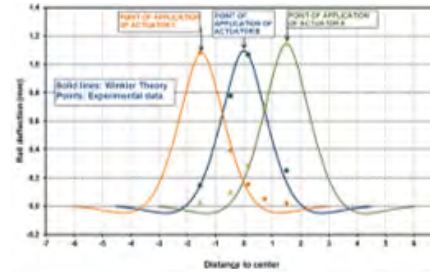
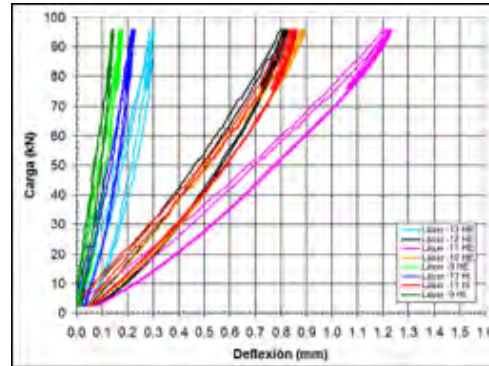
Vía en placa

Vía en balasto

### 2.- Tipo de ensayos

#### a) Ensayos estáticos => Rigidez de vía

##### Ensayos estáticos

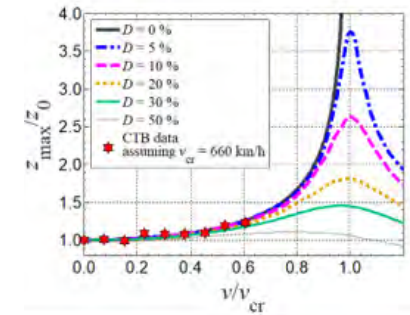
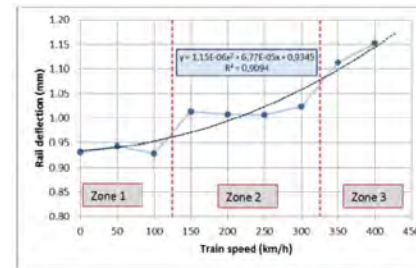
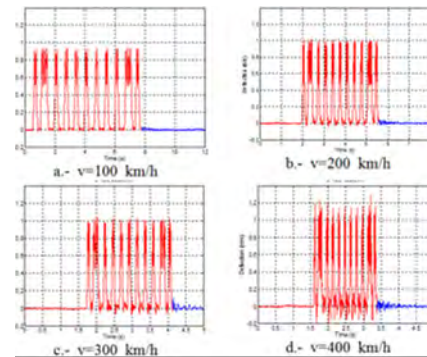


Interpretación:  
Teoría de Winkler

$$\delta(x, t) = \frac{Q}{K} e^{-\frac{|x-vt|}{L}} \left[ \cos\left(\frac{|x-vt|}{L}\right) + \sin\left(\frac{|x-vt|}{L}\right) \right]$$

#### b) Ensayos de caracterización dinámica

##### Rail deflections for different speeds



Determinación de la velocidad crítica mediante las curvas DAF



## A.- CEDEX TRACK BOX – TIPO DE ENSAYOS

### 1.- Tipo de secciones a ensayar

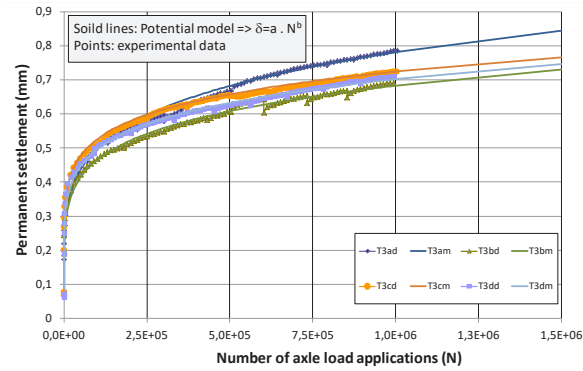


Vía en placa

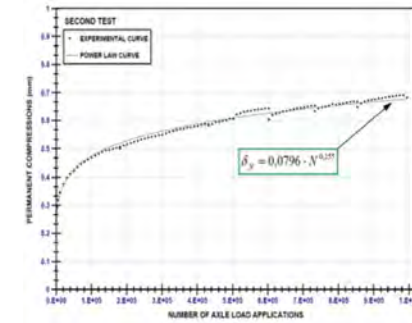
Vía en balasto

### 2.- Tipo de ensayos

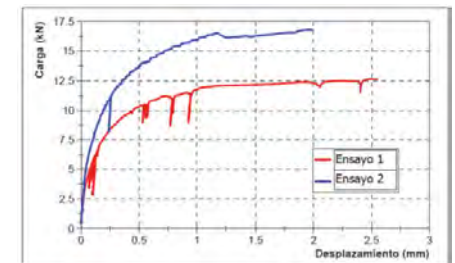
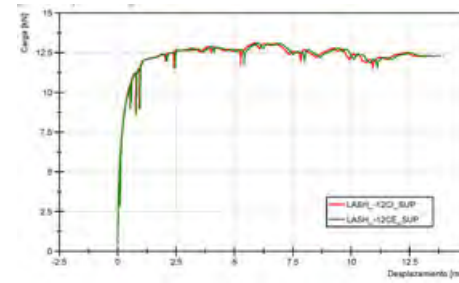
#### c) Ensayos de fatiga



#### Interpretación: Modelo potencial



#### d) Ensayos de resistencia lateral de vía





**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## **COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**

**B: PEDLER – TESTS**





**Jose Estaire**

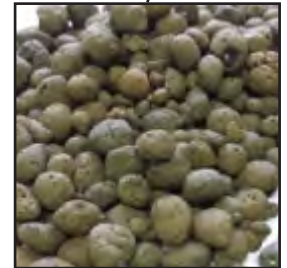
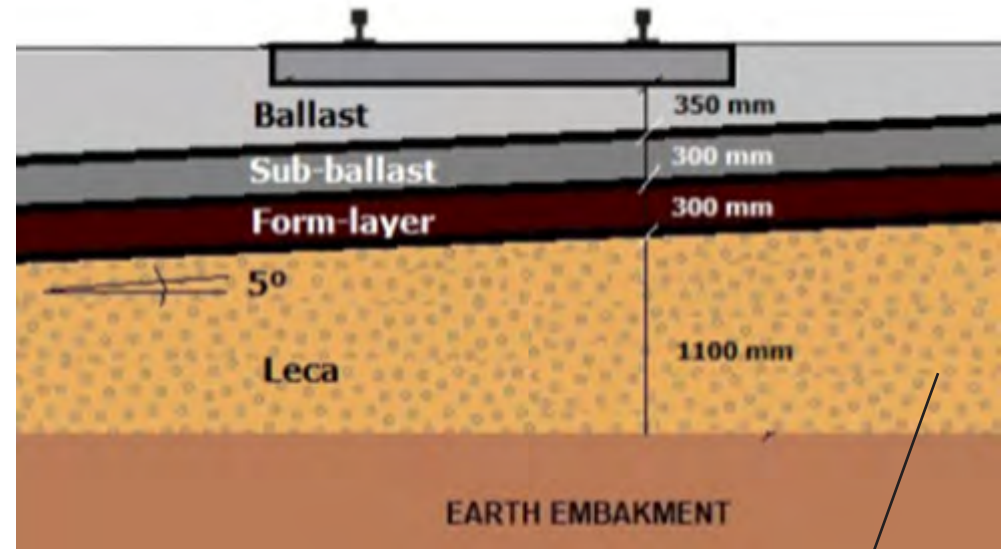
**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## B-1: PEDLER - SCOPE

PEDLER: PErformance and Durability of Leca [lightweight expanded clay] filling in Railway embankments

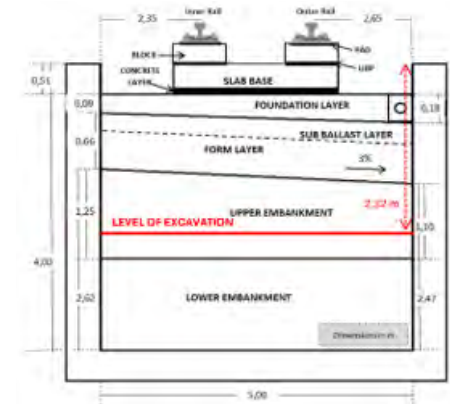
El principal objetivo del del Proyecto PEDLER es conocer el comportamiento de la arcilla expandida (Arlita-LECA) como material constitutivo de una infraestructura ferroviaria de alta velocidad



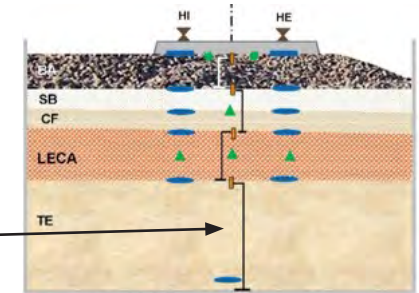
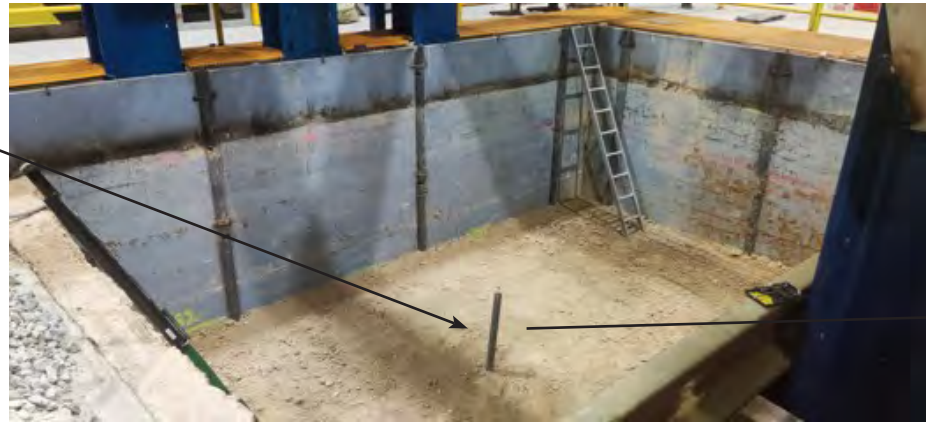


## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

Excavación de la sección previa de ensayo



Instrumentación:  
LVDT para medir  
movimientos del  
terraplén





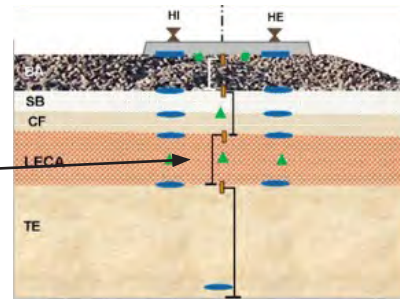
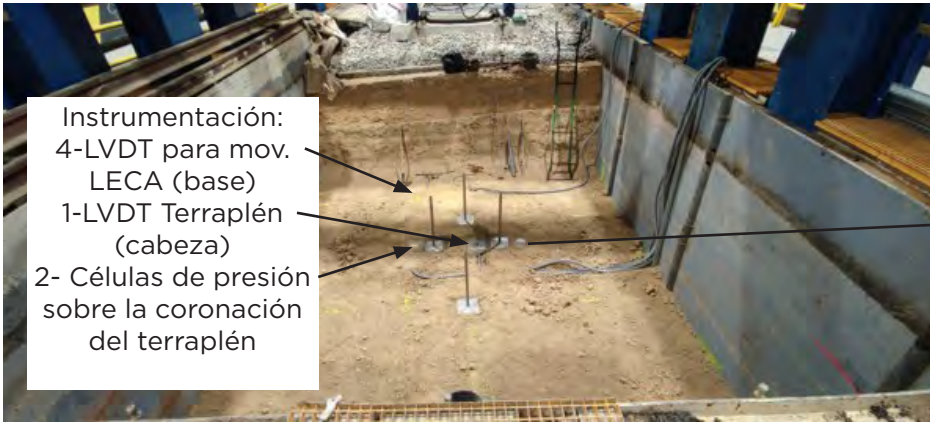
**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA  
EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

### PEDLER - Instrumentación de la capa LECA instrumentation



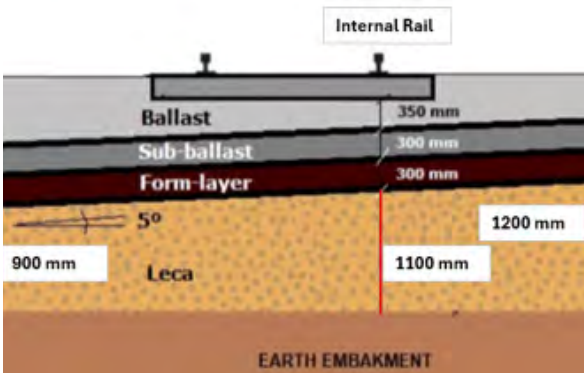
Capa superior del terraplén  
Colocación de geotextil





## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

### PEDLER - Construcción de la capa LECA



30 cm	4th layer
30 cm	3rd layer
30 cm	2nd layer
30 cm	1st layer



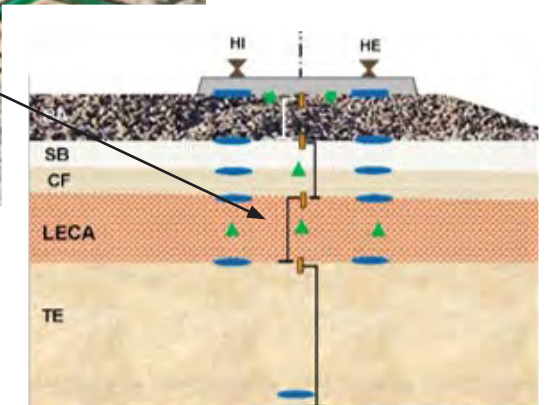


## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

### PEDLER - Construcción de la capa LECA



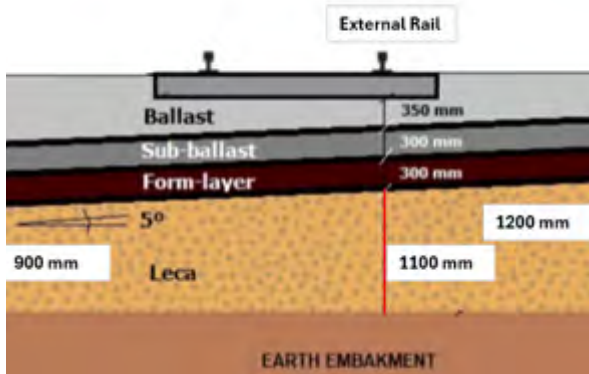
Instrumentación:  
4-LVDT para  
movimientos de capa  
LECA





## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

### PEDLER - Ensayos en capa LECA



30 cm	4th layer
30 cm	3rd layer
30 cm	2nd layer
30 cm	1st layer

Ensayos realizados en:  
 Mitad de capa LECA  
 Coronación de capa LECA

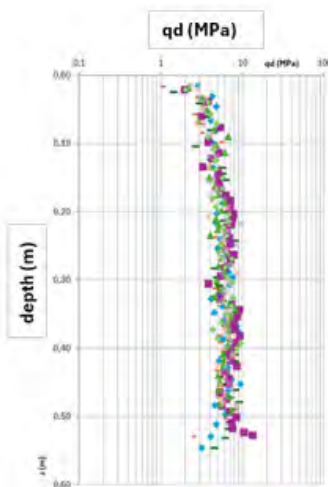


### Ensayos Panda

NF P94-105

$$q = E \frac{M}{As'(M+P)}$$

q = 6-7 MPa

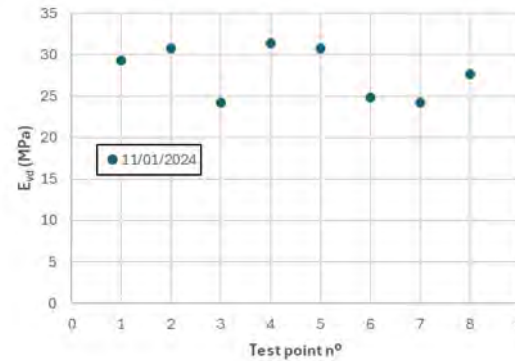


### Ensayos de placa dinámica:

UNE 103807-2

2r=300 mm

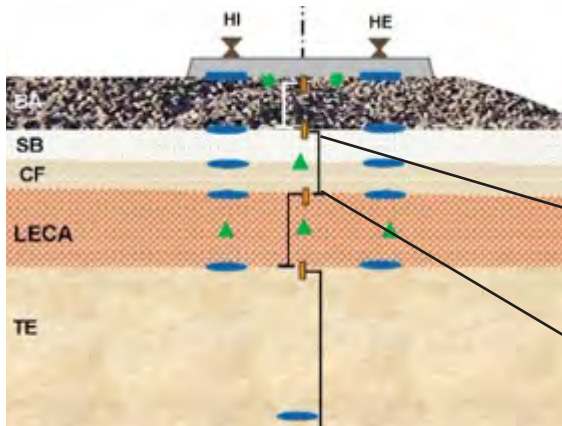
$$E_{vd} = \frac{1,5 \cdot r \cdot \sigma}{s}$$



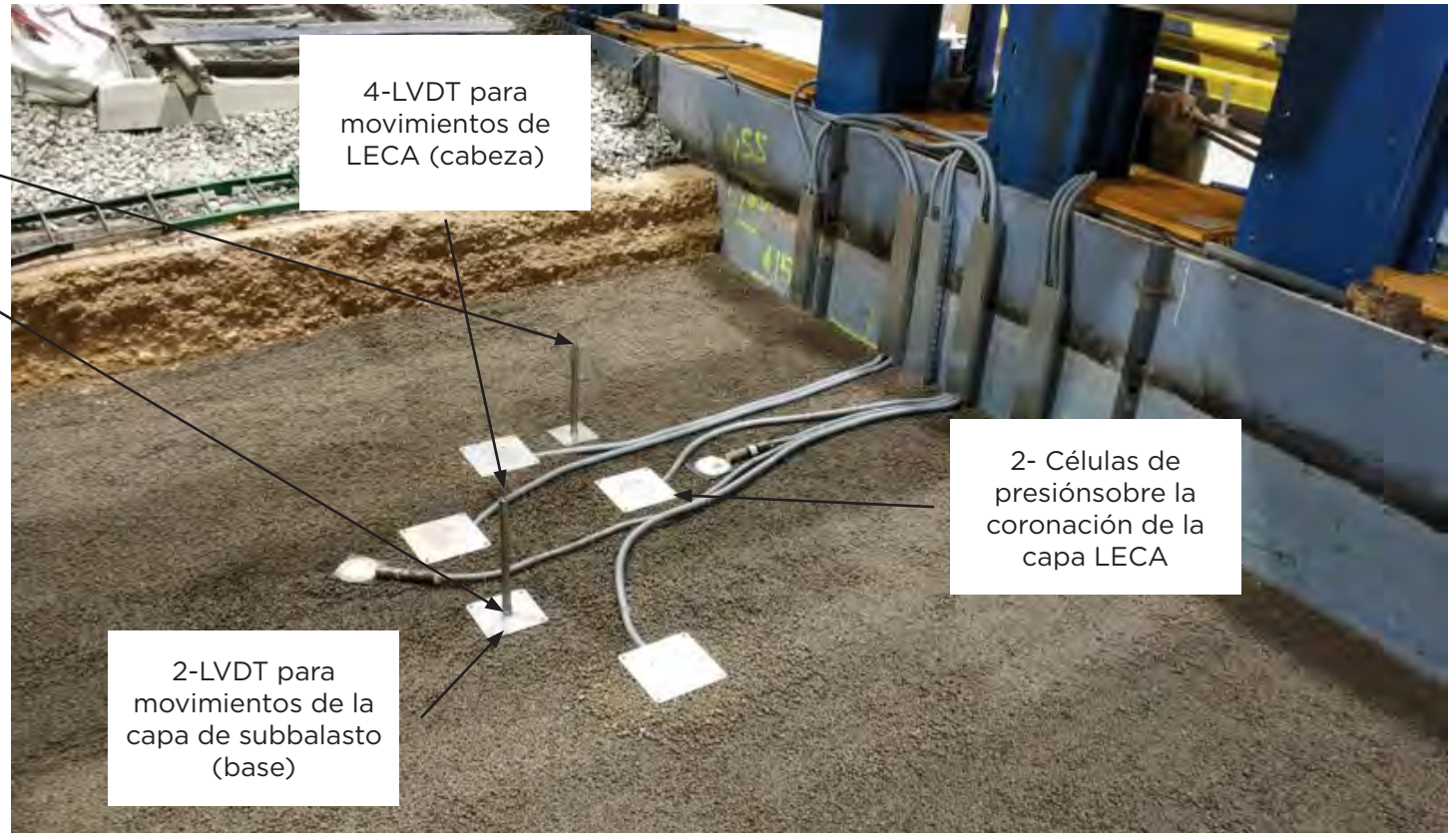


## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

### PEDLER -Instrumentación de la capa superior de LECA



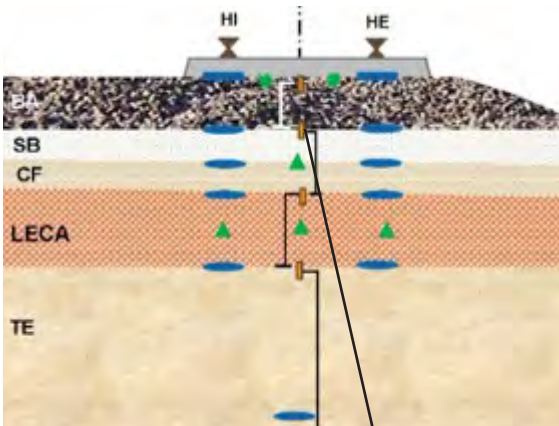
Capa de Leca





## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

### PEDLER - Construcción e Instrumentación de la Capa de Forma y de Subbalasto



2-LVDT para movimientos en capa de forma y subbalasto



Instrumentación 2-LVDT para movimientos en capa de forma y subbalasto (cabeza)

4-LVDT para movimientos en capa de Balasto (base)

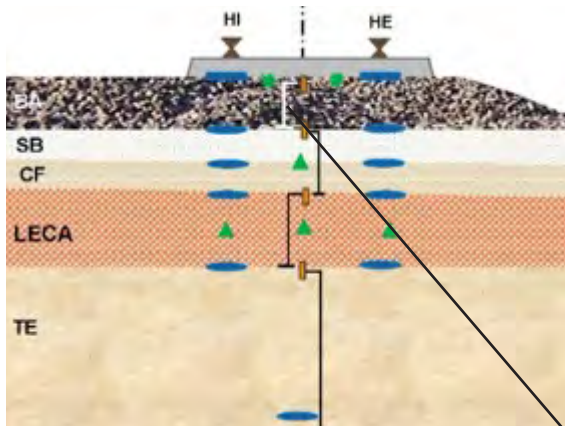
### Capa de subbalasto y capa de forma





## B-2: PEDLER - CONSTRUCCIÓN DEL MODELO Y COLOCACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

PEDLER - Construcción e Instrumentación de la capa de balasto



Capa de balasto



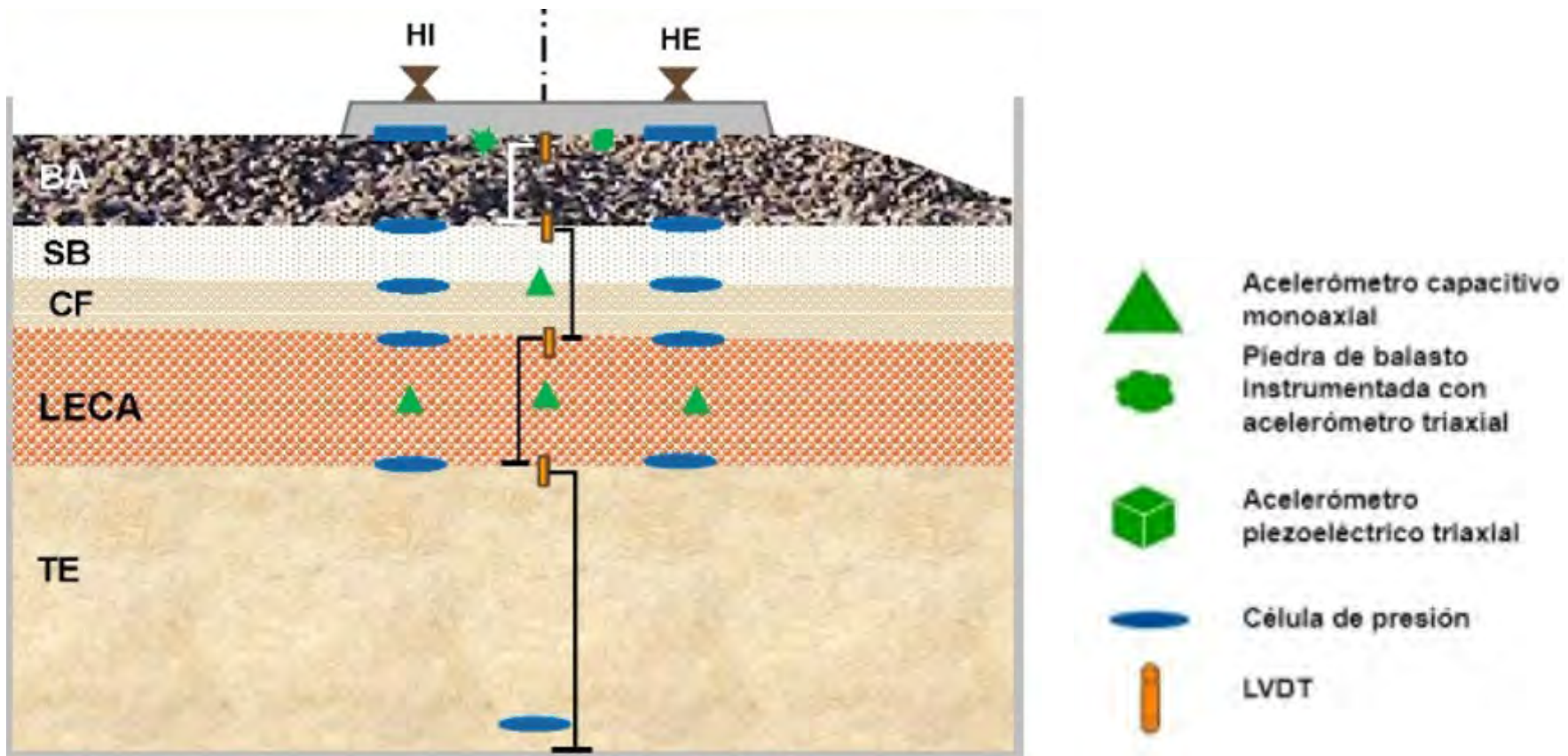
Instrumentación  
4-LVDT para  
movimientos en capa  
de Balasto (cabeza)





### B-3: PEDLER - INSTRUMENTACIÓN

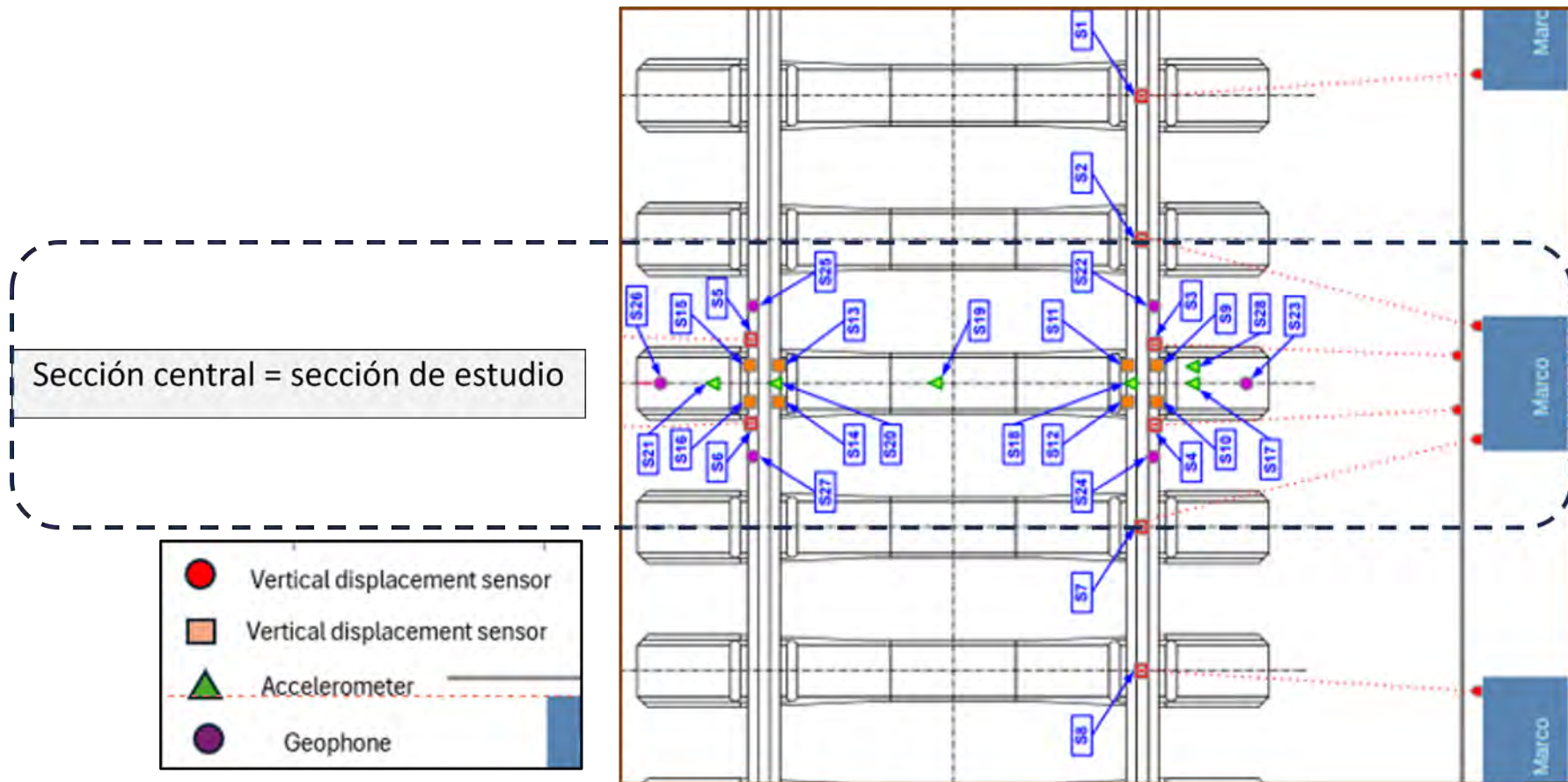
PEDLER - Instrumentación en el interior de la sección ferroviaria





### B-3: PEDLER - INSTRUMENTACIÓN

PEDLER - Instrumentación en la superficie de la sección ferroviaria





### B-3: PEDLER - INSTRUMENTACIÓN





**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## **COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**

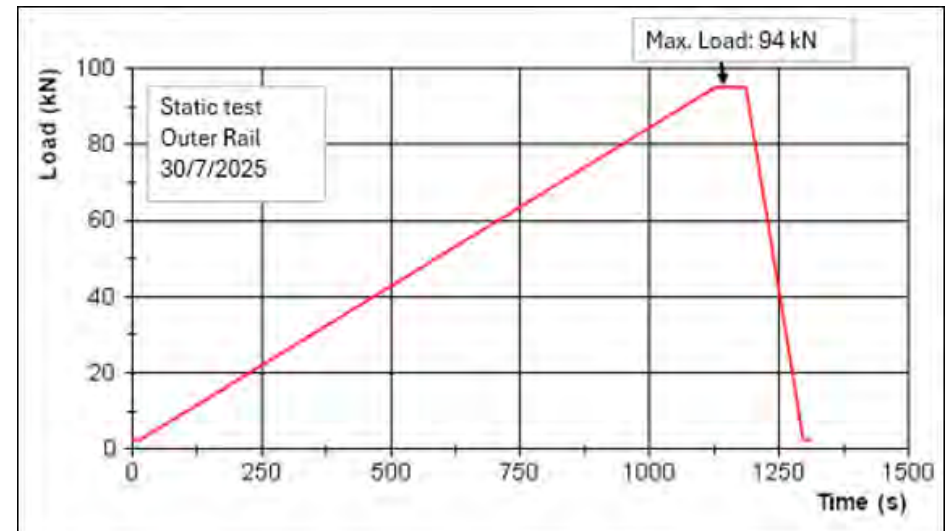
### B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS





## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

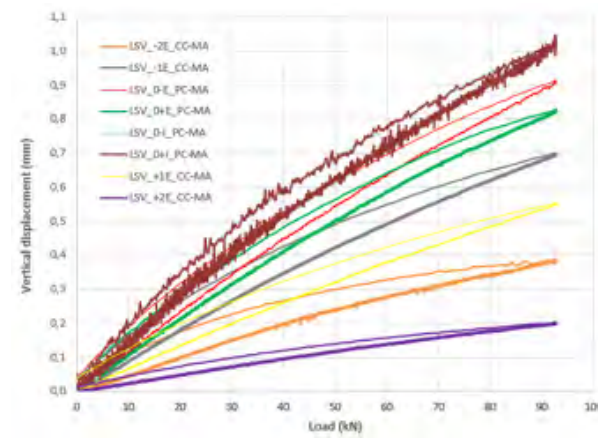
1) Ensayos estáticos - Realizados después de bateo y estabilización de la capa de balasto



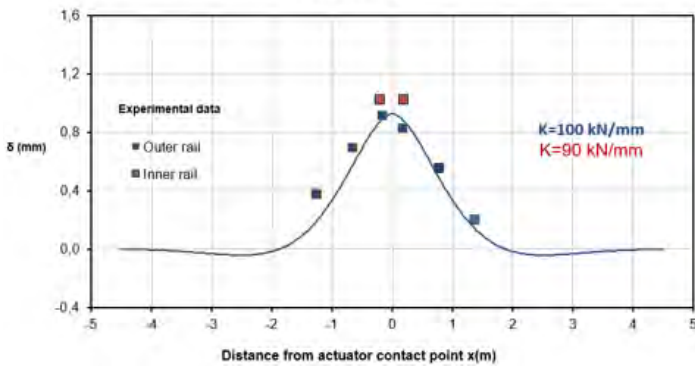


## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

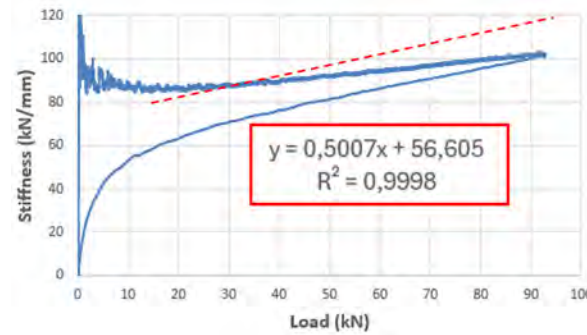
1) Ensayos estáticos - Realizados después de bateo y estabilización de la capa de balasto



WINKLER CURVES vs EXPERIMENTAL DATA  
Static test 04/07/2025



Rigidez (kN/mm)

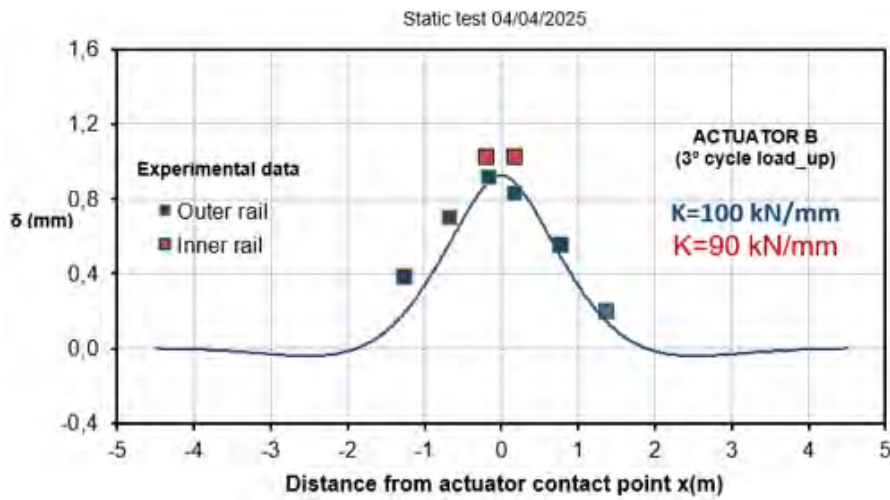




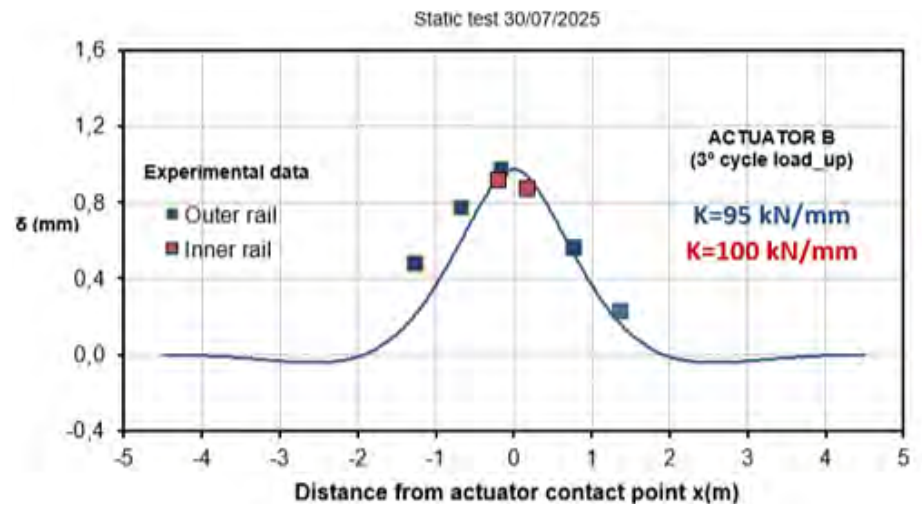
## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

1) Ensayos estáticos - Realizados antes y después de los ensayos dinámicos

Antes de los ensayos



Después de los ensayos



Pequeña variación => BUEN COMPORTAMIENTO DE LA VÍA





## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

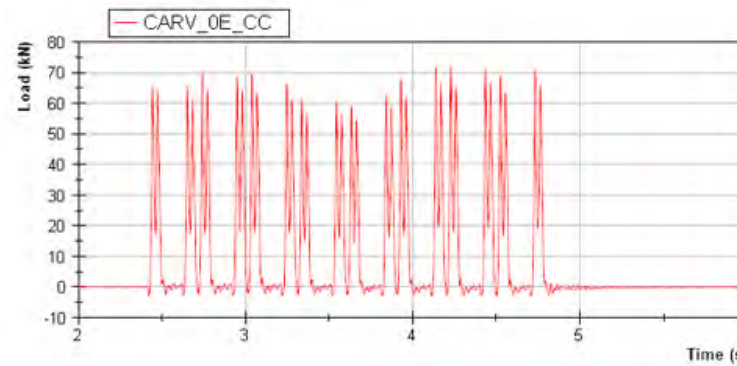


Siemens S-103: 32 ejes en 16 bogies



Carga del tren

- 14 Velocidades modelizadas (km/h)
- 15 – 25 – 50 – 100 - 150
  - 200 – 250 – 275 - 300
  - 315 – 340 – 350 – 375 - 400

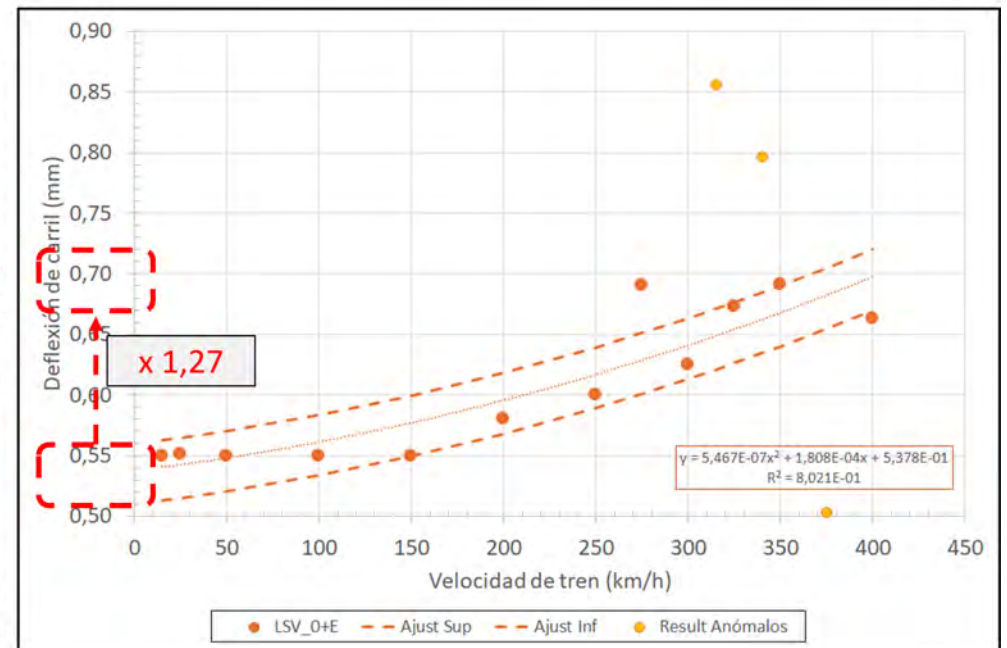
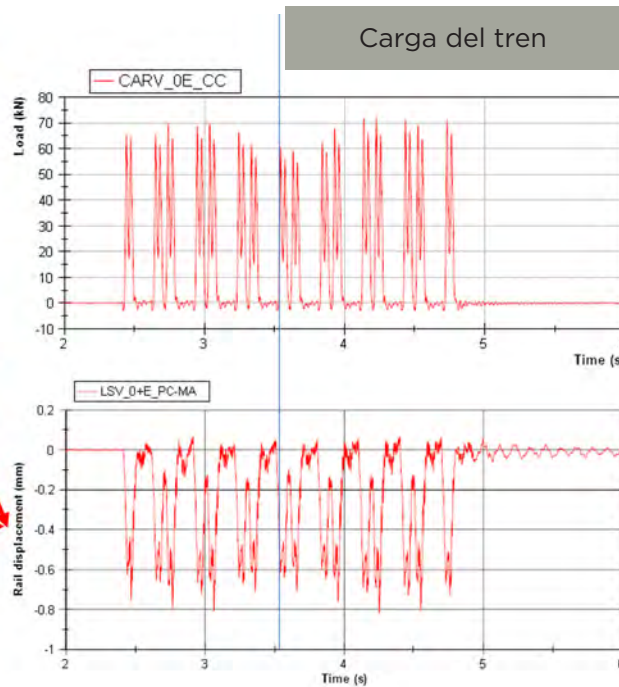
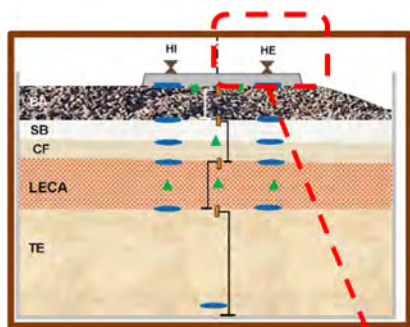




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

i- Deflexiones de carril = Movimientos de la sección



Deflexión de carril (mm) (v=300 km/h)

Aumento de deflexión de carril = 1,27

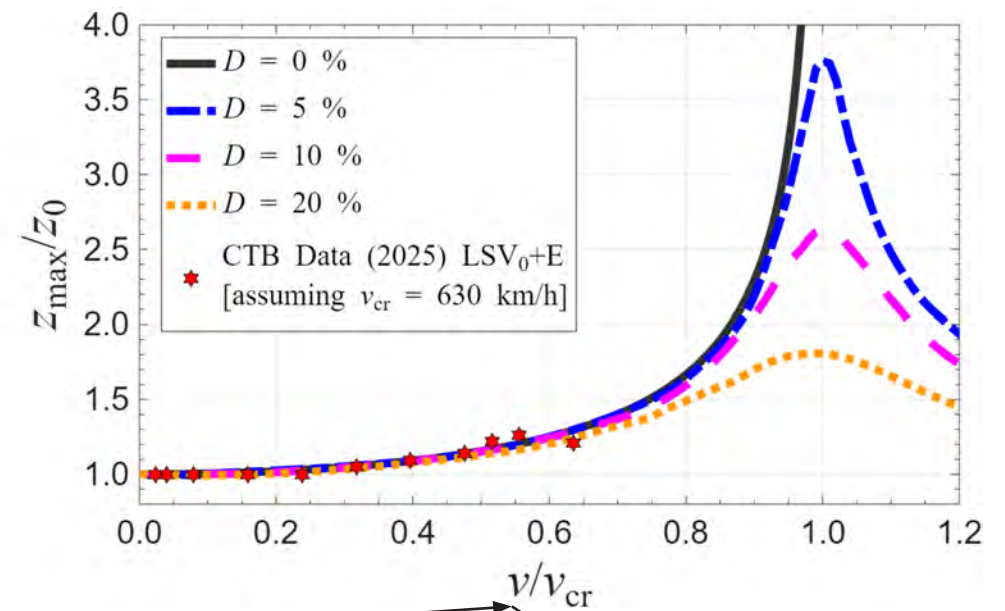
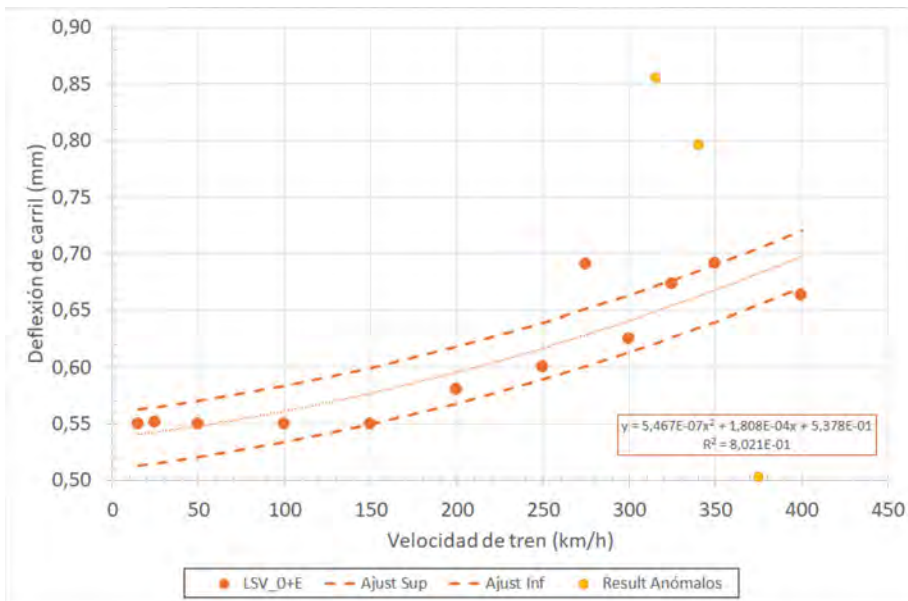




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

i- Movimientos de la sección => Vel. Crítica



Determinación de la velocidad crítica mediante las curvas DAF (Dynamic Amplification Factor)

Velocidad crítica  $\approx 630$  km/h

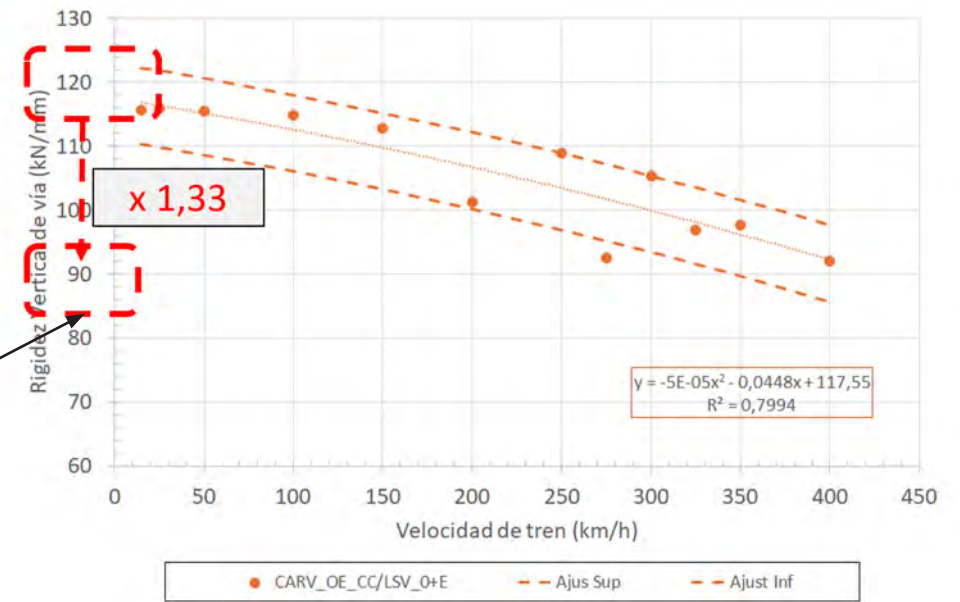
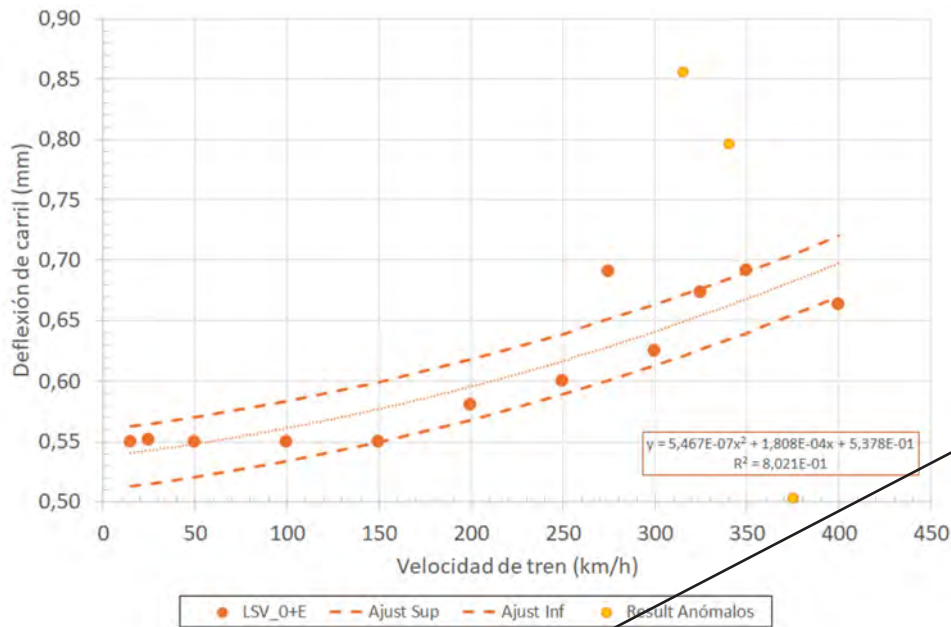




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

i- Movimientos de la sección => Rigidez dinámica de vía



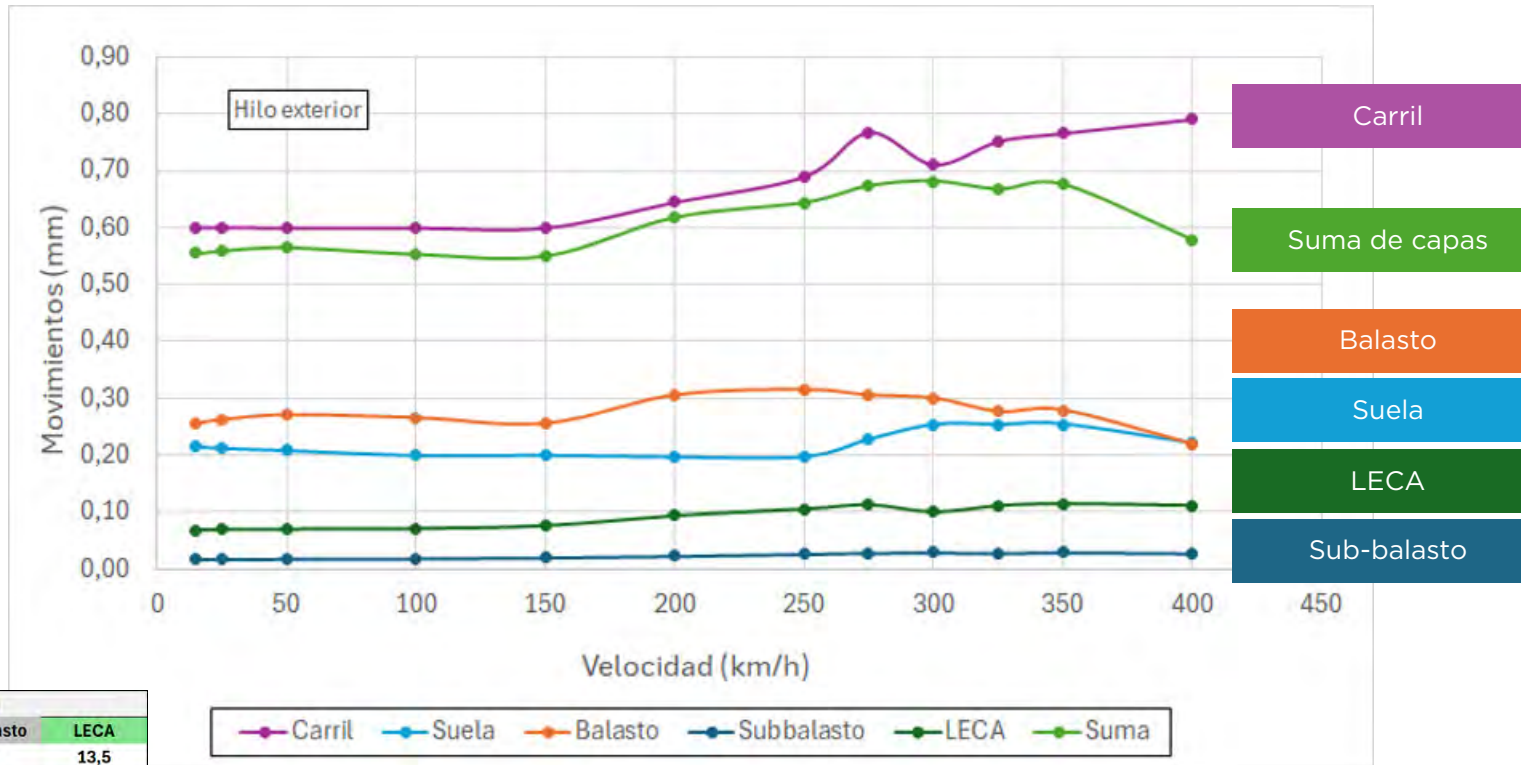
Rigidez dinámica de vía (kN/mm)  
 $K = Q / \text{asiento}$



## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

i- Movimientos de la sección => Contribución de las capas

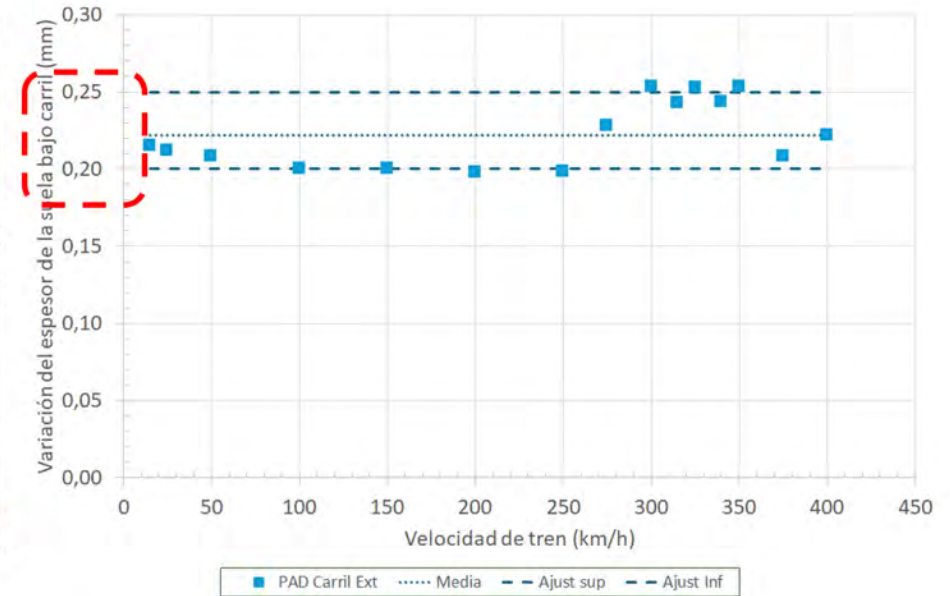
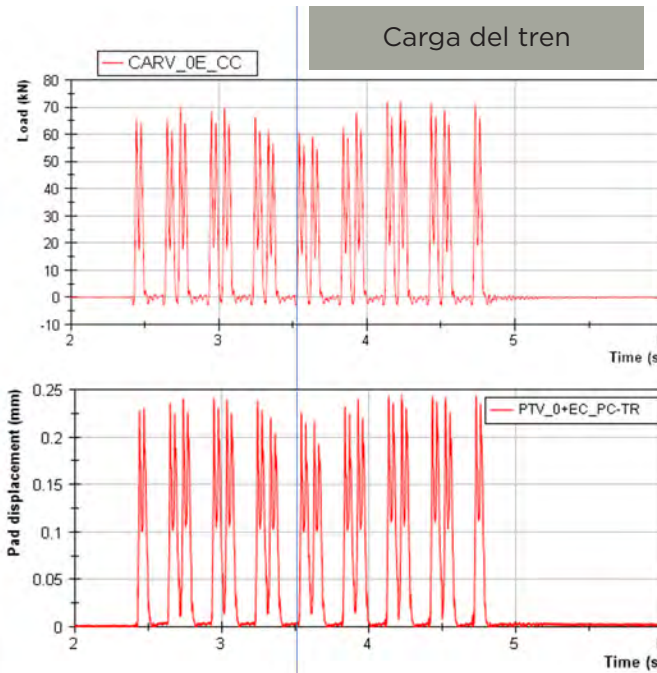
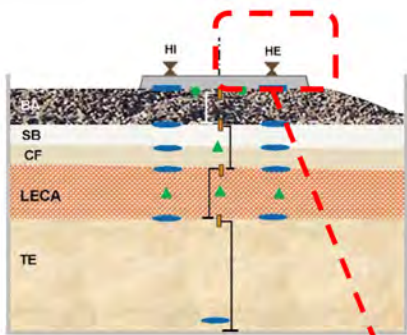




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

#### ii- Movimientos de la suela bajo carril (PAD)



Movimiento del PAD (mm) (v=300 km/h)

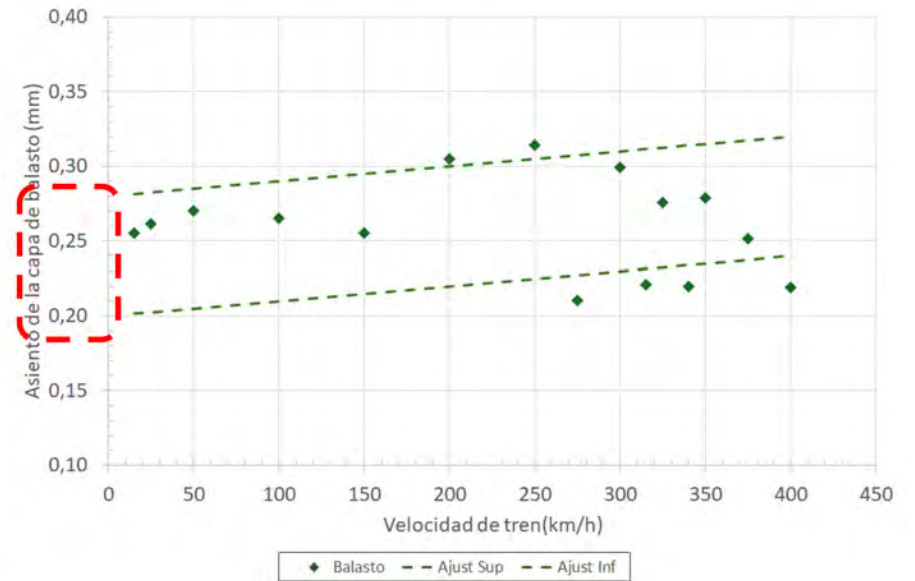
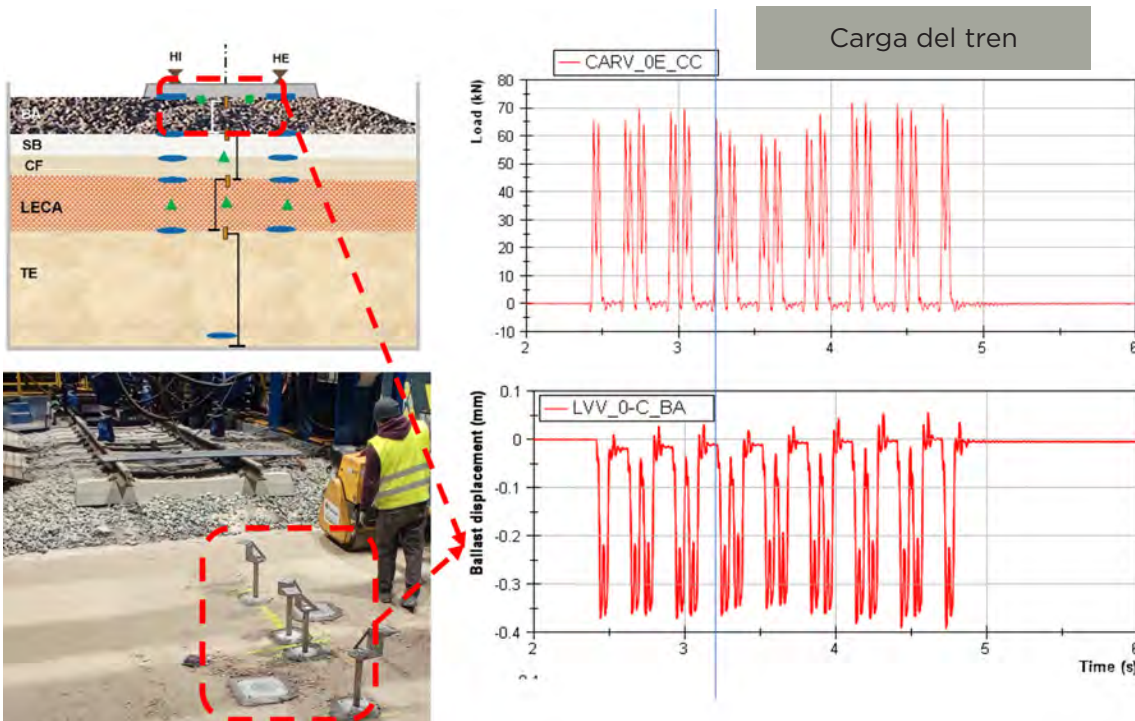




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

#### iii- Movimientos de la capa de balasto



Movimiento de la capa de balasto (v=300 km/h)

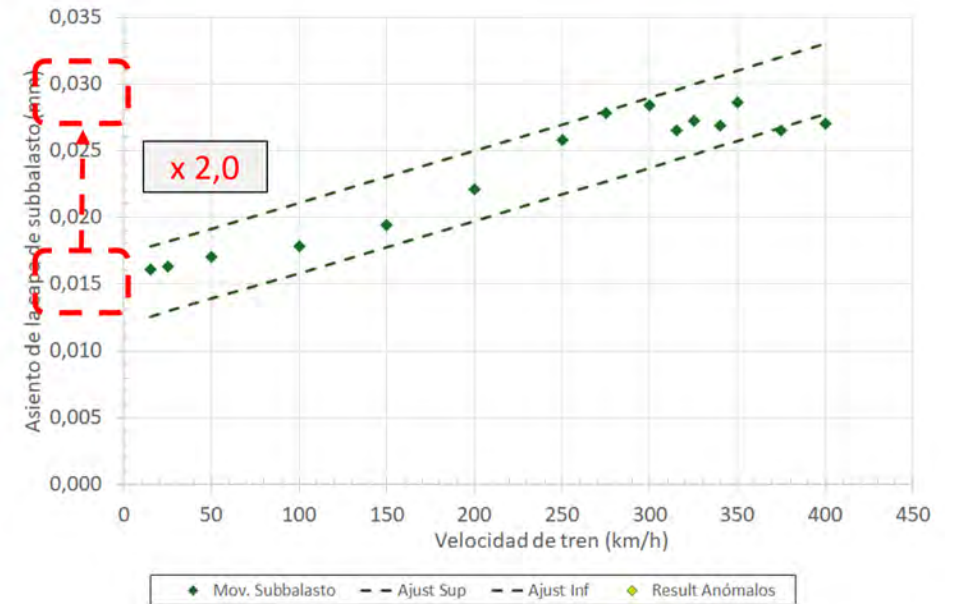
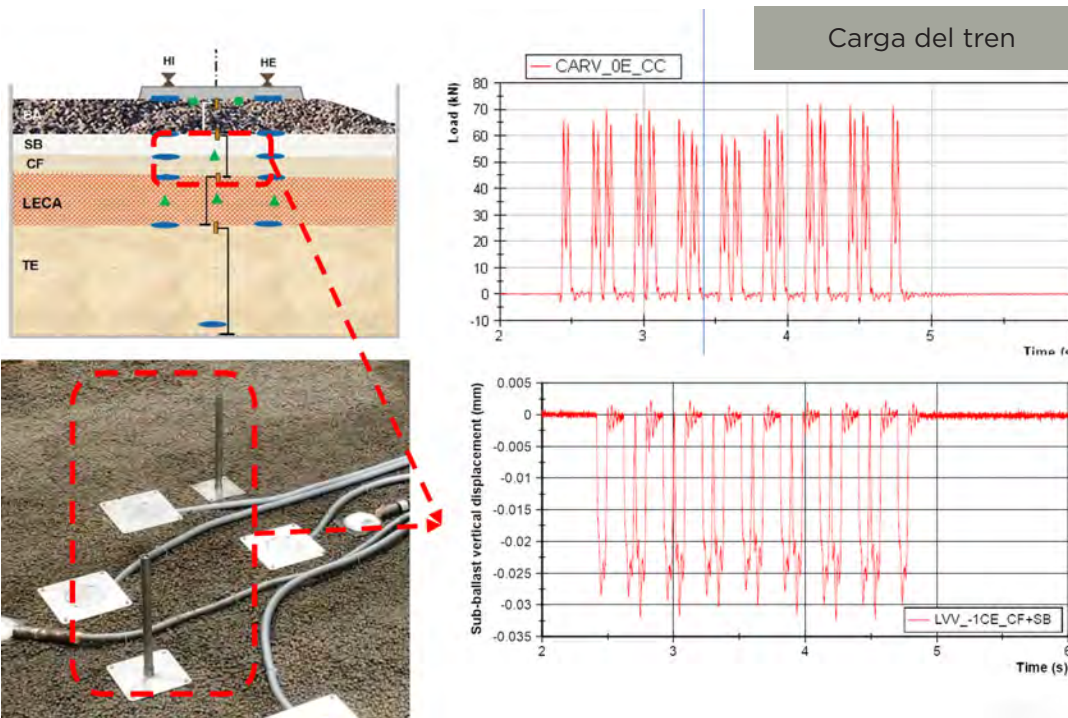




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

#### iv- Movimientos de la capa de subbalasto y capa de forma



Movimiento de la capa de subbalasto (mm) (v=300 km/h)

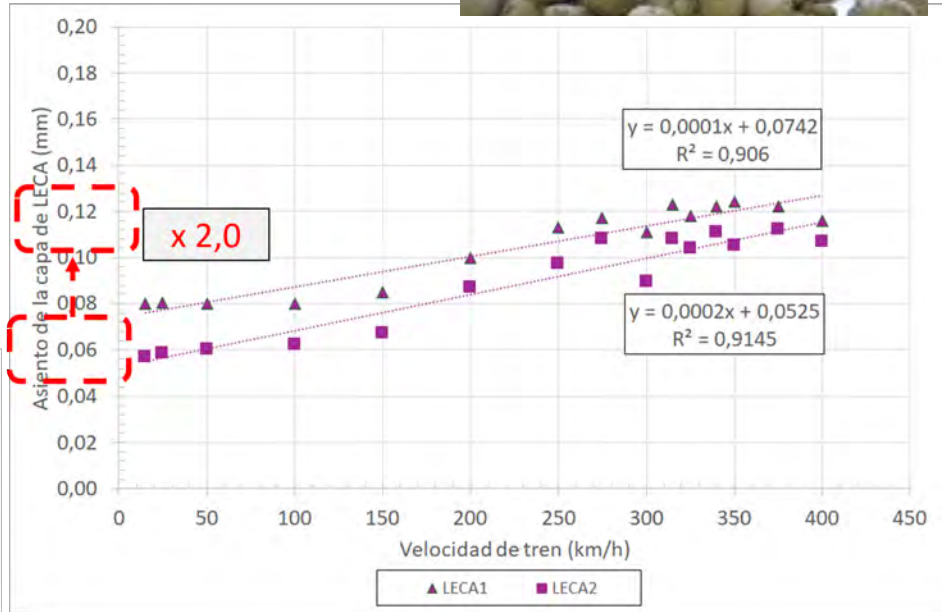
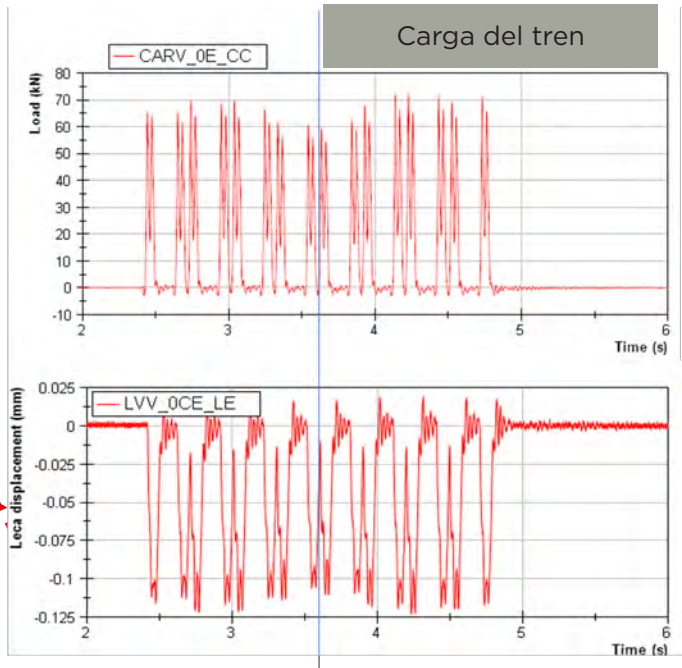
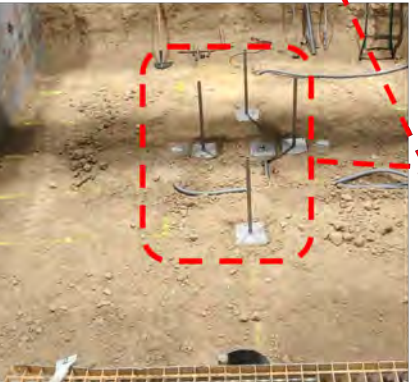
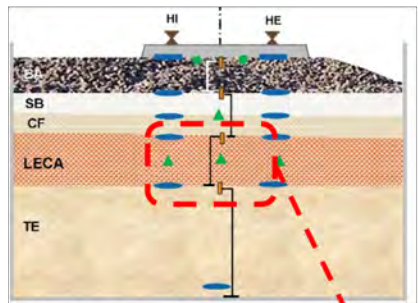




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

v- Movimientos de la capa de LECA



Movimiento de la capa de LECA (mm) (v=300 km/h)



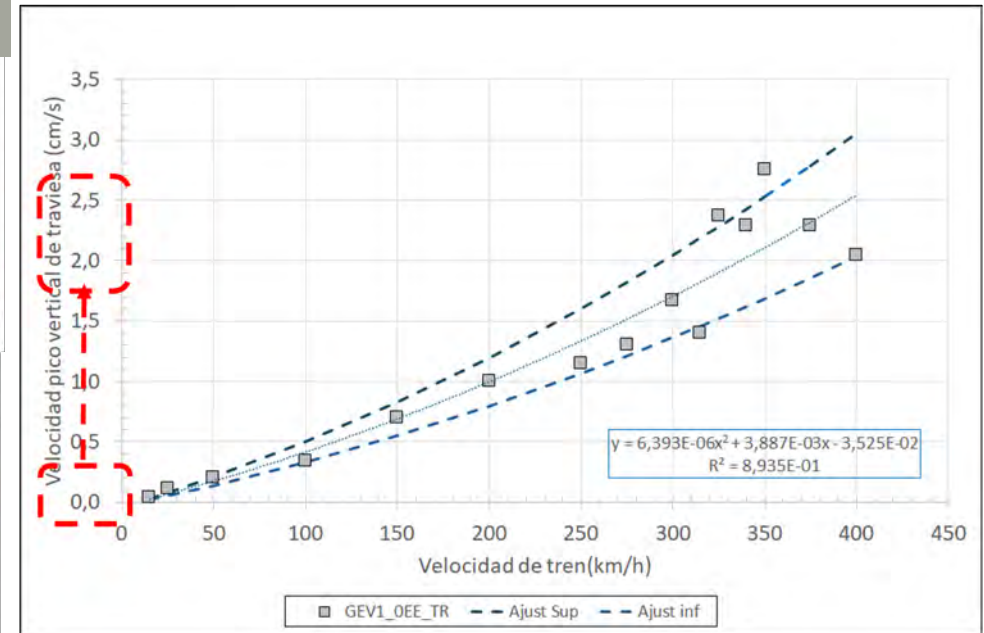
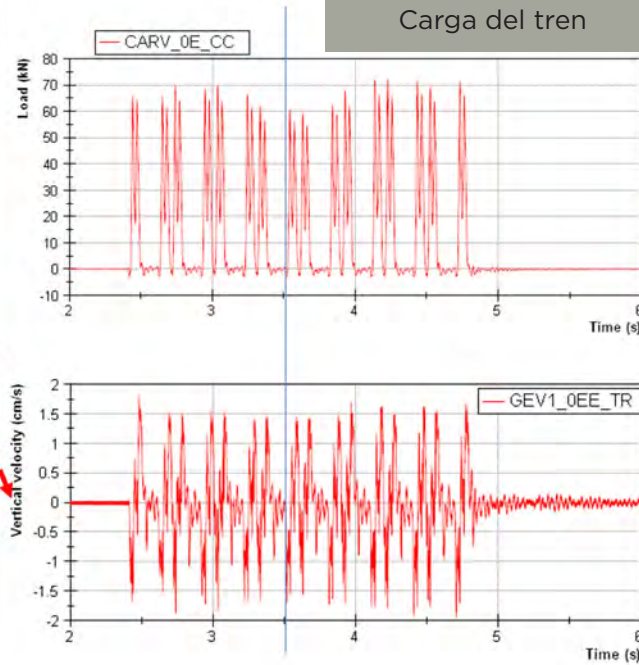
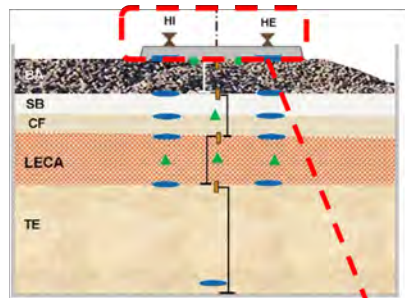


## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía



vi- Velocidad de traviesa (sleeper)



Movimiento de la capa de LECA (mm) (v=300 km/h)

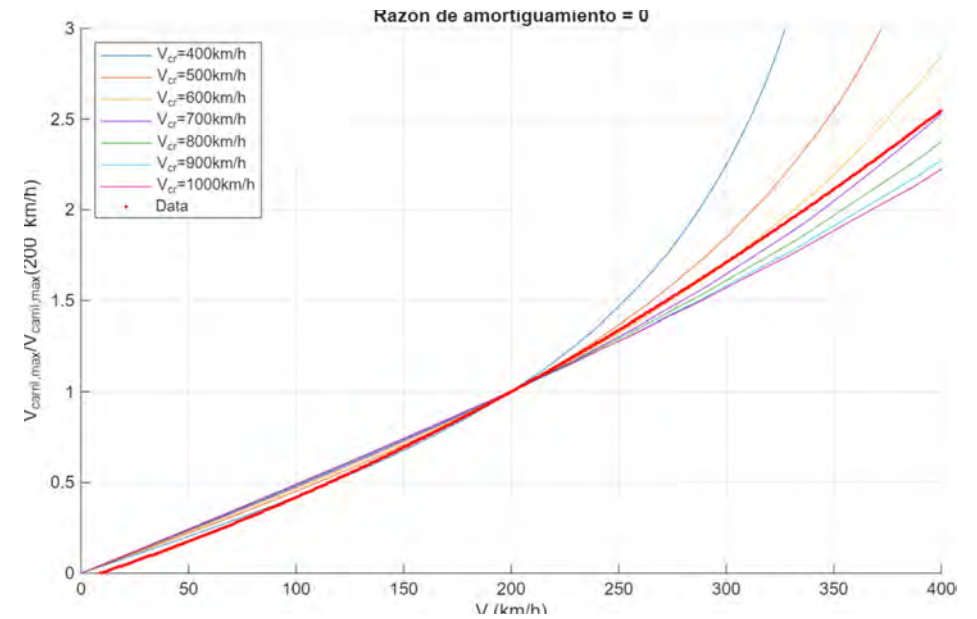
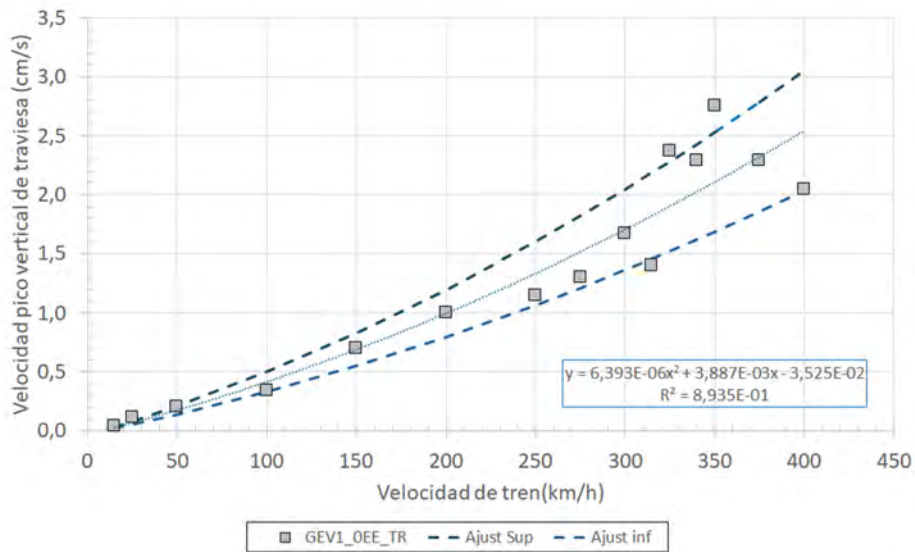




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

vi- Velocidades de traviesa (sleeper) => Vel. Crítica



Determinación de la velocidad crítica mediante las curvas DAF de velocidad (Dynamic Amplification Factor)

Velocidad crítica  $\approx 650 \text{ km/h}$



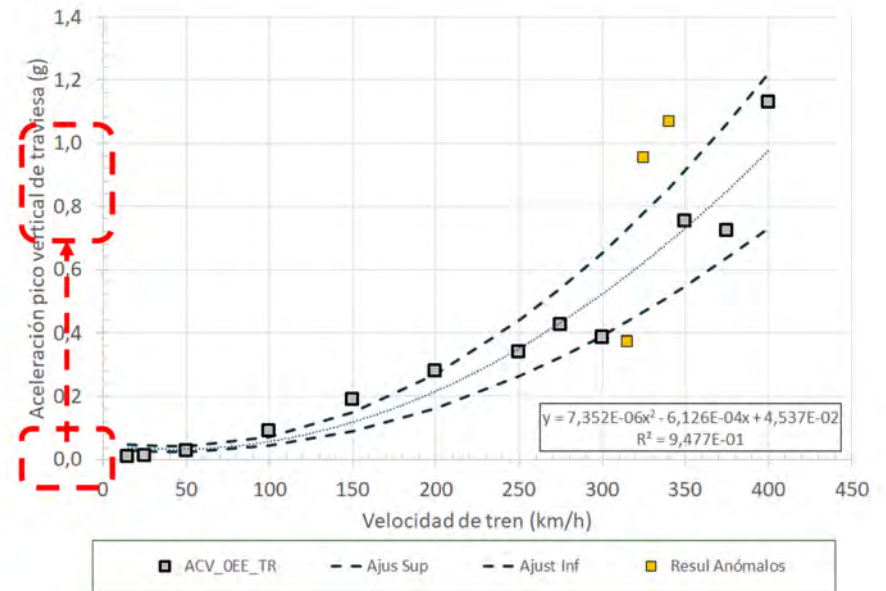
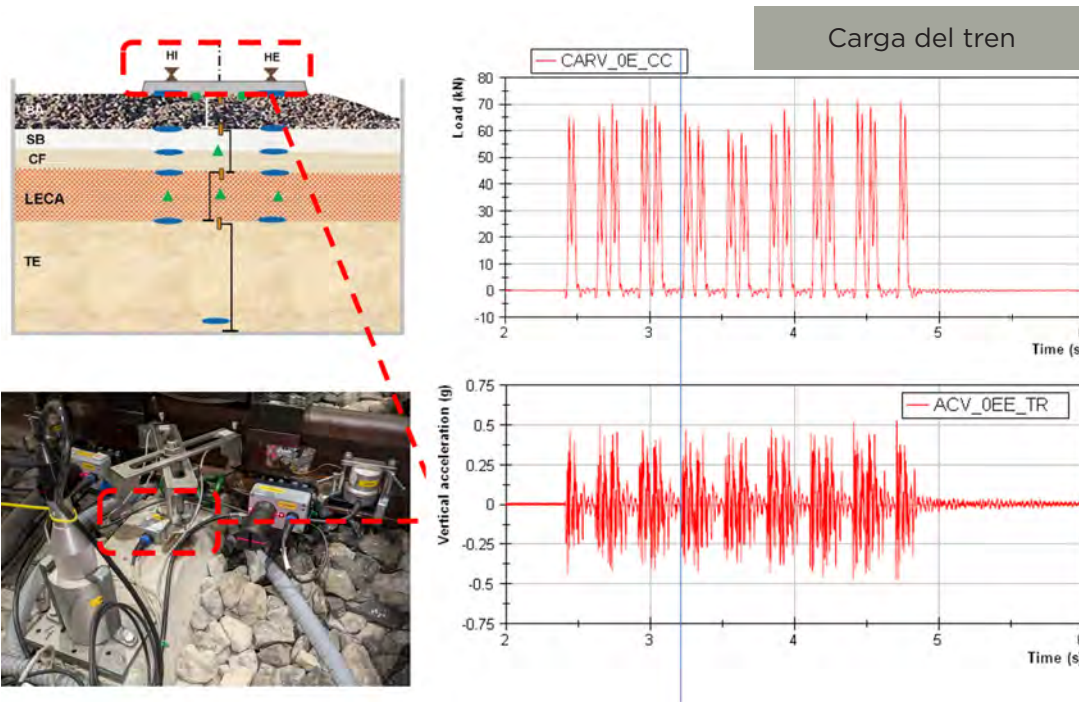


## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía



#### vii- Aceleración de traviesa (sleeper)



Aceleración de traviesa (g) (v=300 km/h)

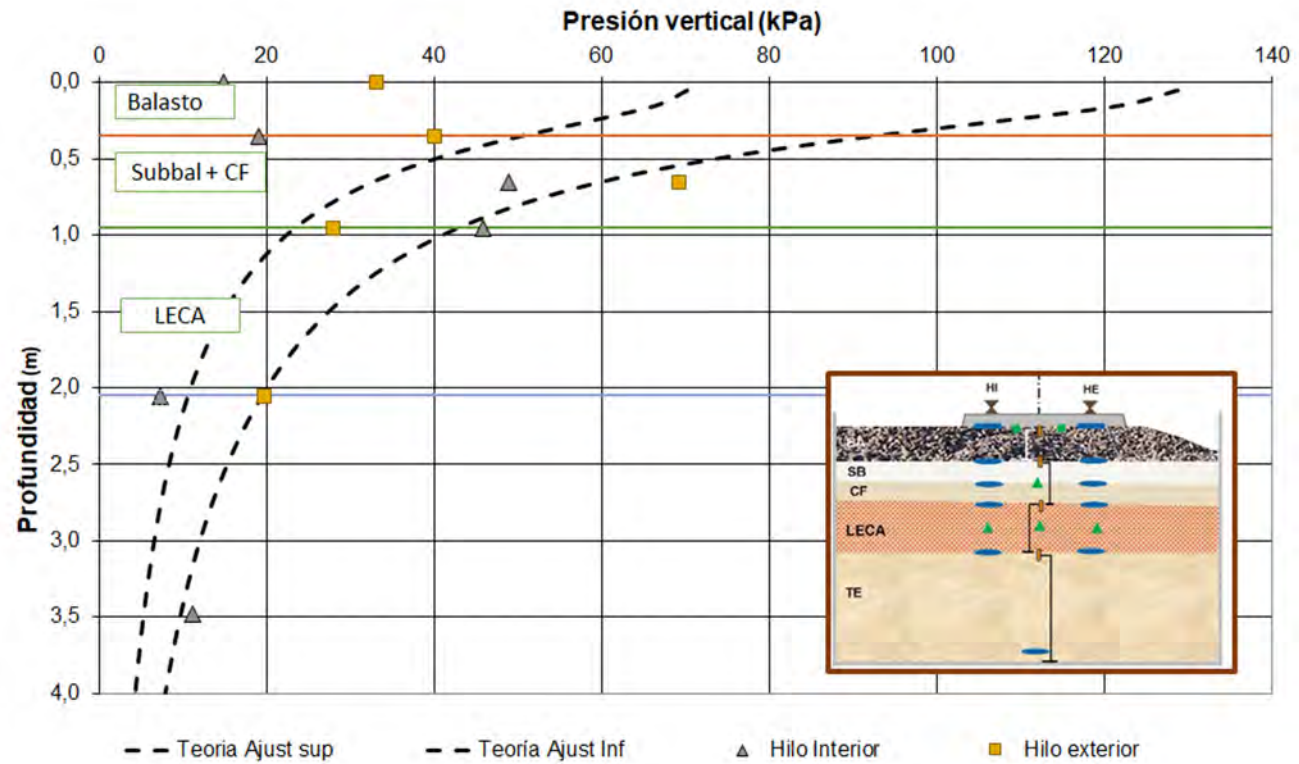
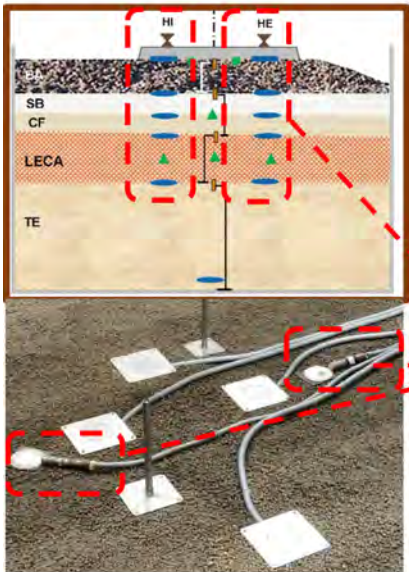




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

#### viii- Presión vertical en las capas (ensayos estáticos)

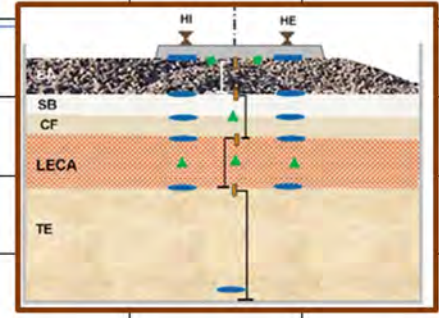
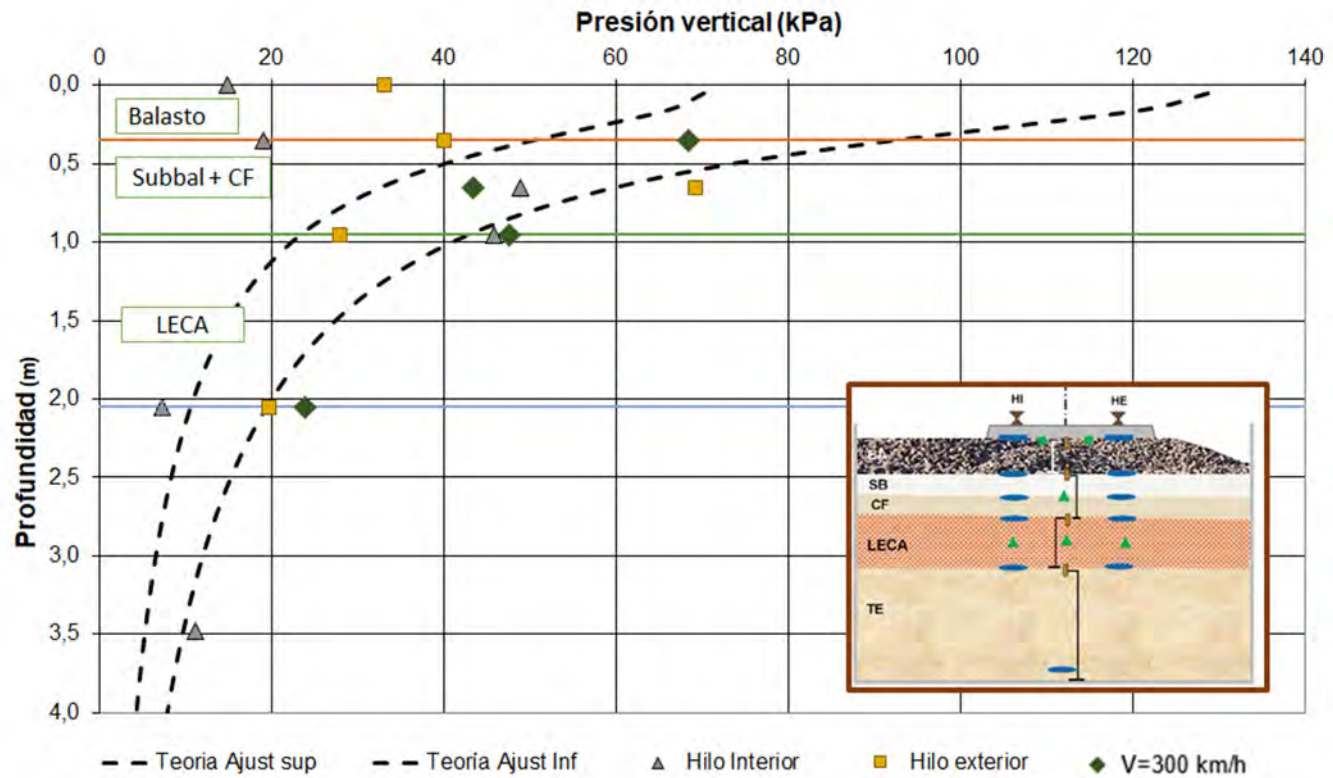
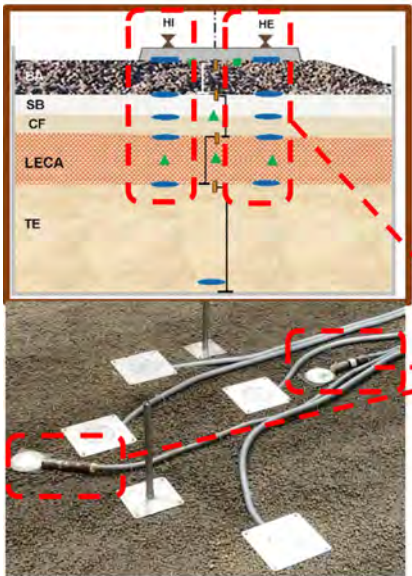




## B-4: PEDLER - RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

### 2) Ensayos de caracterización **dinámica** de la vía

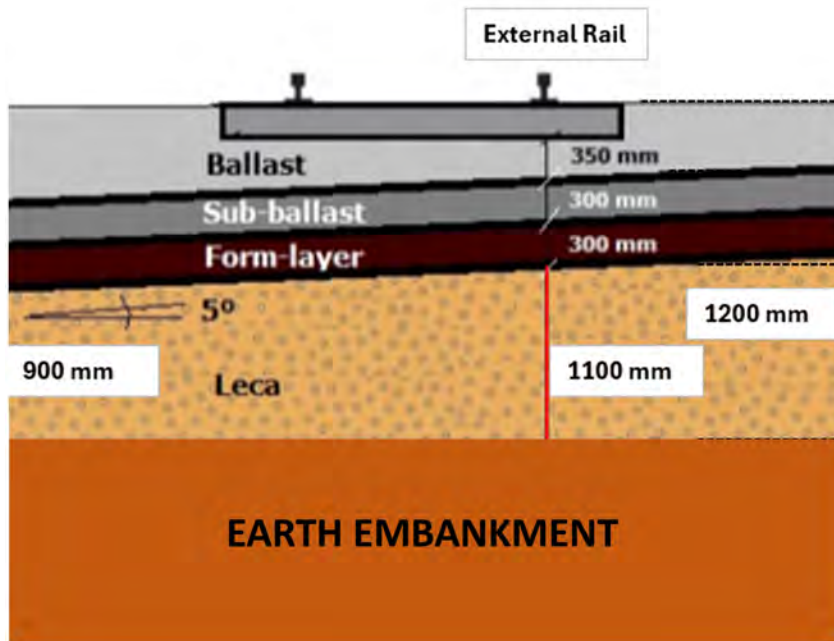
viii- Presión vertical en las capas (ensayos dinámicos)



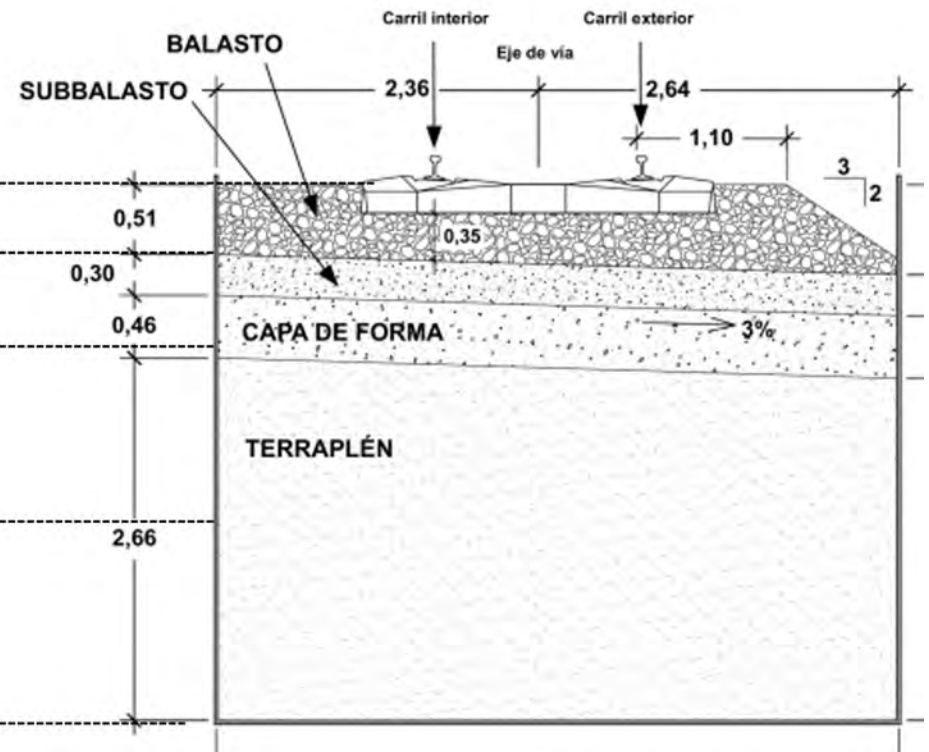


## B-5: PEDLER - COMPARACIÓN DE RESULTADOS

SECCIÓN PEDLER



SECCIÓN LAV ESPAÑOLA

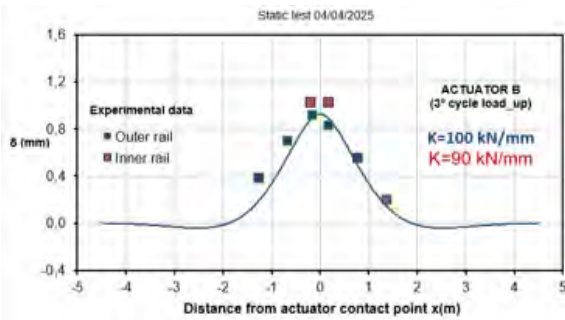




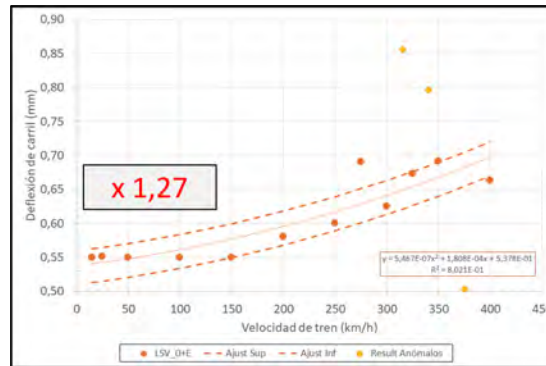
## B-5: PEDLER - COMPARACIÓN DE RESULTADOS

### SECCIÓN PEDLER

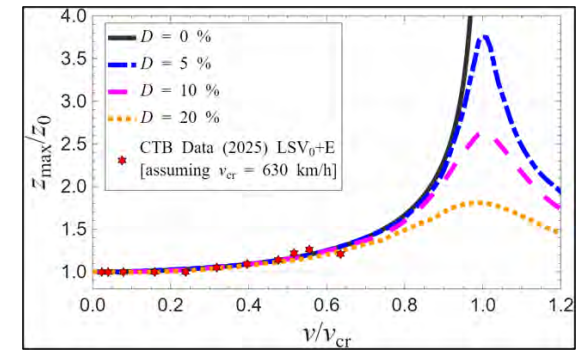
Rigidez estática K (kN/mm)



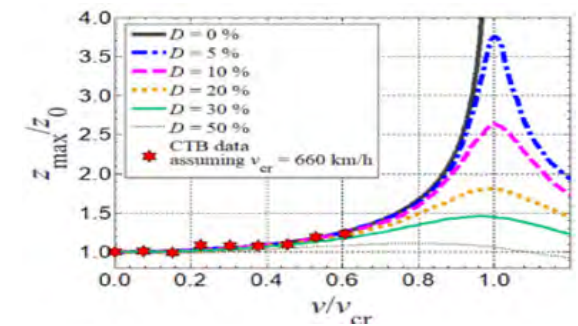
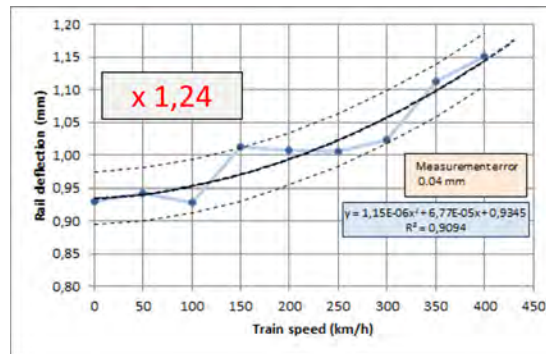
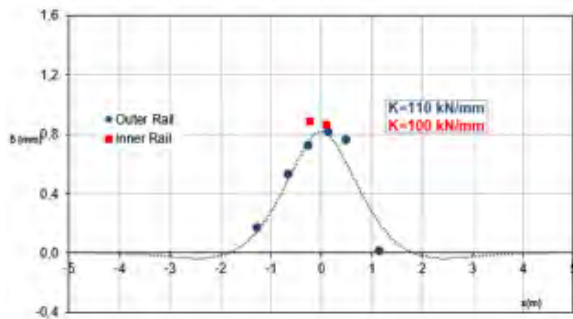
Deflexiones de carril (mm)



Velocidad crítica (km/h)



### SECCIÓN LAV ESPAÑOLA

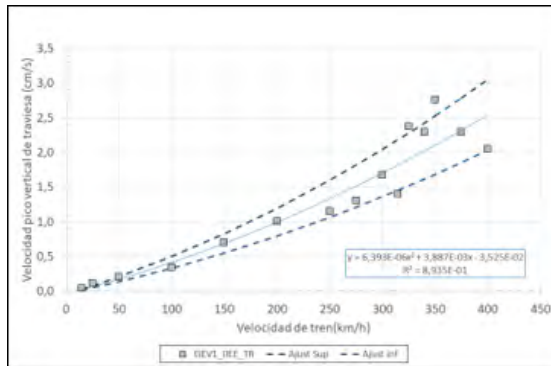




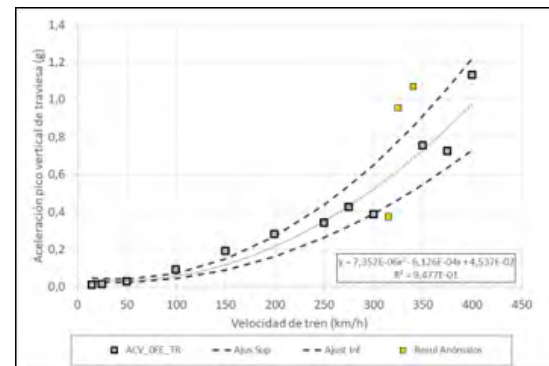
## B-5: PEDLER - COMPARACIÓN DE RESULTADOS

### SECCIÓN PEDLER

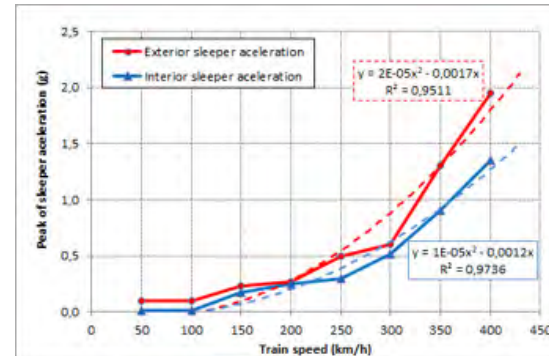
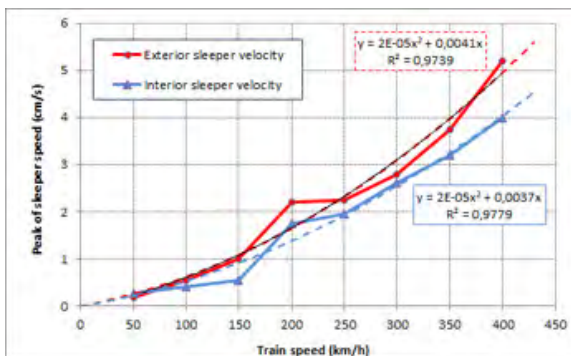
Velocidad de traviesa (cm/s)



Aceleración de traviesa (g)



### SECCIÓN LAV ESPAÑOLA





**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA  
EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## RESUMEN Y CONCLUSIONES

### OBJETIVOS

Presentar los resultados de los ensayos realizados en el CAJÓN FERROVIARIO DEL CEDEX del proyecto PEDLER (Performance and Durability of a LEca filling in Railway embankments) dentro del Consorcio Europeo GEOLAB (financiado por la Unión Europea)

El principal objetivo del del Proyecto PEDLER es conocer el comportamiento de la arcilla expandida (Arlita-LECA) como material constitutivo de una infraestructura ferroviaria de alta velocidad

### Los resultados obtenidos muestran un comportamiento global de la sección **MUY BUENO**

- Valor de rigidez estático de 100 kN/mm
- Movimientos de carril inferiores a 0,75 mm
- Contribución de la capa de LECA al movimiento global de alrededor algo menos de 15%
- Velocidades y aceleraciones de movimiento de traviesa de 1,5-2,0 m/s y de 0,5 g (V=300 km/h)
- Distribución de tensiones verticales que siguen la teoría de Elasticidad
- Velocidad crítica de la sección de unos 630-650 km/h

### Los resultados obtenidos muestran un comportamiento **MUY SEMEJANTE** al de una sección “normal” de Alta Velocidad en España (sección ADIF)

**Trabajo realizado en el Consorcio Europeo GEOLAB** (financiado por la Unión Europea)





**Jose Estaire**

**COMPORTAMIENTO DE LOS ÁRIDOS LIGEROS DE ARCILLA  
EXPANDIDA EN VÍAS FÉRREAS DE ALTA VELOCIDAD**



## **AGRADECIMIENTOS**

### **Trabajos y ensayos en el Cajón Ferroviario**

Juan Luis Cámara, Miguel Martínez, Marcos Asperilla y Eugenio Martín

### **Instrumentación**

Sagrario Merino

### **Interpretación de los resultados**

María Santana e Inés Crespo

### **Otros trabajos en el Cajón**

Natalia Montero y Fernando Pesquera

### **Personal de LECA... por su paciencia durante los arreglos del Cajón**

Raul Murciego y Rui Ramos





## Ying-Ching Lin

### USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS



Assiste a  
apresentação

**Ying-Ching Lin** é engenheira de geotecnia com cinco anos de experiência focada em projectos de infraestruturas, com especialização em caminhos-de-ferro, parques eólicos offshore e barragens de rejeitados industriais. Trabalha atualmente na Ramboll Finland Oy como projetista de geotecnia e anteriormente exerceu funções na Geoinventions Consulting Services, na Austrália. Conduziu estudos e workshops sobre a utilização de agregados leves de argila expandida em aterros ferroviários, colaborando com a Agência de Transportes da Finlândia. Participou em estudos para parques eólicos offshore na Finlândia e Suécia, elaborando relatórios e prestando apoio em campanhas geotécnicas. No sector industrial, realizou análises e dimensionamento de barragens de rejeitados. É mestre em Engenharia Civil com especialização em geotecnia pela Universidade Aalto (Finlândia), tendo recebido o prémio de Melhor Tese de 2021 pela Sociedade Geotécnica Finlandesa, com um estudo sobre o uso de agregados leves Leca® em aterros ferroviários.





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

Why use Expanded Clay in railway embankments?

Alternative solution -> cost savings!

Fast delivery -> time savings!

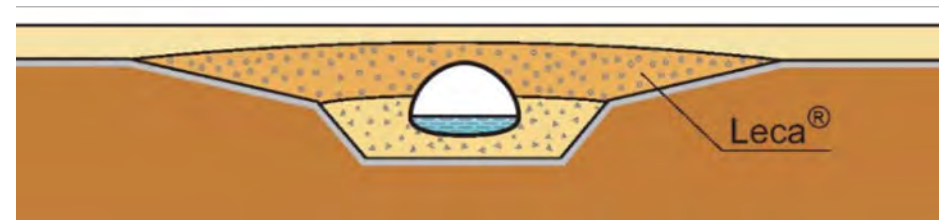
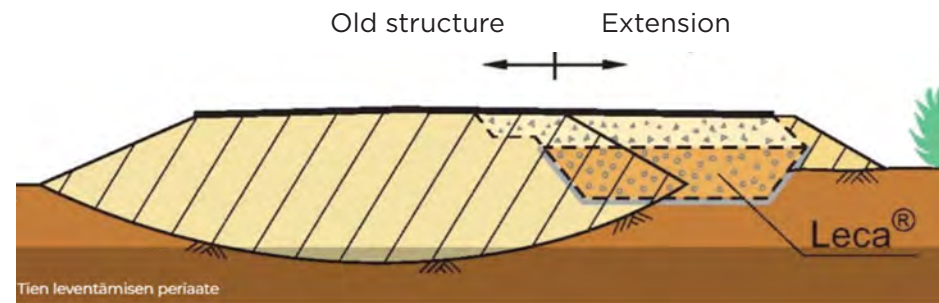
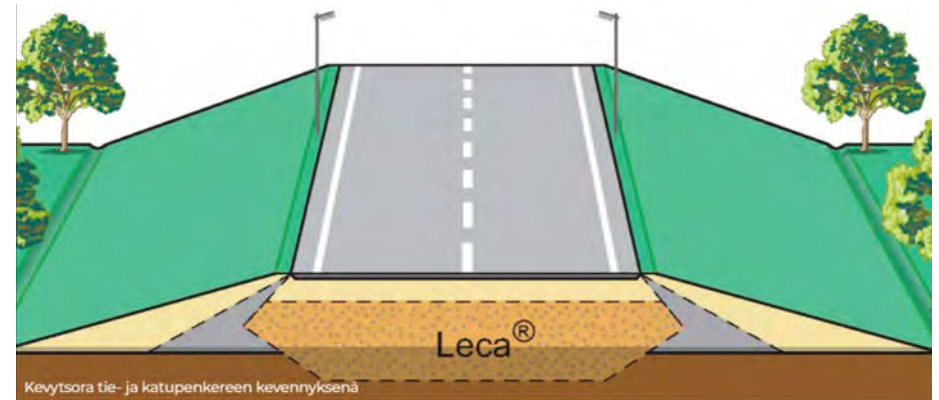
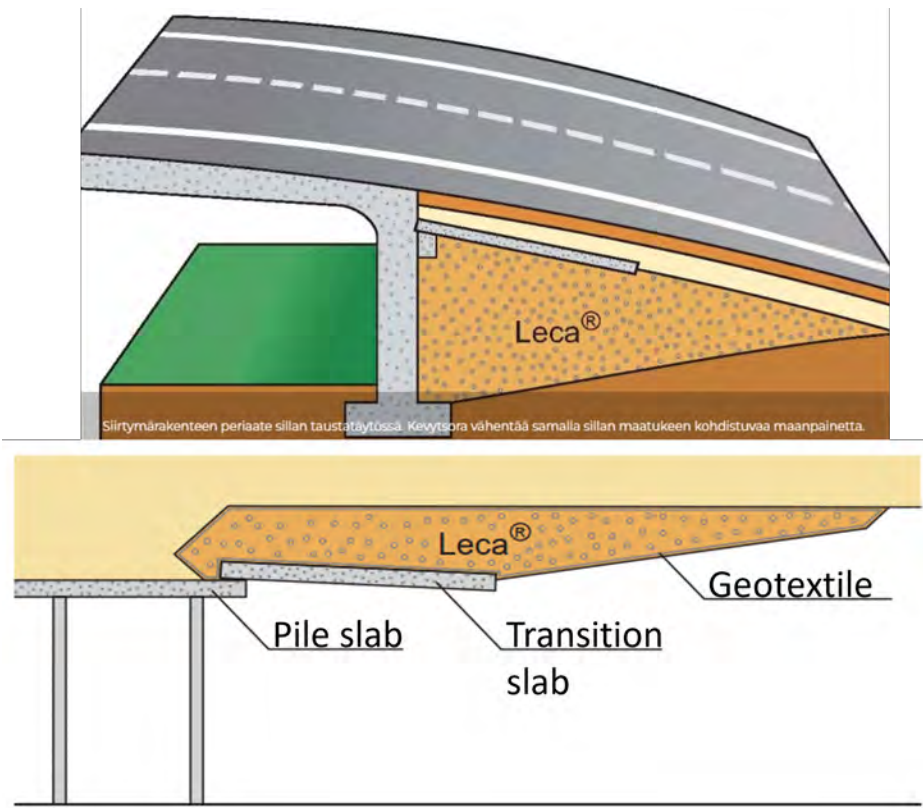
- Light unit weight
- Relative high strength (Elastic modulus, friction angle)
- Good water permeability
- Recyclable
- Good insulation, duration





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

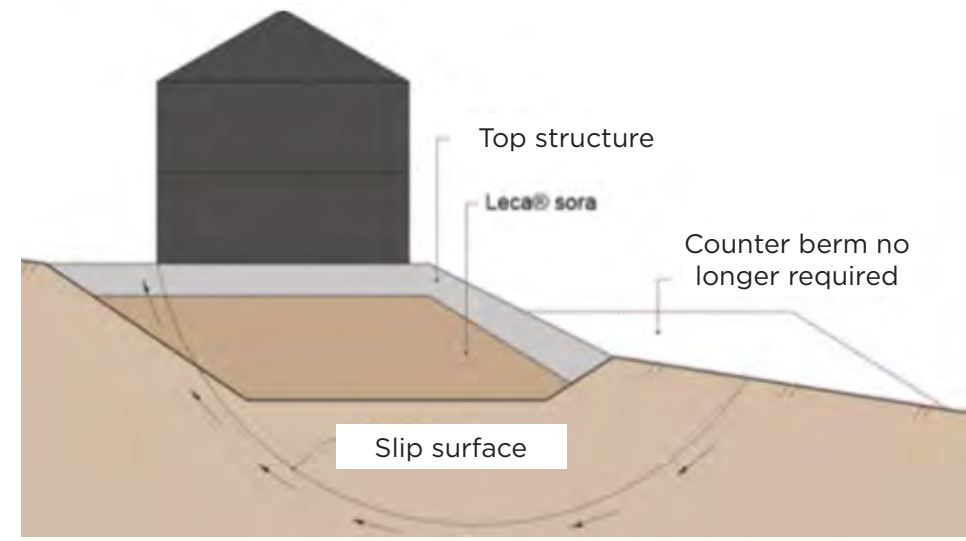
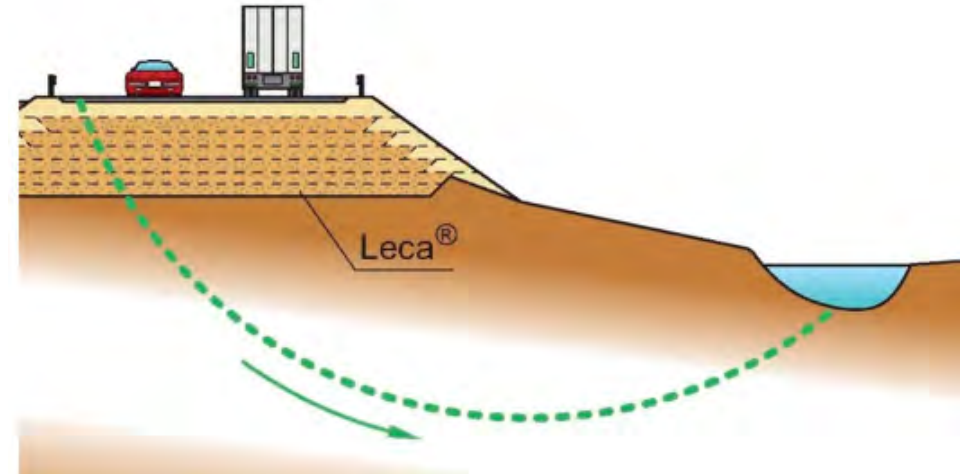
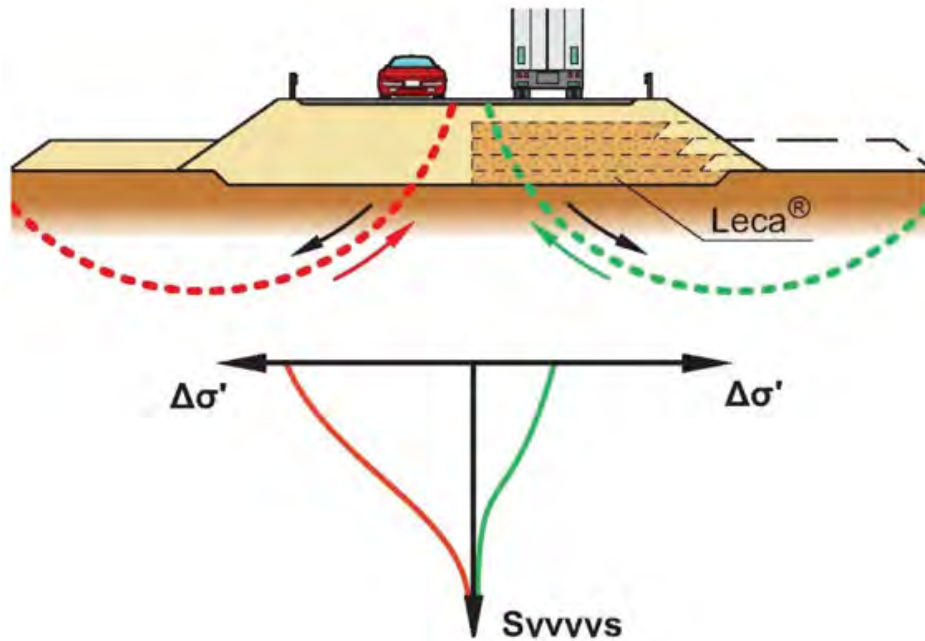
Applications beyond embankment fill





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

Embankment Stability

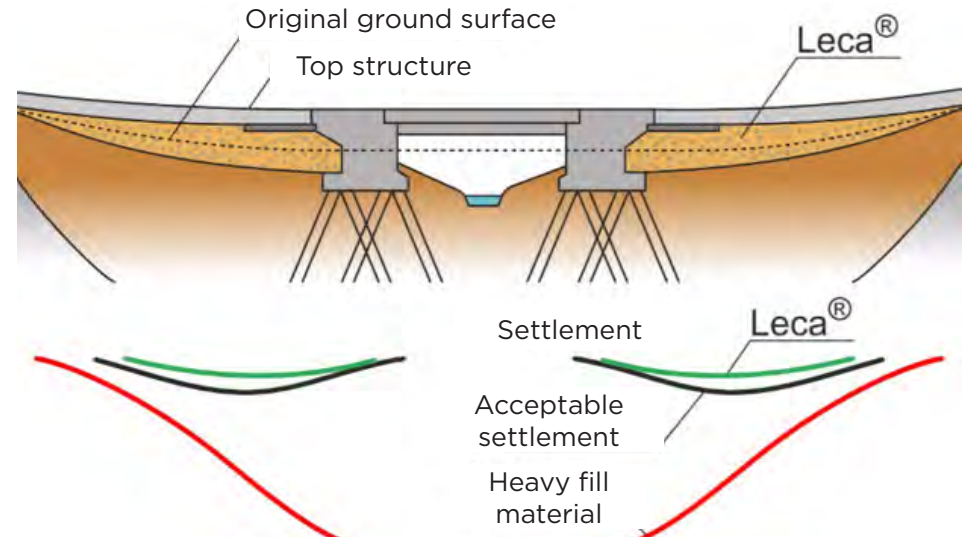
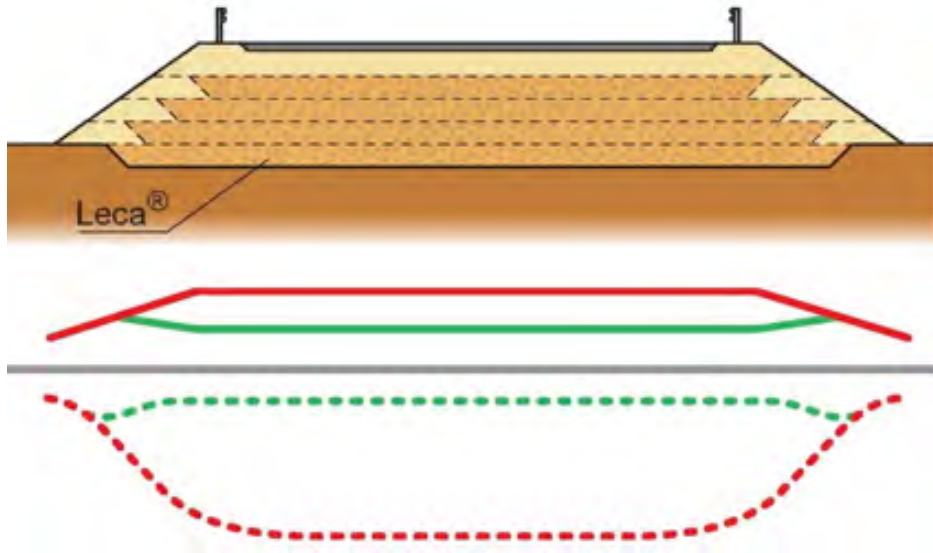




## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### Embankment Settlement

- Load distribution with heavy embankment materials
- Load reduced with LWA
- ⋯ Settlement with LWA
- ⋯ Settlement with heavy material





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### CASE – The Coastal Railway (1993, Finland)

- Embankment collapsed after 3 days of service
- Repaired within 6 days
- 20 m thick clay layer
- Approx. 1.5 m settlement before rehabilitation
- 17,000 m<sup>3</sup> expanded clay used

### LIIKENNÖINTI PYSÄYTETTIIN VAIN KUUDEKSI VUOROKAUDEKSI





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### CASE – The Costal Railway (1993, Finland)

- Embankment collapsed after 3 days of service
- Repaired within 6 days
- 20 m thick clay layer
- Approx. 1.5 m settlement before rehabilitation
- 17,000 m<sup>3</sup> expanded clay used

### LIIKENNÖINTI PYSÄYTETTIIN VAIN KUUDEKSI VUOROKAUDEKSI

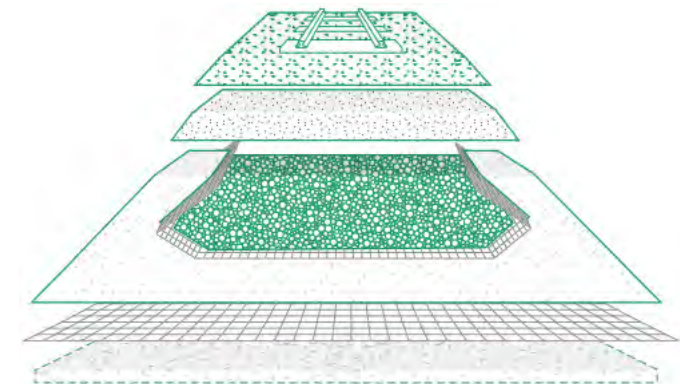
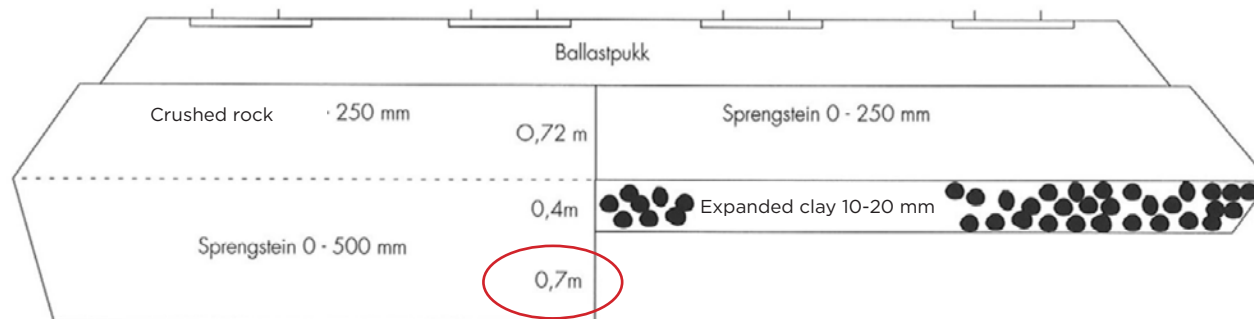




## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### CASE – Gardermoen Line (1996, Norway)

- Line from Oslo to Gardermoen Airport and Eidsvoll
- Expanded clay used for frost protection
- Saved 0.7 m in excavation and fill depth compared to crushed rock
- Existing water pipe added complexity





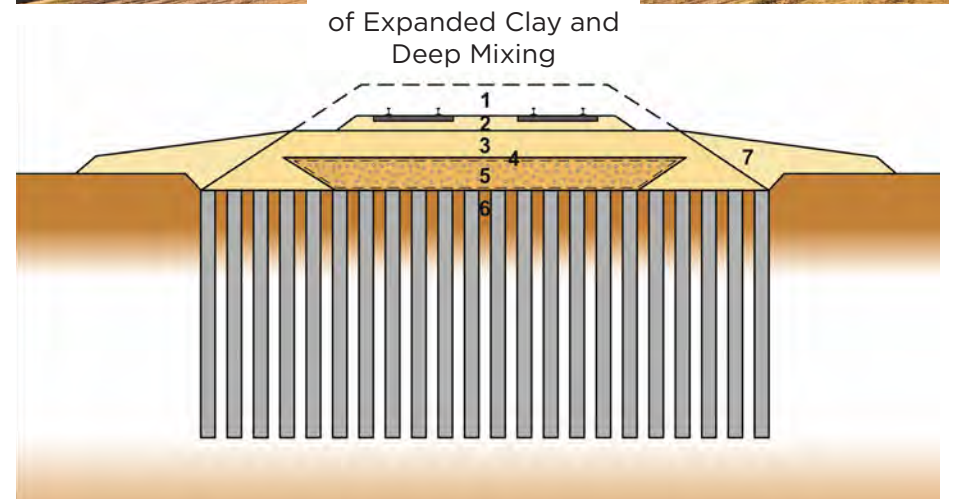
## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### CASE - Kerava - Lahti Railway (2006, Finland)

- Hard layer very deep full-length piles and pile slab not economical
- Deep mixing ->20 m not feasible
- €1.6M savings with Expanded Clay vs. piled slab (1,000 m combination section)
- 15,000 m<sup>3</sup> of Leca used in various solutions
- 1,100 truck deliveries (135 m<sup>3</sup> per delivery)
- Finnish Transportation Agency: no issues after 10 years of operation
- Also suitable for groundwater aquifer recharge areas



Solution: Combination of Expanded Clay and Deep Mixing





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### CASE - Ratho Station in Edinburgh (Scotland)

- Pneumatic delivery under existing railway arch
- Urgent infill required to maintain safety
- 330 m<sup>3</sup> of Expanded Clay placed in 2 days





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### CASE - Kokemäki - Rauma (2018, Finland)

- Culverts on wooden piles (constructed before 1900)
- Differential settlement between culverts and embankment
- Fast-track rehabilitation completed in 51 hours
- Two additional mass replacements (100 m and 400 m sections)





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

Master's thesis (2021) - Use of Leca LWA in  
Railway Structures

### Introduction

- Railway embankment designs ensure comfort, safety and timely operation of railways
- Railway tracks built on soft clay and peat are challenging
- Use of Light Expanded Clay Aggregates (LECA)

### Goals

- Review key geotechnical designs for railway embankments
- Determine a suitable cover depth and an optimal location for LECA in railway structures
- Evaluate the effect of cyclic loading on LECA





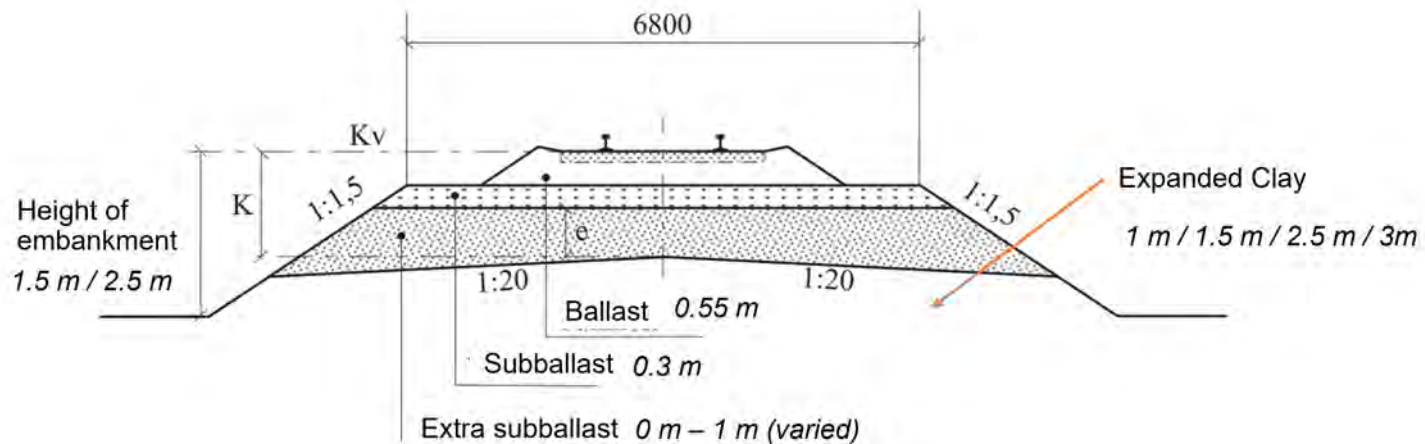
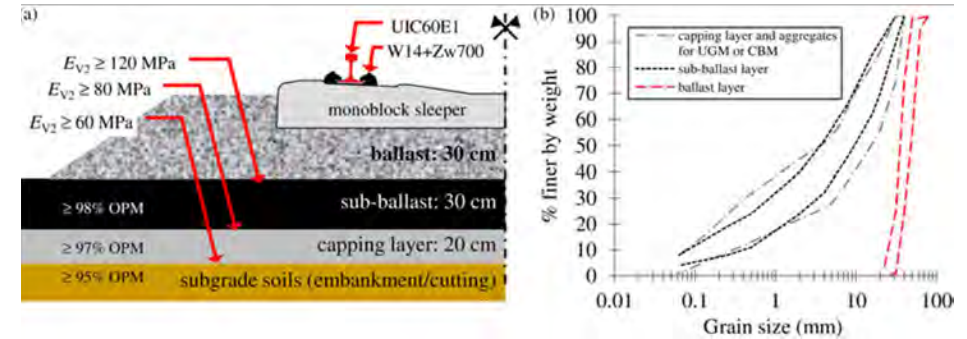
## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### Geometry

- Studied cross-section: single track, various dimensions
- Load model: LM71 axle loads 22.5 t & 25 t (RATO 3, 2018)
- Subgrade material: soft clay, loose silt, dense gravel

### Typical cross section in Portugal

(source: <https://doi.org/10.1080/15732479.2013.850730>)





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### Methodology

- Bearing capacity: the Odemark method
- Embankment stability: ULS, Plaxis (HS-model) & Python scripts for automation
- Displacement induced by cyclic loading: Plaxis (SSC-model, HS-model), the HCA model

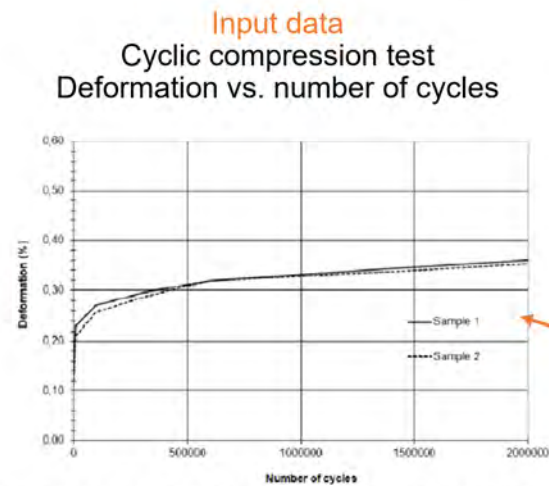
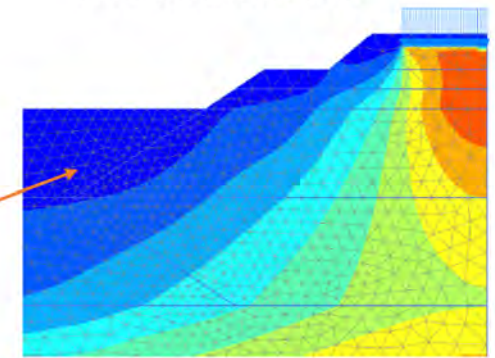


Figure 18. Leca LWA Fin 4-32 deformation versus the number of cycles (RISE, 2018)

**Tool**  
 Geotechnical engineering software  
 Plaxis SSC model  
 Deformation vs. time



Correlate

**Problem**

Lab conditions are different from construction sites (i.e., strain amplitude, stresses)  
 To solve this, the high-cycle accumulation (HCA) model is introduced.

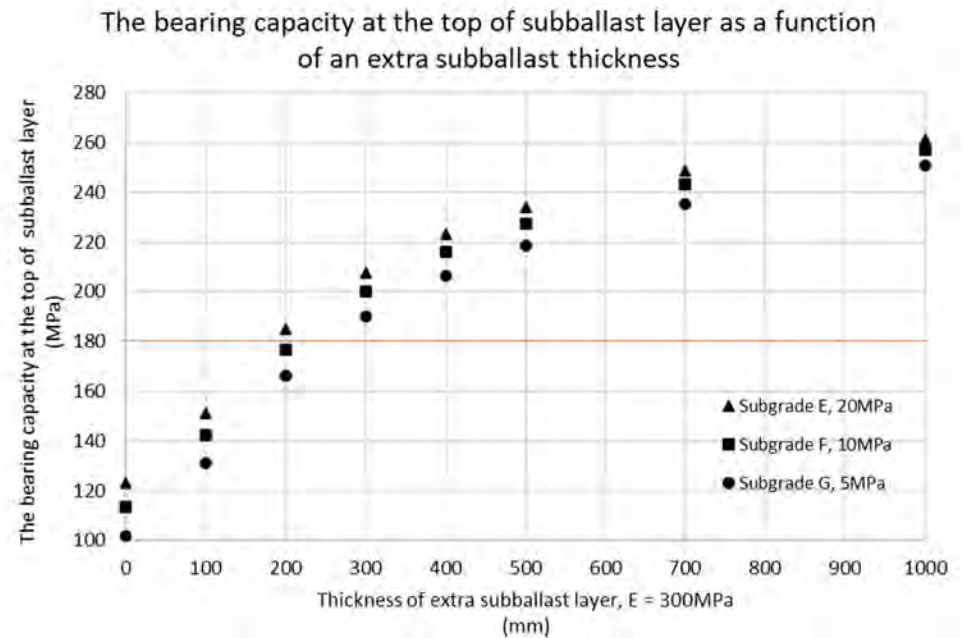




## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### Bearing capacity

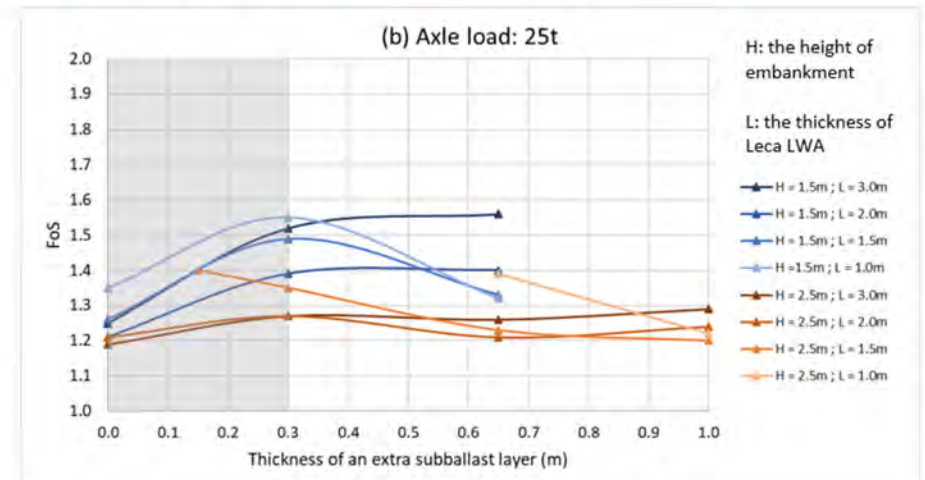
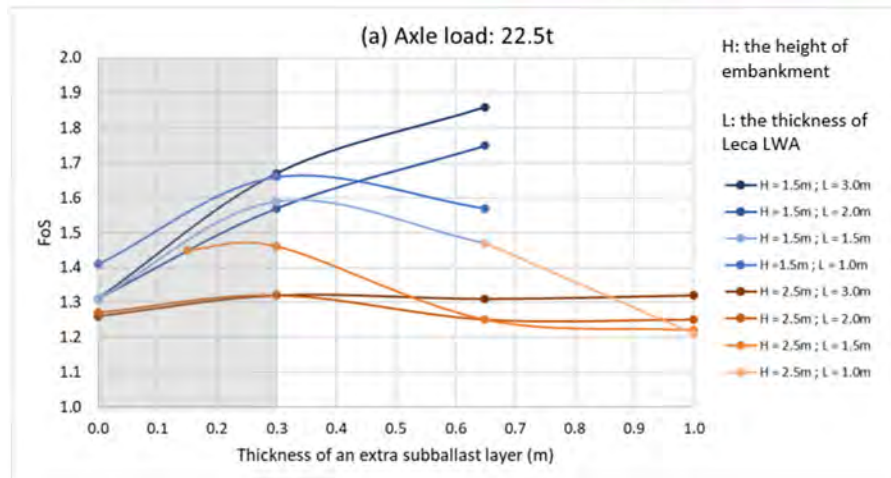
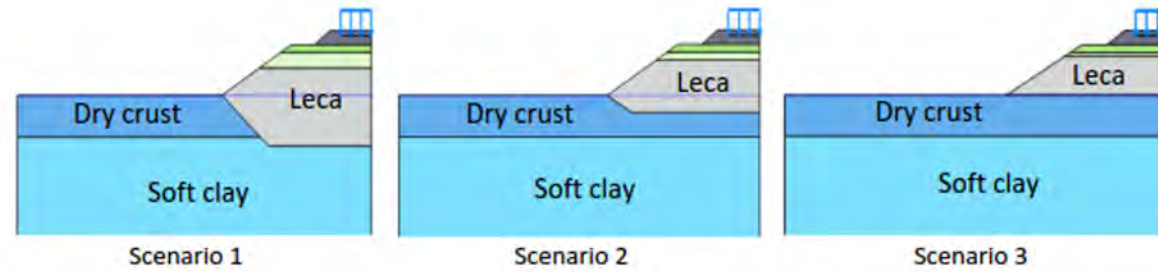
- The minimal required bearing capacity at the top of subballast layer is 180 MPa (InfraRYL)
- 300 mm thick extra subballast layer is optimal





## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

Stability



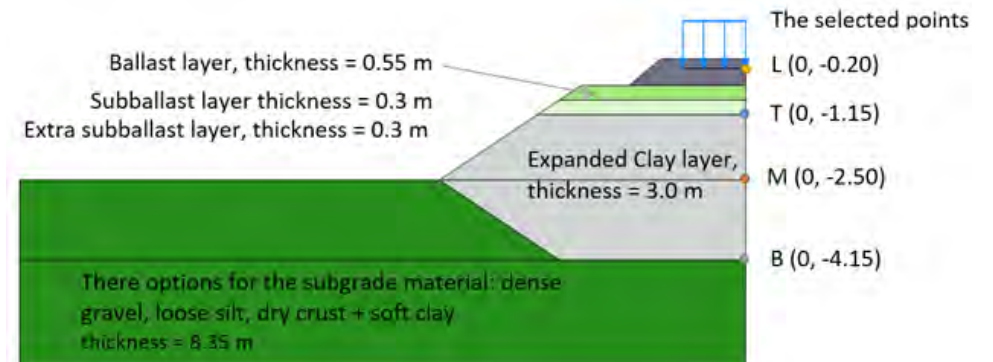
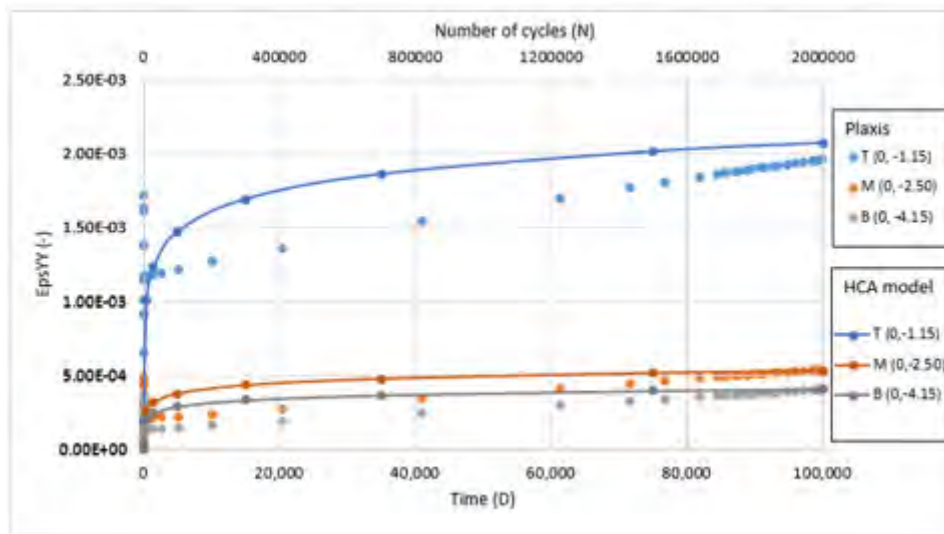


## USE OF EXPANDED CLAY IN RAILWAY EMBANKMENTS

### Displacement induced by cyclic loading

- Analysis: ~2 mm displacement at top of Expanded Clay layer after ~1.7 million cycles per decade

\*Note: 2 adjacent 250 kN axle loads generate on cycle (Nurmikolu, 2004)







## José Luis Cuenca

### APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



Assiste a  
apresentação

**José Luis Cuenca Lorenzo** é licenciado em Ciências Geológicas e mestre em Engenharia Geológica pela Universidad Complutense de Madrid. Iniciou a carreira em 1998, colaborando em estudos geotécnicos para o AVE Madrid-Zaragoza e investigando o uso de geossintéticos em obras lineares. Desde 1999, assumiu funções de direção técnica no Grupo Polyfelt, tendo acompanhado as aquisições por parte da Royal Ten Cate e posteriormente da SOLMAX, onde é actualmente Director da SOLMAX IBERIA, S.L. É membro ativo há mais de 25 anos em diversos comités técnicos nacionais e internacionais ligados à geotecnia, estradas e normalização, sendo cofundador do capítulo espanhol da International Geosynthetic Society. Em 2023, foi distinguido com a Medalha de Aportação Técnica à Estrada pela Associação Técnica de Estradas. É também orador e moderador frequente em eventos técnicos e científicos de relevo.



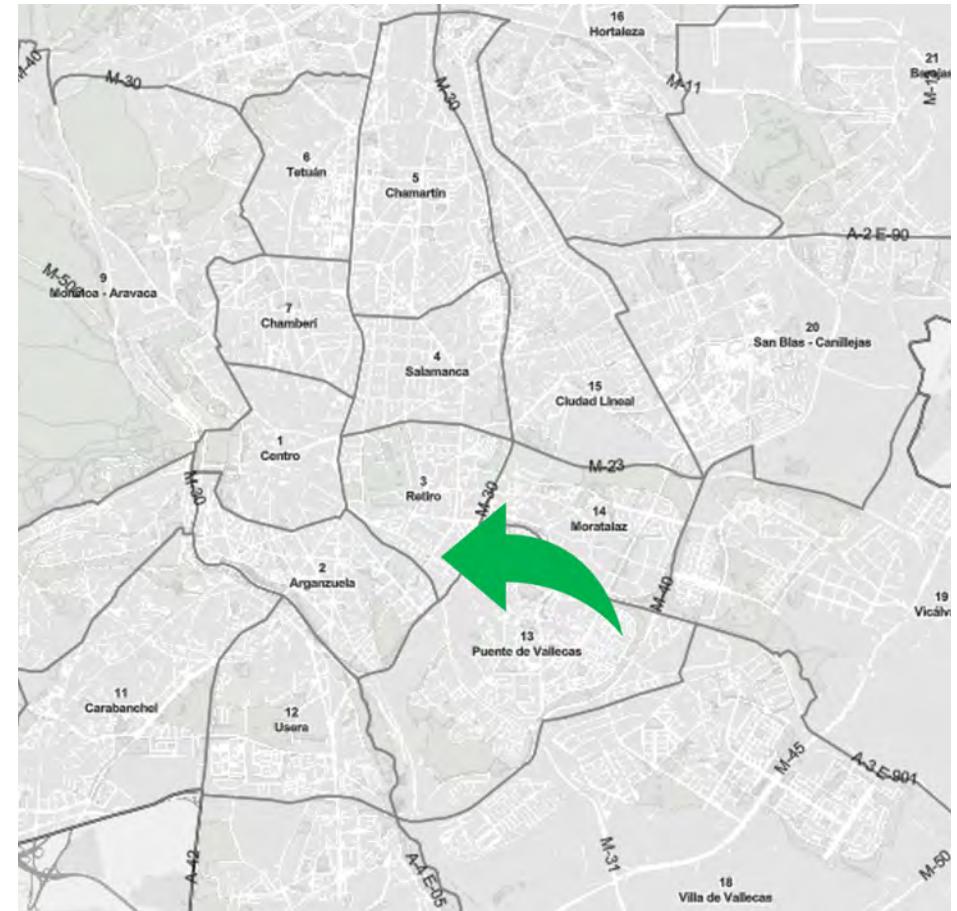


**José Luis Cuenca**  
 APLICAÇÃO DE GEORRELHAS EM COMBINAÇÃO  
 COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



**PROYECTO DE DEMOLICIÓN PARCIAL Y REESTRUCTURACIÓN DEL PASO ELEVADO VE-0305 EN CALLE DOCTOR ESQUERDO Y CALLE PEDRO BOSCH SOBRE LA AVENIDA CIUDAD DE BARCELONA Y EL FFCC., DISTritos DE RETIRO Y ARGANZUELA (MADRID)**

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)





## PROYECTO DE DEMOLICIÓN PARCIAL Y REESTRUCTURACIÓN DEL PASO ELEVADO VE-0305 EN CALLE DOCTOR ESQUERDO Y CALLE PEDRO BOSCH SOBRE LA AVENIDA CIUDAD DE BARCELONA Y EL FERROCARRIL, DISTRITOS DE RETIRO Y ARGANZUELA (MADRID)

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)

### Objetivos del proyecto:

- Crear un eje urbano más sostenible, accesible y con alta calidad paisajística.
- Mejorar la conexión peatonal y ciclista entre los distritos de Retiro y Arganzuela.
- Regenerar uno de los principales ejes de la ciudad, que forma parte del segundo cinturón exterior.

### Inversión y plazo:

- La inversión total del proyecto fue de unos 22 millones de euros.
- Las obras comenzaron a principios de 2022 con un plazo de ejecución de unos 12 meses, aunque el final se prolongó hasta principios de 2023.





**José Luis Cuenca**

**APLICAÇÃO DE GEORRELIHAS EM COMBINAÇÃO  
COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA**



**PROYECTO DE DEMOLICIÓN PARCIAL Y REESTRUCTURACIÓN DEL PASO ELEVADO VE-0305 EN CALLE DOCTOR ESQUERDO Y CALLE PEDRO BOSCH SOBRE LA AVENIDA CIUDAD DE BARCELONA Y EL FERROCARRIL, DISTRITOS DE RETIRO Y ARGANZUELA (MADRID)**

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)

- Inaugurado en 1972 para salvar el tráfico (inicialmente 40.000 vehículos diarios), de las vías del tren, a la altura de la Av. Ciudad de Barcelona y hasta llegar a la c/ Méndez Álvaro.
- El puente elevado sobre la rasante suponía una barrera visual a las edificaciones contiguas en la calle Doctor Esquerdo y una barrera para los vecinos, dificultando la conexión entre los barrios de Pacífico y Méndez Álvaro.
- El proyecto realizado en 2022-2023 consistía en crear una vía urbana sostenible, accesible, permeable y con una alta calidad paisajística, además de garantizar que esta vía mantendría su papel esencial en la movilidad de la ciudad, asegurando tanto su funcionalidad como la fluidez del tráfico.





**José Luis Cuenca**  
APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO  
COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo  
(Madrid)

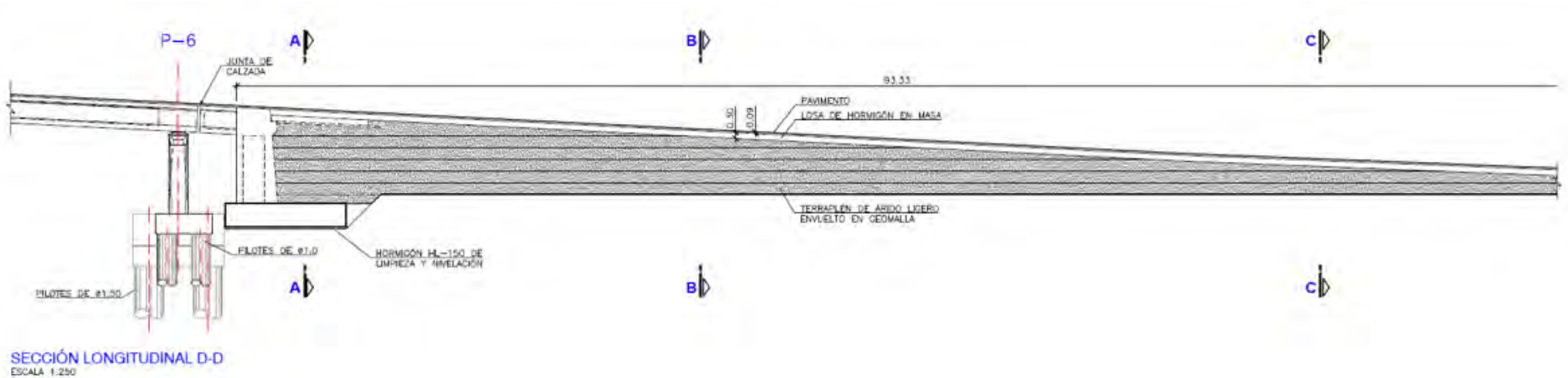
**Adiós al último scalétric de Madrid:** así cambiará la zona de Pedro Bosch medio siglo después





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo  
(Madrid)



### PROCESO CONSTRUCTIVO

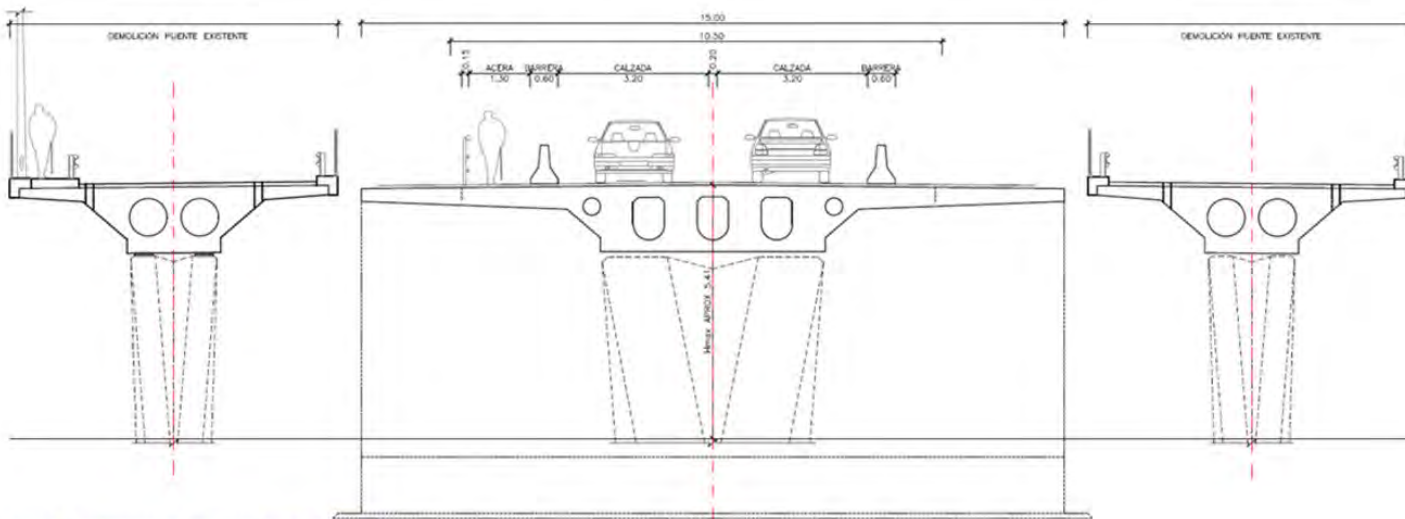
- corte al tráfico y demolición del tablero central existente de 16m de ancho.
- desvío provisional de tráfico por las rampas laterales existentes, (tableros laterales lado vallecas y lado retiro).
- construcción en primera fase del cajón central del nuevo puente y del muro de frente del estribo tras la pila p6.





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo  
(Madrid)



SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO POR NUEVO PUENTE  
ESCALA: 1:100  
DEFINICIÓN DE CALZADA PROVISIONAL  
SOBRE EL DAZÓN CENTRAL DEL NUEVO PUENTE

### PROCESO CONSTRUCTIVO

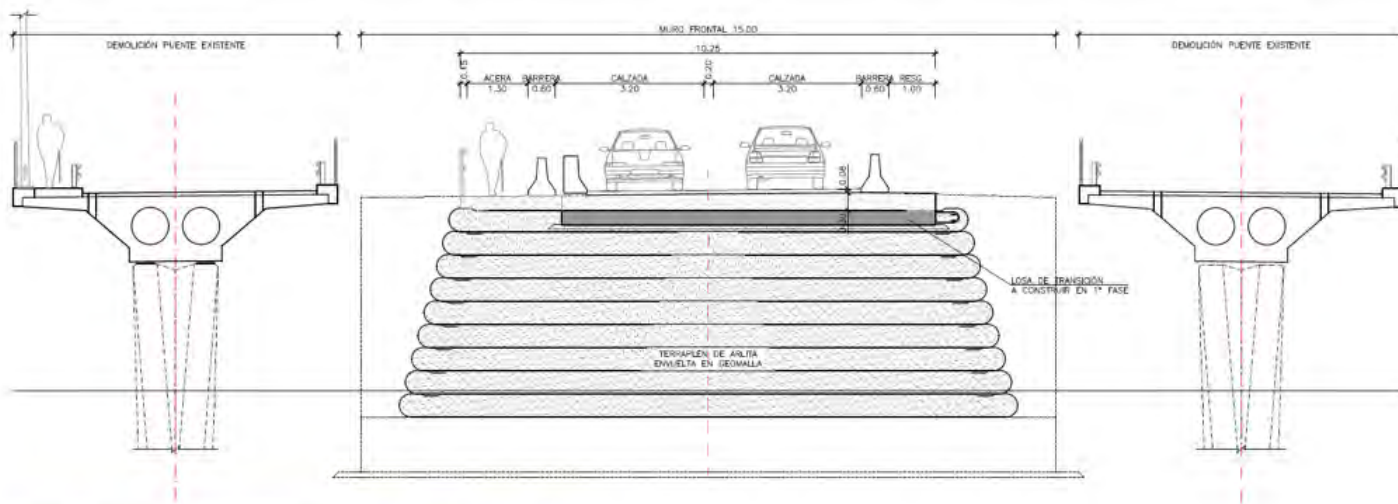
- corte al trafico y demolición del tablero central existente de 16m de ancho.
- desvío provisional de trafico por las rampas laterales existentes, (tableros laterales lado vallecas y lado retiro).
- construcción en primera fase del cajón central del nuevo puente y del muro de frente del estribo tras la pila p6.





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo  
(Madrid)



SECCIÓN TRANSVERSAL TIPO A-A PROVISIONAL POR TERRAPLÉN DE ÁRILTO LIGERO

ESCALA 1:100

DEFINICIÓN DE CALZADA PROVISIONAL SOBRE EL TERRAPLÉN DE ÁRILTO LIGERO REFORZADO  
CON GEOGALLA, DURANTE LA DEMOLICIÓN DE LAS RAMPA LATERALES EXISTENTES Y LA

### PROCESO CONSTRUCTIVO

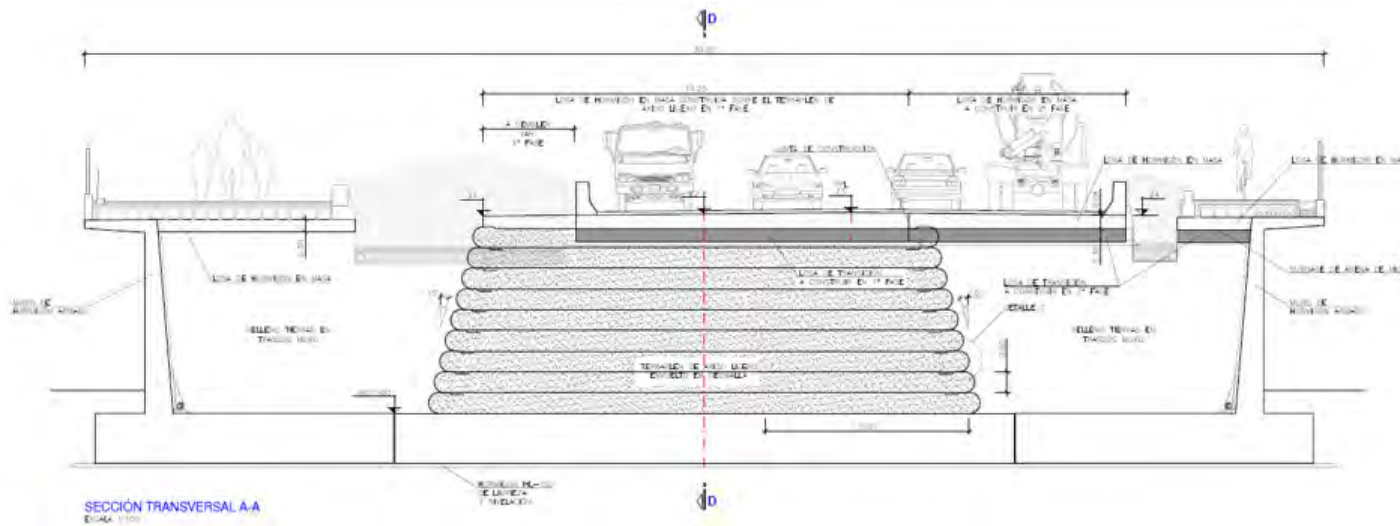
- construcción del terraplén de árido ligero reforzado con geomalla, coronado por una losa de hormigón en masa de 10.25m de ancho y 0.30m de espesor.
- desvío provisional del tráfico por el cajón central del nuevo puente y por el terraplén de arido ligero reforzado con geomalla. calzada provisional de 10.25m de ancho.





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo  
(Madrid)



### PROCESO CONSTRUCTIVO

- construcción en 2ª fase de los cajones laterales del nuevo puente y de los muros de frente y en vuelta tras la pila p6.
- ejecución de relleno de tierras entre el terraplén de árido ligero y los muros en vuelta de lado retiro y lado vallecas.
- construcción de losas de hormigón de 0.30m de espesor sobre subbase de arena de miga bajo futura acera y carril bici.
- urbanización sobre la nueva estructura (impermeabilización, barreras, barandillas, jardineras, pavimento... )





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo



ARLITA® L + MIRAGRID® GX 55/30 + Elementos frontales deformables y removibles = Sistema POLYSLOPE T de SOLMAX





**APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA**

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)



**INFORME DE LABORATORIO**  
 para  
**TENCATE GEOSYNTHETICS IBERIA, S.L.**  
**"Corte Arlita Tencate"**  
 INFORME FINAL

Trabajo nº 7830

Madrid, julio de 2022

Laboratorio de Geotecnia

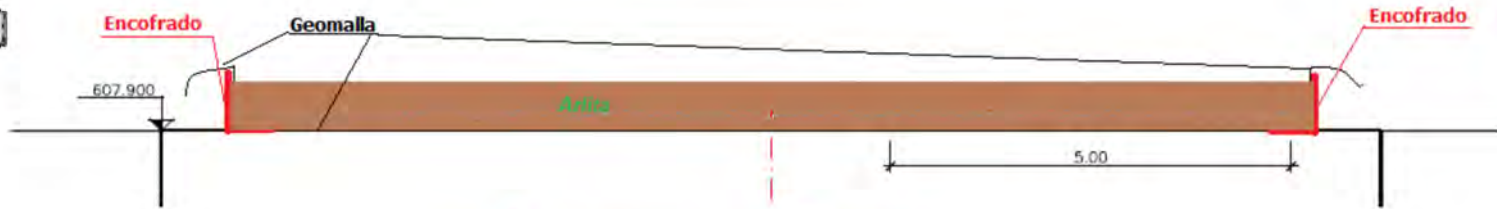
Ubicación de la obra



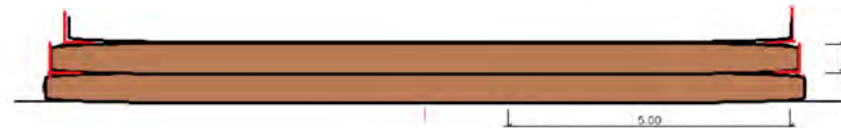
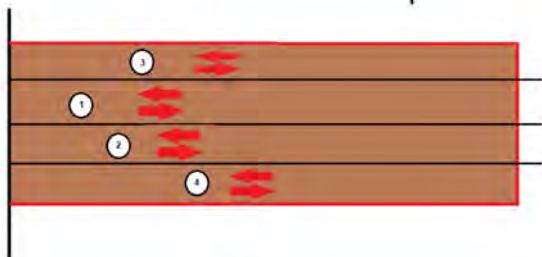
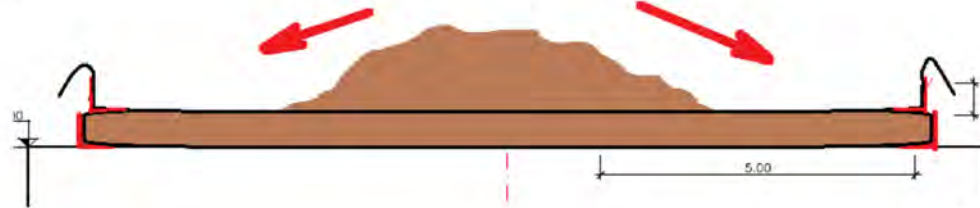


## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)



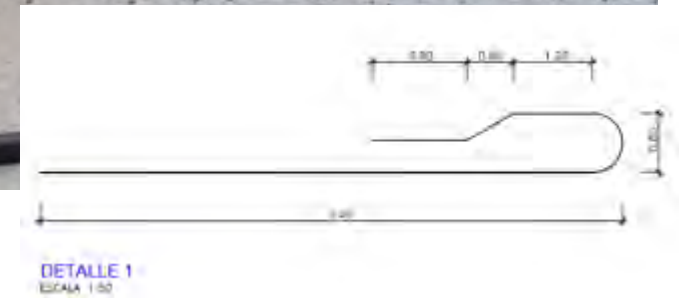
ETAPAS DE EJECUCIÓN DE LA ESTRUCTURA





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)





**José Luis Cuenca**  
APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO  
COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA



## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo  
(Madrid)





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

### Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo (Madrid)

- Desmantelamiento parcial del puente: Se eliminó la parte del puente de Pedro Bosch que cruzaba la avenida Ciudad de Barcelona, dejando una estructura más corta y funcional.
- Nuevo paseo peatonal ajardinado: Se construyó un nuevo paseo para peatones entre los distritos de Retiro y Arganzuela, con bancos de granito y jardineras.
- Carril bici bidireccional: Se instaló un nuevo carril bici segregado para conectar el eje de Méndez Álvaro con el futuro intercambiador de Conde de Casal.
- Mayor espacio para peatones: La remodelación ha supuesto un aumento del espacio para el peatón en el eje.
- Infraestructura más sostenible: Se incorporaron pavimentos fonoabsorbentes para reducir la contaminación acústica y más de 300 árboles nuevos para mejorar el paisaje urbano.
- Mejora de instalaciones deportivas: Las instalaciones deportivas bajo el puente que fueron desmontadas se recuperaron y se habilitó el espacio para el rocódromo en un parque adyacente.





## APLICAÇÃO DE GEOGRELHAS EM COMBINAÇÃO COM AGREGADOS LEVES DE ARGILA EXPANDIDA

Eje C/ Pedro Bosch- Av. Doctor Esquerdo  
(Madrid)



**Título:** Argila Expandida: Sustentabilidade e Resiliência em Soluções Geotécnicas — e-book do Seminário (1 outubro 2025)

**Organização:** Leca Portugal S.A. | Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC)

**Apoios institucionais:** Sociedade Portuguesa de Geotecnia (SPG) | Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) | Ordem dos Engenheiros (OE)

**Data e local:** 1 de outubro de 2025, Grande Auditório do LNEC, Lisboa

**Coordenação científica / Comissão organizadora:** Andrea Brito (LNEC) | André Paixão (LNEC) | Kim Rosenbom (Leca International) | Rui Ramos (Leca Portugal)

**Conteúdos (autoria das contribuições):** Andrea Brito — Comportamento mecânico de agregados leves de argila expandida

Ana Raquel Fernandes — Sustentabilidade em obras geotécnicas: estudo comparativo

Domingos Moreira — Muros de suporte: como dominar as ações

Alexandre Pinto — Soluções geotécnicas de aterros de compensação com recurso a agregados leves de argila expandida

José Estaire — Comportamiento de los áridos ligeros de arcilla expandida en vías férreas de alta velocidad

Ying-Ching Lin — Use of expanded clay in railway embankments

José Luis Cuenca Lorenzo — Aplicação de geogrelhas em combinação com agregados leves de argila expandida

**Coordenação editorial:**

Cecília Cardoso — Responsável de Comunicação, Leca Portugal

**Produção gráfica / Paginação:**

Criamagin (criamagin.com)

**Imagem de capa / Conceção de capa:**

Visuals (visuals.pt)

**Tratamento de figuras e direitos de imagem:**

Compilação e validação de permissões: Leca Portugal

Créditos de figuras conforme indicado em cada contribuição.

A edição e normalização editorial incidiram sobre forma e consistência documental. O conteúdo técnico é da responsabilidade dos respetivos autores.

**Línguas:**

Português, Espanhol e Inglês (conforme contribuição).

**Extensão:**

201 páginas.

**Direitos e titularidade:**

© Seminário “Argila Expandida: Sustentabilidade e Resiliência em Soluções Geotécnicas” — Leca Portugal S.A. | LNEC

**Direitos:** © 2025 Leca Portugal, S.A. (compilação editorial). © respetivos autores (contributos individuais). Todos os direitos reservados. Aceder ao ficheiro não confere direito de reprodução, distribuição, comunicação pública ou criação de obras derivadas sem autorização escrita dos titulares.

Condições de utilização (declaração técnica de responsabilidade):

Esta publicação compila materiais apresentados num seminário técnico. Não constitui norma, especificação técnica nem substitui peças de projeto. As conclusões, valores e recomendações são da responsabilidade dos respetivos autores; a sua aplicação exige validação no contexto específico de cada obra.

Sempre que sejam utilizados dados, gráficos ou imagens de terceiros, devem ser respeitadas as referências e direitos indicados pelos autores nas apresentações.

**Identificadores bibliográficos:** DOI: 10.5281/zenodo.18304342