



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

31 JANEIRO | 18H00

 Auditório Ordem dos Engenheiros

 Com transmissão online



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Ensaio de grande escala de edifício de laje fungiforme

Rui Pedro César Marreiros
Professor Auxiliar
NOVA School of Science & Technology
Portugal

Lisboa, 31 de Janeiro de 2023

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Âmbito

Os ensaios que se vão apresentar foram realizados no âmbito do projecto **SlabStress**, financiado pela Comunidade Europeia (SERA-TA program – H2020). Os ensaios foram realizados no laboratório ELSA (*European Laboratory for Structural Assessment*), no *Joint Research Centre* da Comissão Europeia, em Ispra, Itália.



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Equipa no laboratório



NOVA
NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY

- Prof. António Pinho Ramos
- Prof. Válder Lúcio
- Prof. Rui Marreiros
- Doutor Brisid Isufi

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Ensaio Sísmico de Edifício à Escala Real

O objetivo deste programa é o estudo do comportamento de lajes fungiformes às ações sísmicas e o apoio ao desenvolvimento dos novos Regulamentos Estruturais Europeus (nova geração do EC2 e EC8).



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

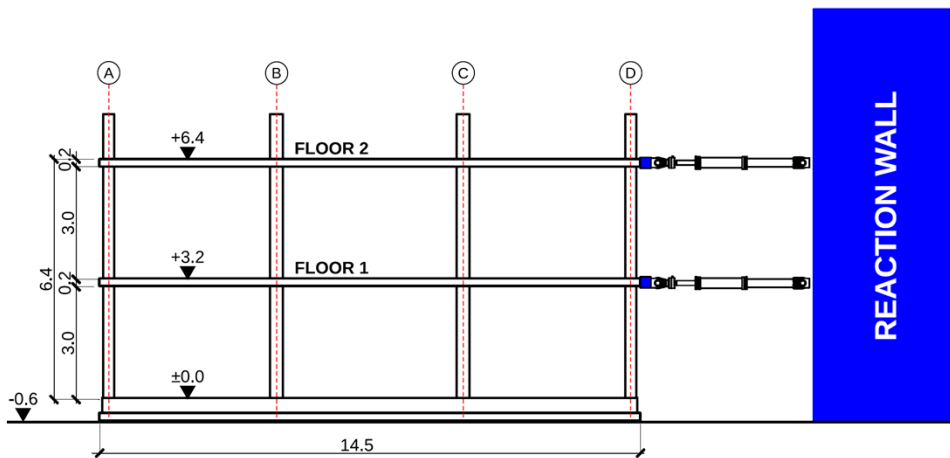


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL

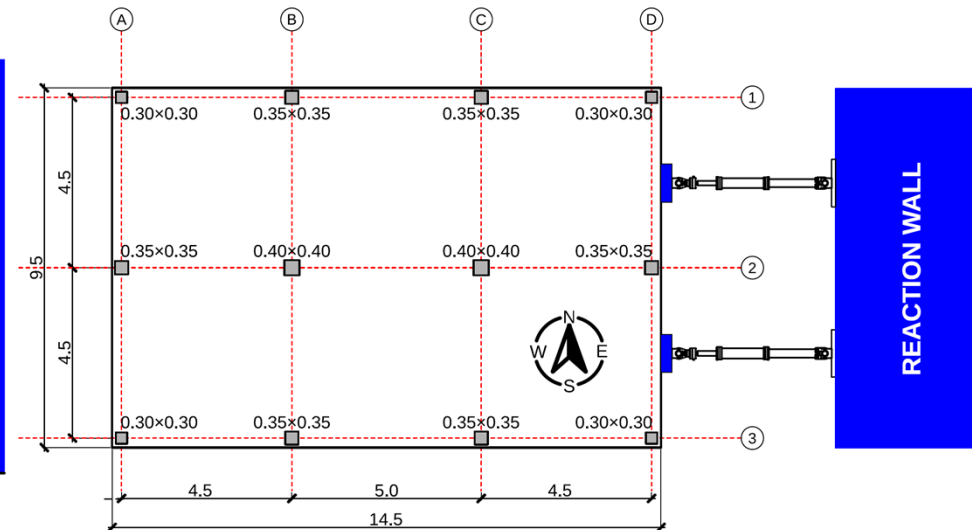


ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Geometria



Alçado



Planta

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

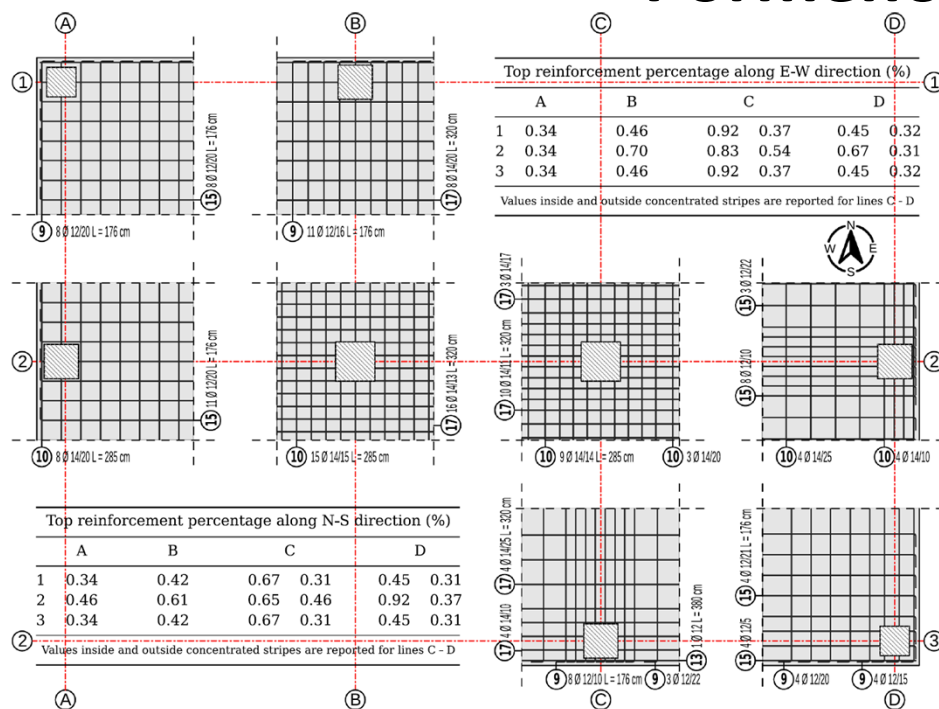


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL

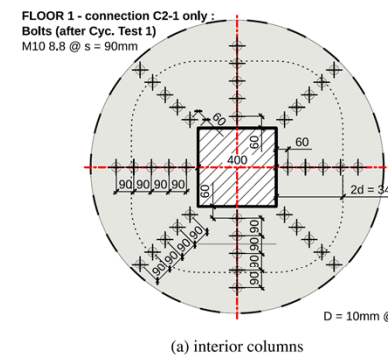


ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

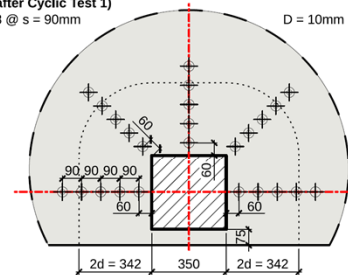
Pormenorização



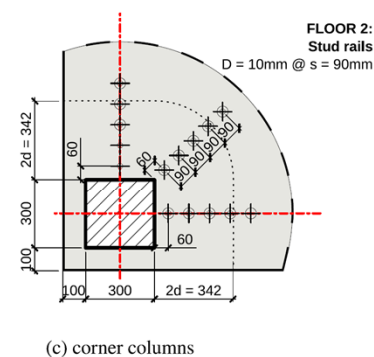
Armadura superior na zona dos pilares



FLOOR 1 - connections B1-1 and C3-1 only:
Bolts (after Cyclic Test 1)
M10 8.8 @ s = 90mm



FLOOR 2:
Stud rails
D = 10mm @ s = 90mm



Armadura específica de punçoamento

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Construção





SERA

Structural Engineering Research and Assessment



European Commission

European Laboratory for Structural Assessment

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Ensaios realizados

Foram realizados 4 ensaios, dois pseudo-dinâmicos e 2 cíclicos:

	Teste	Tipo	Ação máxima
1	Sism – ELUt	Psd	ELUt (PGA = 0,884 m/s ²)
2	Sism – ELU	Psd	ELU (PGA = 2,498 m/s ²)
3	CYC-1	Cíclico	2,5% drift
4	CYC-2	Cíclico	6,0% drift

CONFERÊNCIA

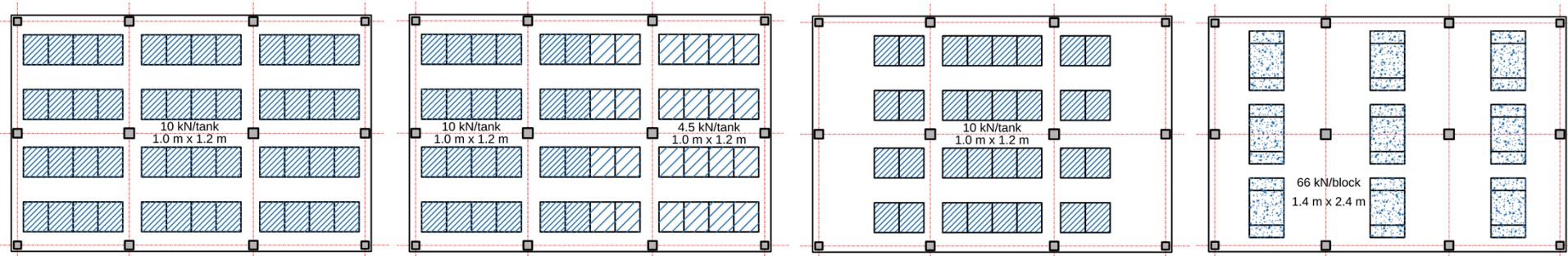
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

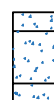


(a) First Floor for tests SEIS-SLS and SEIS-ULS

(b) First Floor for tests CYC-1

(c) First Floor for tests CYC-2

(d) Second Floor for all tests



66 kN/block
1.4 m x 2.4 m



10 kN/tank
1.0 m x 1.2 m



4.5 kN/tank
1.0 m x 1.2 m



Cyc-1	Vãos a Oeste 1º piso
	GSR (Vg /Vo)
Interior B2	0.29
Bordo B1/B3	0.25
Bordo A2	0.26
Canto A1/A3	0.25

Cyc-1	Vãos a Este 1º piso
	GSR (Vg /Vo)
Interior C2	0.22
Bordo C1/C3	0.19
Bordo D2	0.19
Canto D1/D3	0.19

Cyc-2	
	GSR (Vg /Vo)
Interior B2/C2	0.29
Bordo B1/B3/C1/C3	0.25
Bordo A2/D2	0.26
Canto A1/A3/D1/D3	0.25

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

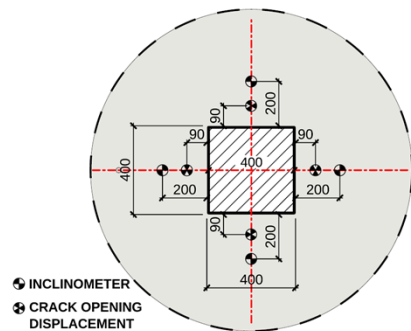


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



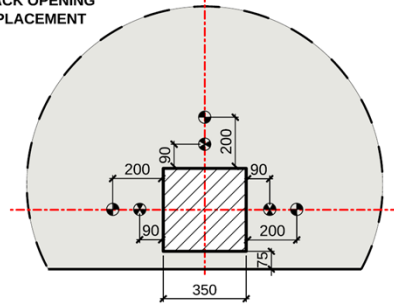
ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Instrumentação



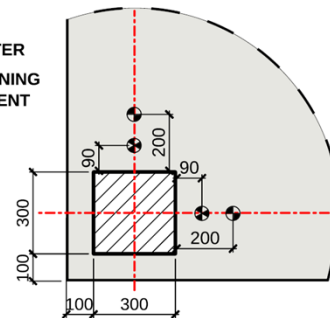
(a) interior columns: B2 and C2

INCLINOMETER
CRACK OPENING
DISPLACEMENT





(b) edge columns: B1 and C3

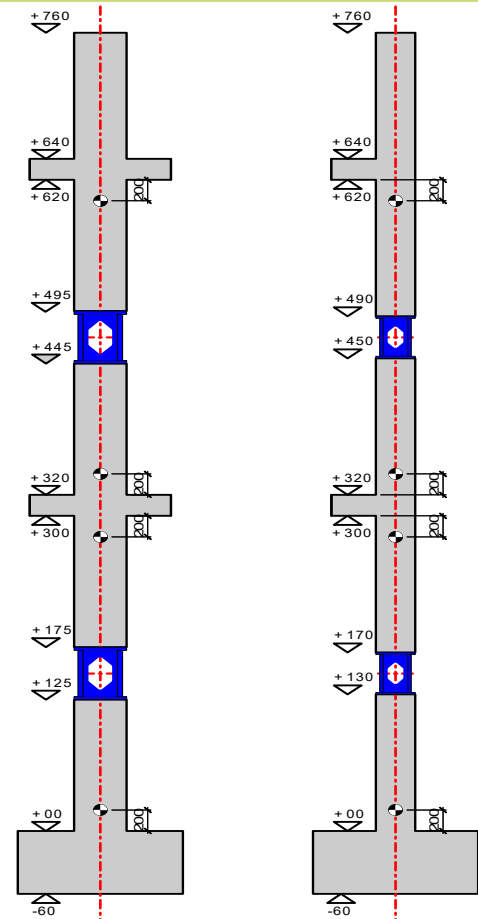
INCLINOMETER
CRACK OPENING
DISPLACEMENT



(c) corner columns: A1 and D3

 Célula de carga
para V e M

 Inclinómetro



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL

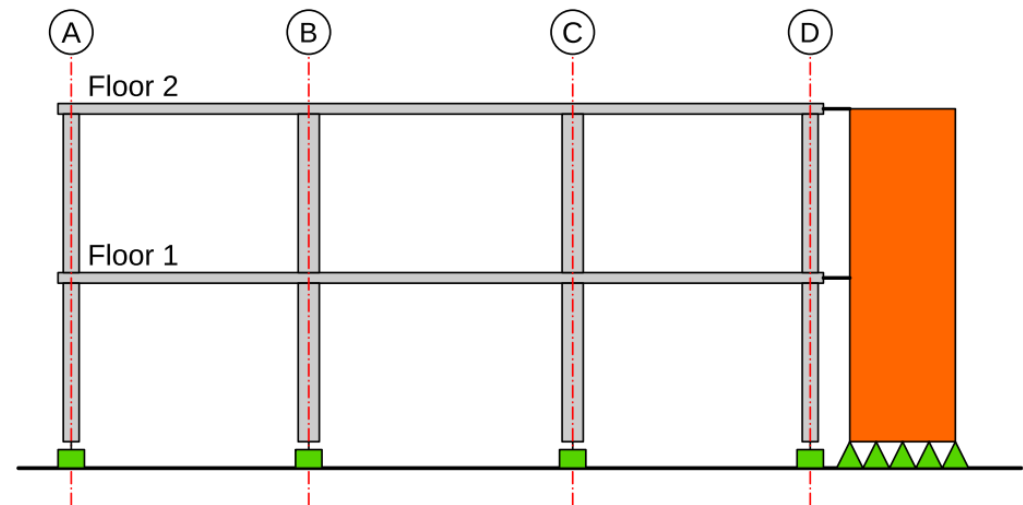


ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Ensaio sísmico / pseudo-dinâmico

A estrutura foi dimensionada assumindo paredes resistentes como elementos primários e uma laje fungiforme como elementos secundários ($K_{sec} < 15\% K_{pri}$).

Para calcular a ação a aplicar ao modelo durante o ensaio pseudo-dinâmico foram consideradas numericamente duas paredes resistentes.



CONFERÊNCIA

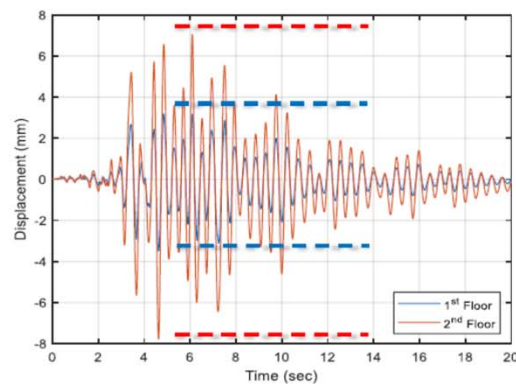
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



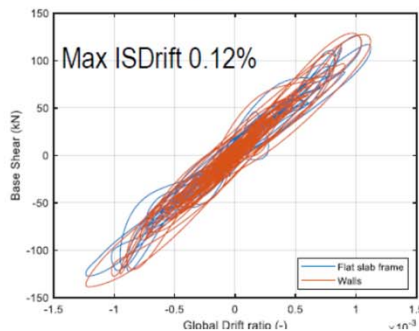
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



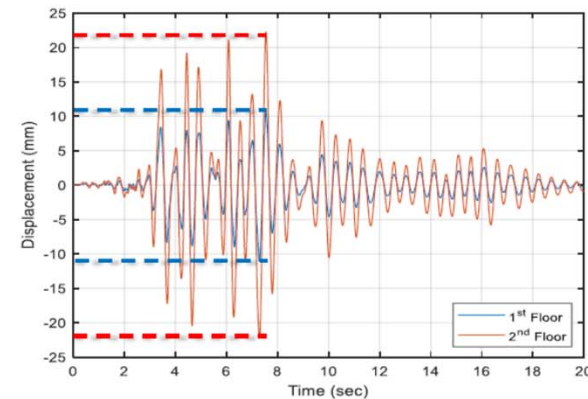
ANO DE
ENERGIA E
CLIMA



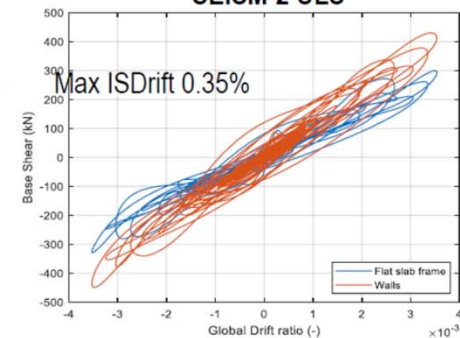
SEISM-1 SLS



Ensaios sísmicos
Resposta global



SEISM-2 ULS



Laje fungiforme +
paredes resistentes

Laje fungiforme com
resposta elástica

A ação utilizada para os ensaios sísmicos foi a componente Y do sinal 00712ya registado durante o sismo ocorrido em Maio de 2003, Bingol, na Turquia, com magnitude 6.4 M_W

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

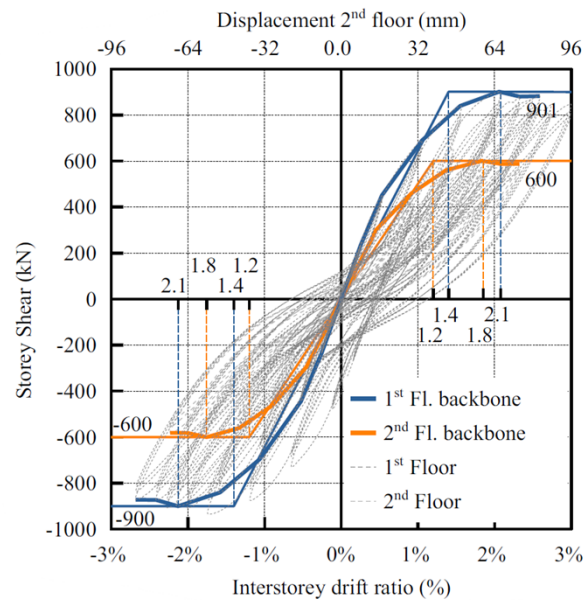


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL

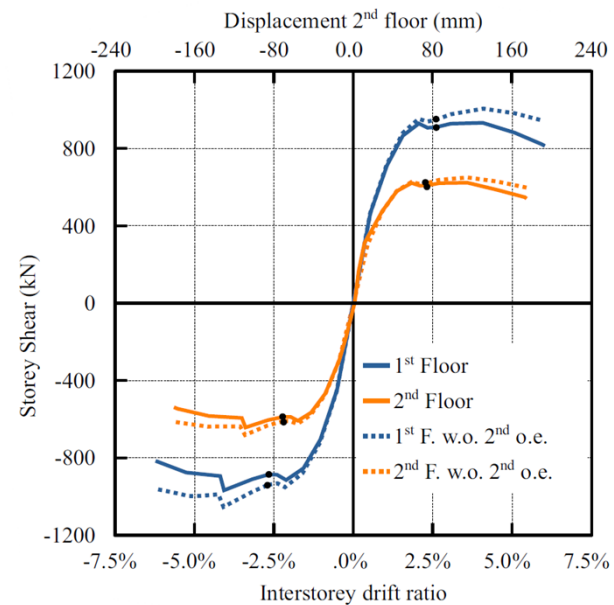


ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Ensaio cíclicos – resposta global



Ensaio CYC-1



Ensaio CYC-2

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

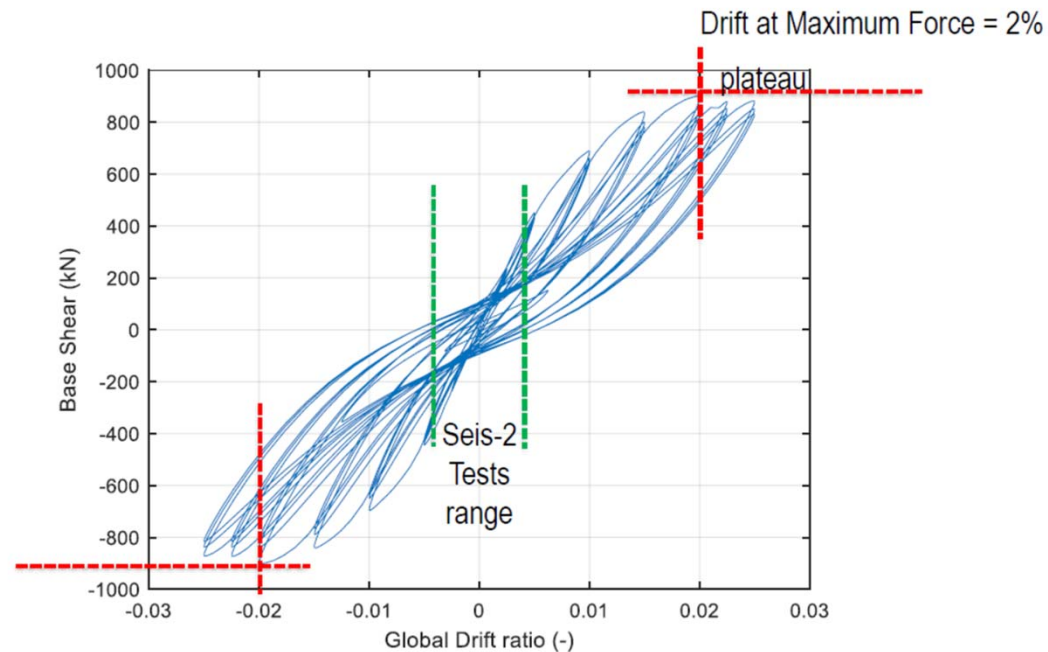


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Ensaio cíclico CYC-1 – resposta global



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

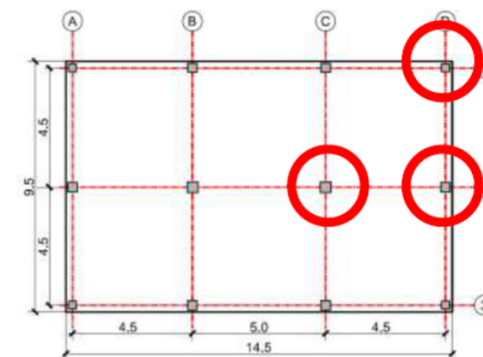


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL

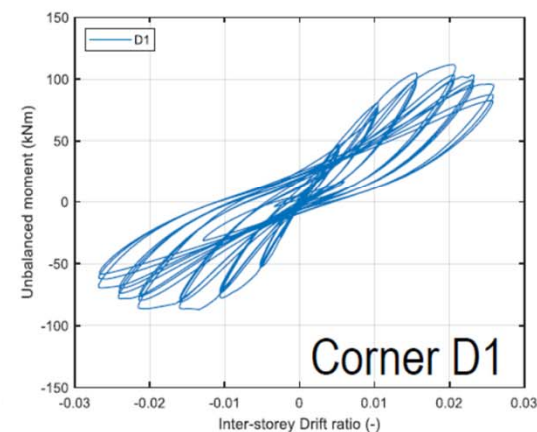
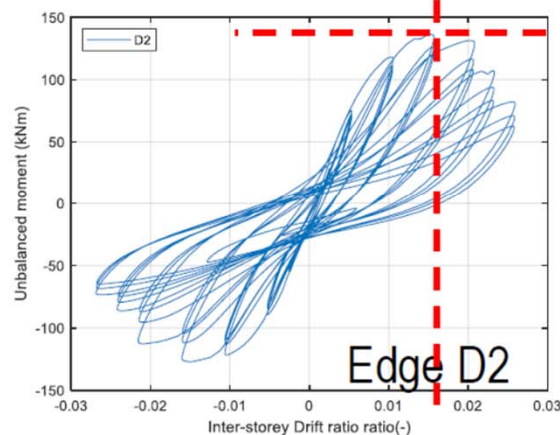
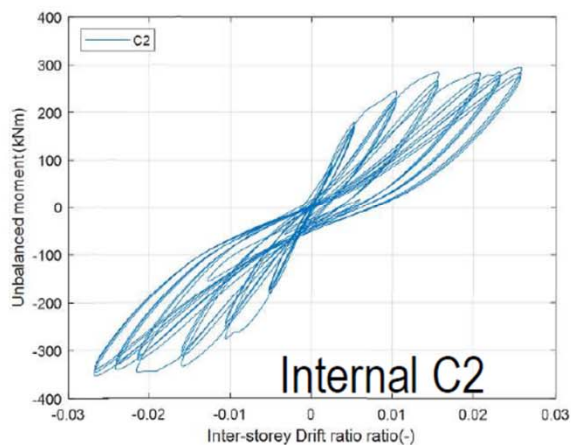


ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Momento desequilibrado – *drift* das ligações (1º piso)



Drift at First Punching = 1.5%



CONFERÊNCIA

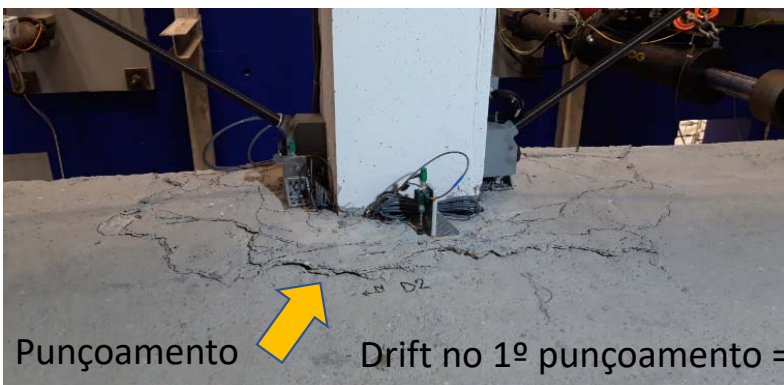
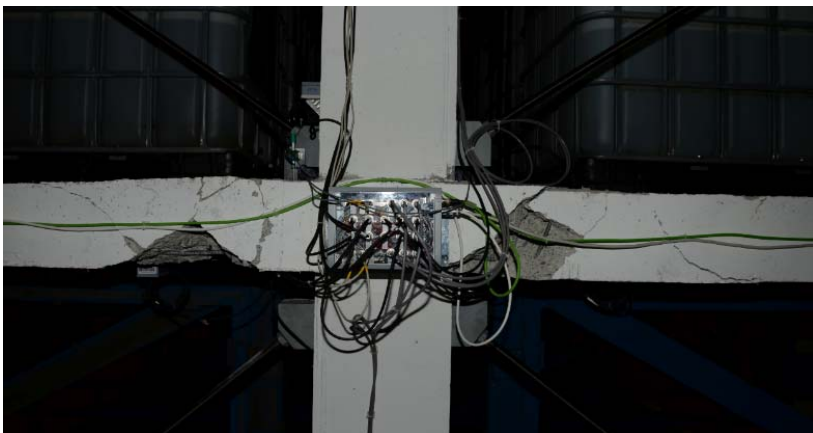
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes




ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA



Punçoamento  Drift no 1º punçoamento = 1.5%

Pilar de bordo D2



Pilar de canto D1

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

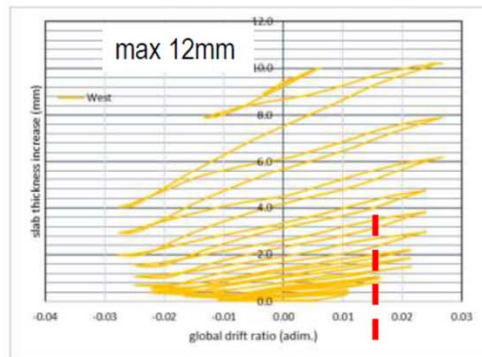
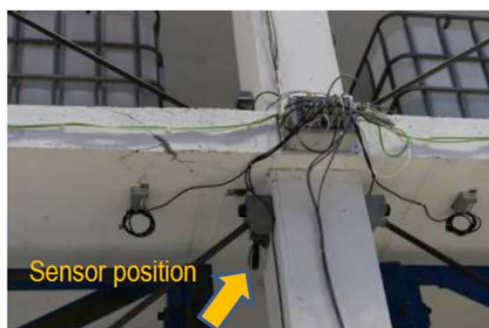


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



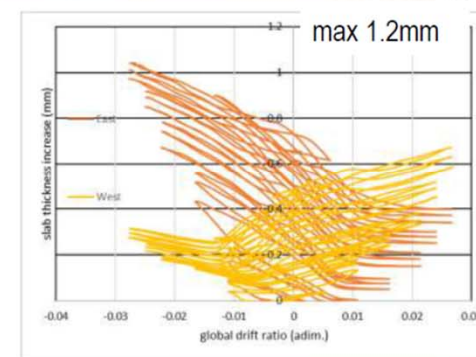
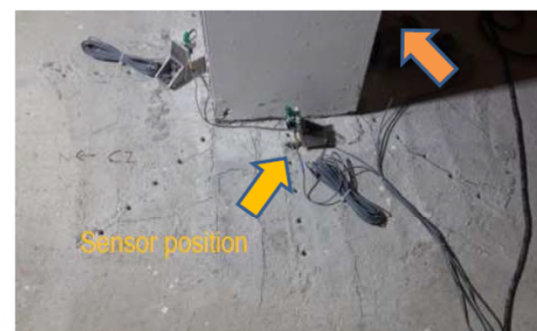
ANO OE
ENERGIA E
CLIMA

Pilar de bordo D2



Fendilhação nas ligações

Pilar de interior C2



Aumento da espessura da laje

Drift no 1º punçoamento = 1.5%

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes

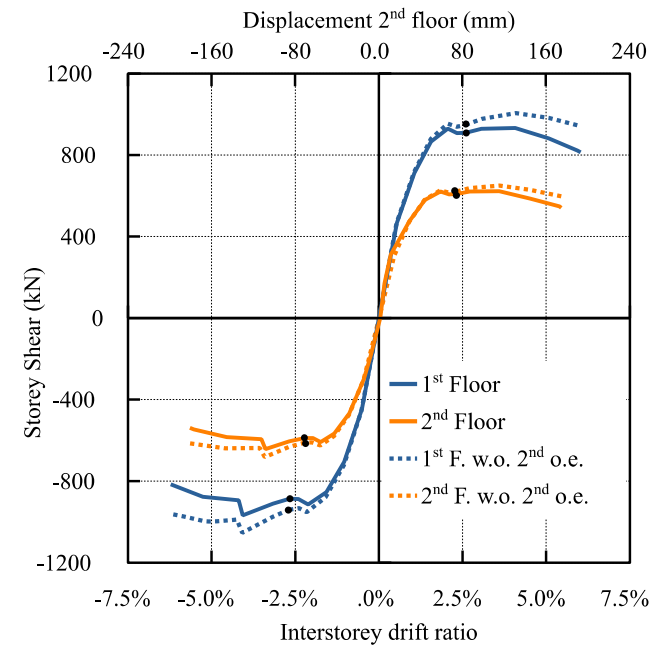
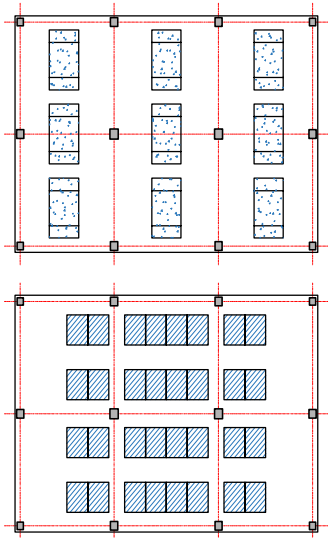


ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Ensaio cíclico CYC-2 Resposta global



CONFERÊNCIA

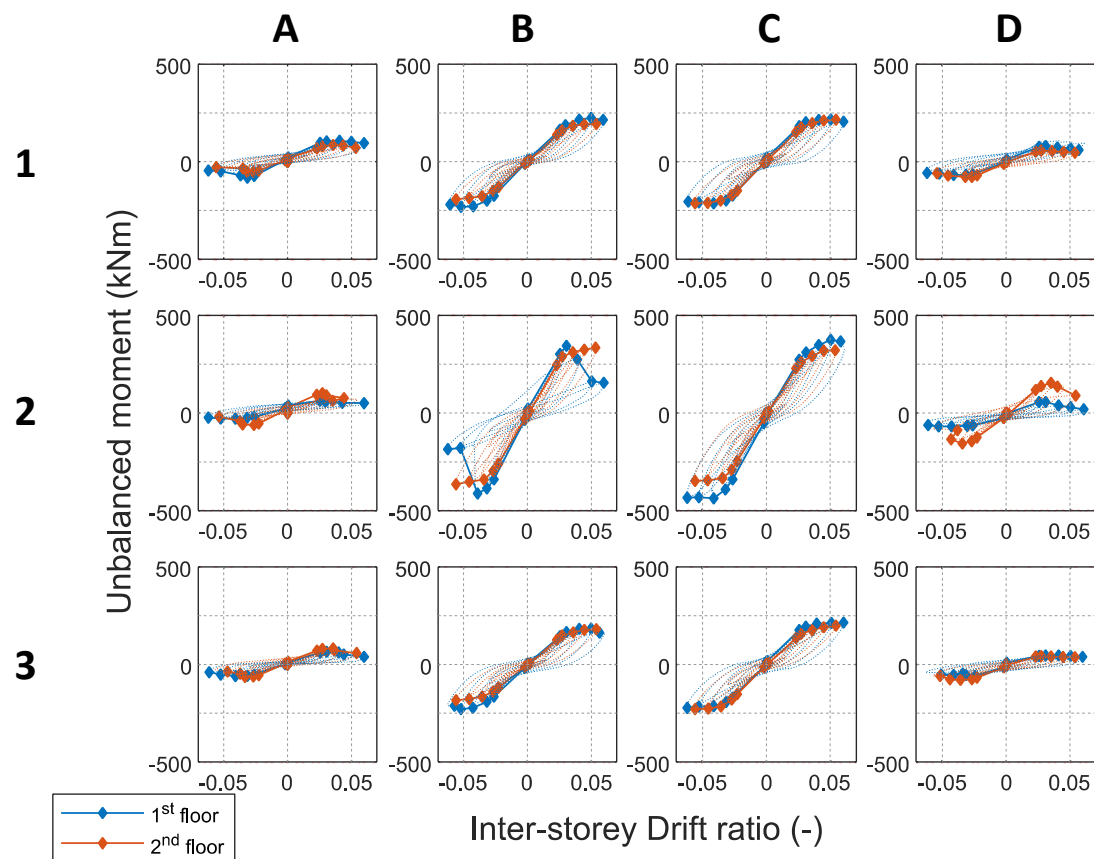
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO OE
ENERGIA E
CLIMA



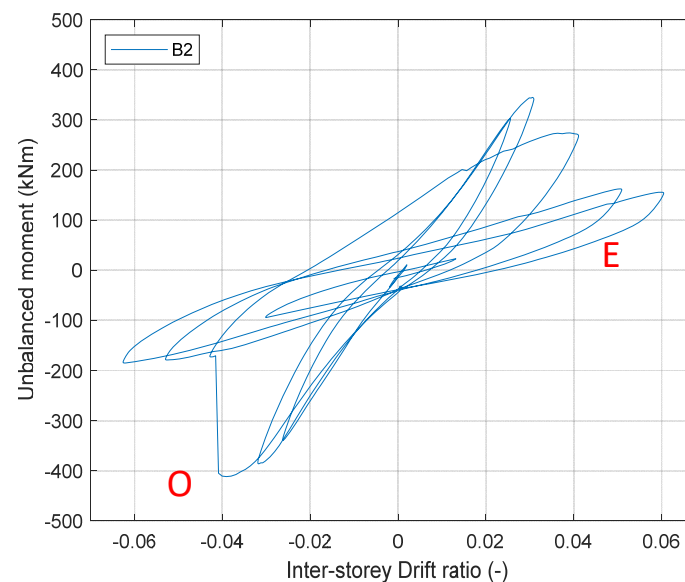
O



E



Pilar interior B2



Primeira rotura na direção O



Slabstress cycle G04-.wmv

CONFERÊNCIA

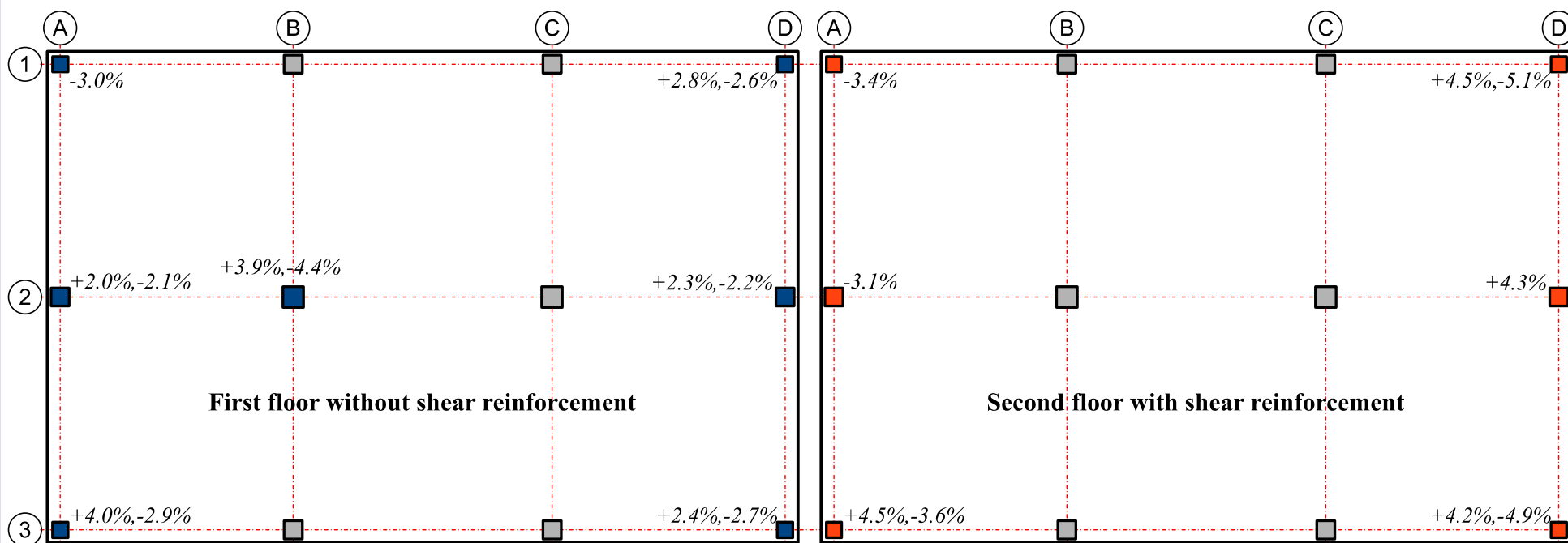
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA



Values of interstorey drift ratios at failure (80% of maximum moment)



Drift direction

- ◀ negative
- ▶ positive

- Failed connection without punching reinforcement
- Failed connection with punching reinforcement
- Non-failed connections

CONFERÊNCIA

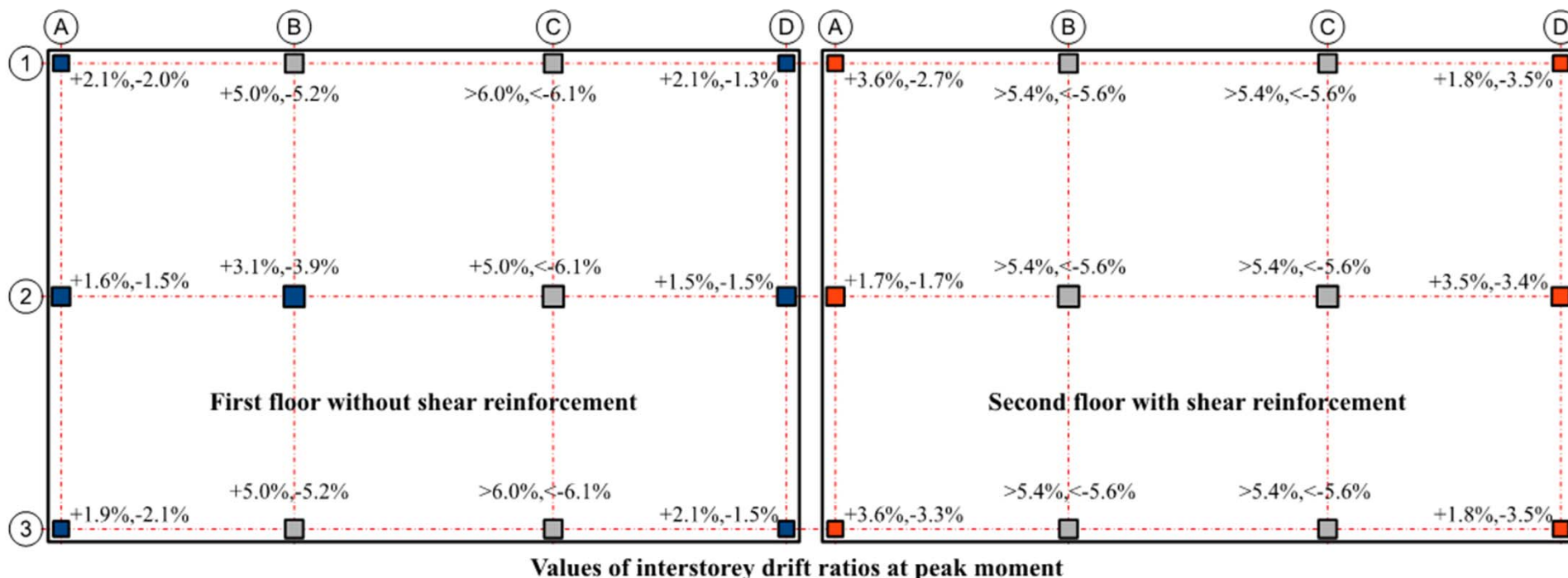
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA



Drift direction

◀ negative

▶ positive

■ Failed connection without punching reinforcement

■ Failed connection with punching reinforcement

■ Non-failed connections

CONFERÊNCIA

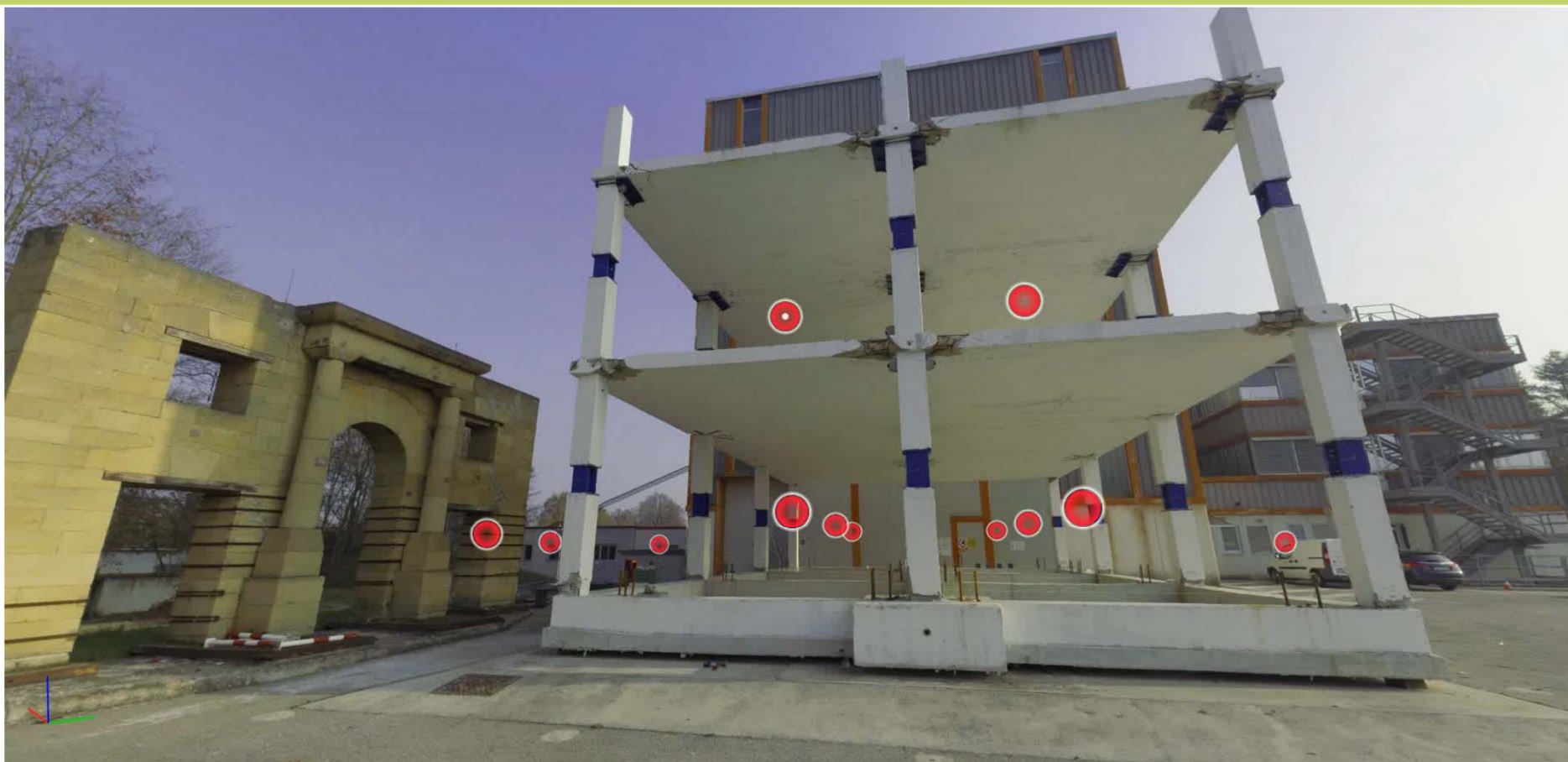
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO OE
ENERGIA E
CLIMA



CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Conclusões

- A laje fungiforme teve uma resposta praticamente elástica nos ensaios sísmicos/pseudo-dinâmicos.
- A primeira rotura por punçoamento ocorreu num pilar de bordo para um *drift* de 1.5%.
- Ocorreram várias roturas de punçoamento, sem colapso global da estrutura. O bom comportamento pós-rotura local foi devido à existência de armadura de colapso progressivo.
- O reforço com armadura pós-instalada foi eficaz em evitar a rotura na ligação do pilar C2.
- Recomenda-se uma adequada pormenorização no bordo ou a utilização de vigas de bordadura. Nos bordos perpendiculares ao deslocamento imposto, mesmo nas ligações com armadura de punçoamento, ocorreu rotura da ligação.

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Bibliografia

- Muttoni, A., Coronelli, D., Lamperti Tornaghi, M., Martinelli, L., Pascu, I. R., Ramos, A.P., Tsionis, G., Bamonte, P., Isufi, B., Setiawan, A. (2022). Deformation capacity evaluation for flat slab seismic design. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20, 1619-1654.
- Coronelli, D., Tornaghi, M. L., Martinelli, L., Molina, F. J., Muttoni, A., Pascu, I. R., Pegon, P., Peroni, M., Ramos, A.P., Tsionis, G., Netti, T. (2021). Testing of a full-scale flat slab building for gravity and lateral loads. *Engineering Structures*, 243.
- Ramos, A. P., Isufi, B., Marreiros, R., Coronelli, D., Netti, T., Lamperti Tornaghi, M., Tsionis, G., Muttoni, A. (2022). Seismic Performance of Strengthened Slab-Column Connections in a Full-Scale Test. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-20.

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Desenvolvimentos futuros

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Structural Behaviour of Recycled Aggregate Reinforced Concrete Flat Slabs with Drop Panels under Seismic and Cyclic Actions

Acrónimo: **RecycleSlab**

Parceiros:

CERIS : Investigação e Inovação
em Engenharia Civil para
a Sustentabilidade



POLITECNICO
MILANO 1863

Imperial College
London



POLITÉCNICA



CONFERÊNCIA

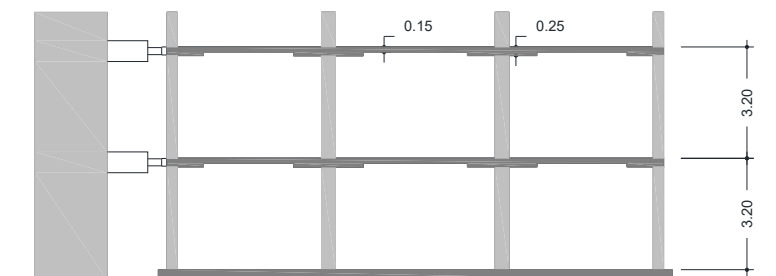
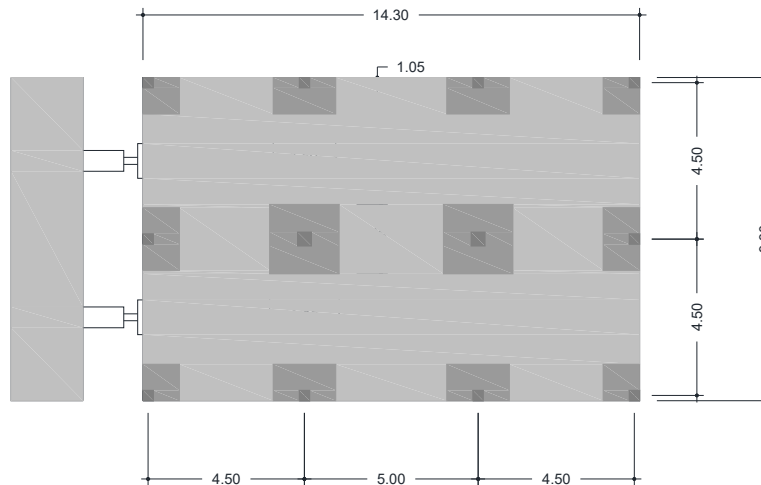
Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA



Laje fungiforme à escala real com dois pisos, com a utilização de espessamento da laje (*drop panels*) a ser ensaiada no laboratório ELSA, no JRC.

A estrutura será construída em betão com agregados reciclados.

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Motivação para a utilização de agregados reciclados:

Os resíduos de construção e demolição (RCD) constituem um terço da totalidade dos resíduos gerados na UE. A indústria dos agregados é a maior indústria extrativa não energética no mundo. A valorização de RCD como agregados reciclados em betão visa alcançar a sustentabilidade da indústria da construção e vai ao encontro do Plano de Ação para a Economia Circular da UE. Este tipo de valorização é relevante pois o betão é o material mais utilizado no mundo a seguir à água.

Os resíduos de betão são o constituinte principal dos RCD e a sua valorização como agregados grossos reciclados de betão (AGRB) para incorporação em betão estrutural é uma opção defendida em diversas publicações científicas. No entanto, o recurso a betão produzido com AGRB (BAGRB) é escasso/inexistente na maioria dos países e os agregados reciclados são utilizados essencialmente em operações de aterro ou de enchimento.

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



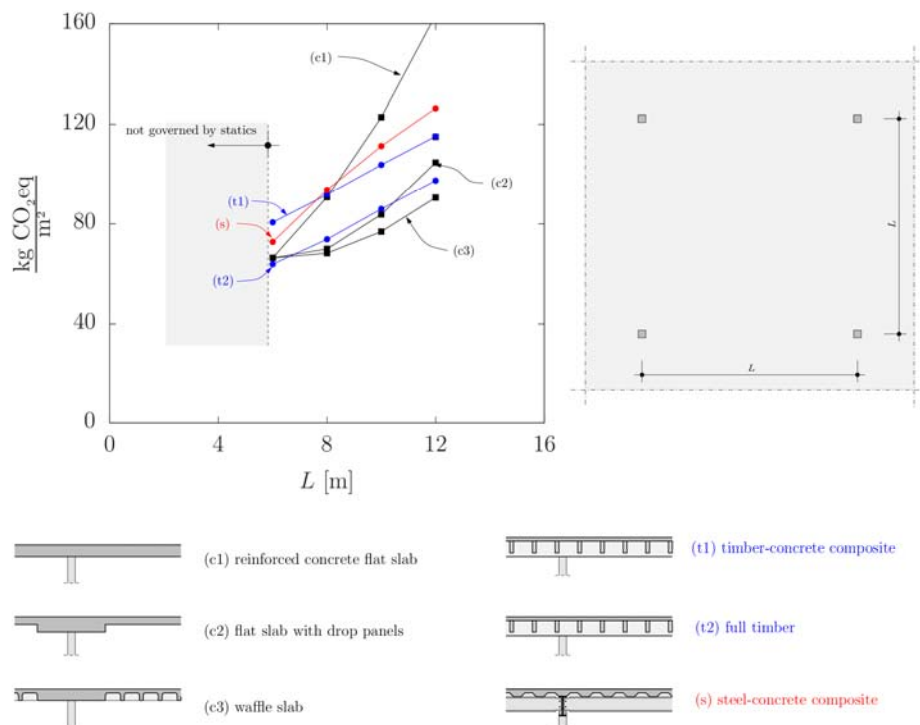
ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Motivação para a utilização de espessamento de laje (*drop panels*):

- Redução da quantidade de material utilizado e a associada produção de CO₂-eq



Para vãos médios ou grandes, a solução em laje fungiforme (curva c1) é muito ineficiente, enquanto a solução com espessamento de laje (curva c2) apresenta um impacto inferior.

A referida diferença em termos de impacto ambiental é devida à eficiência estrutural da tipologia referida (material somente onde é necessário).

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Fases dos ensaios:

- 1) Ação sísmica utilizando ensaios pseudo-dinâmicos utilizando uma estrutura primária virtual para dois níveis de ação sísmica (estados limites de serviço -Teste 1.1- e estados limites últimos -Teste 1.2-). Carregamento vertical aplicado através do peso próprio e de pesos adicionais colocados nas lajes.
- 2) Seguidamente, a estrutura será ensaiada para a ação gravítica e carregamento cíclico horizontal com aumento gradual da amplitude até próximo do colapso.

Aspetos inovadores deste projeto:

- 1) Inovadora combinação de material (betão com agregados grossos reciclados de betão) e conceção estrutural (lajes fungiformes com espessamento de laje) para um dimensionamento sustentável.
- 2) Os primeiros ensaios a nível mundial, pseudo-dinâmicos e cíclicos em lajes fungiformes construídas com BAGRB, que têm como objetivo estudar a resposta e comportamento ao punçoamento de lajes fungiformes construídas com BAGRB em modelos de grande escala.

CONFERÊNCIA

Novas abordagens sobre a temática do punçoamento em lajes fungiformes



ORDEM
DOS ENGENHEIROS
REGIÃO SUL



ANO DE
ENERGIA E
CLIMA

Obrigado!

Rui Marreiros

rpcm@fct.unl.pt

António Pinho Ramos

ampr@fct.unl.pt