

# SEISMIC PRECAST

Seismic Performance Assessment of Existing Precast Industrial Buildings and Development of Innovative Retrofitting Sustainable Solutions

A importância das perdas indiretas na avaliação do risco sísmico de estruturas industriais

POLITÉCNICO DE LEIRIA

Universidade de Aveiro

PORTO  
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA  
UNIVERSIDADE DO PORTO

Romain Sousa

Politécnico de Leiria

Avaliação sísmica de estruturas existentes pré-fabricadas de betão armado

Seminário de Encerramento do Projeto

## Motivação

- Sismos recentes mostraram uma elevada vulnerabilidade sísmica de edifícios pré-fabricados de BA, causando elevadas perdas diretas e indiretas



Rotula plástica



Efeito pilar curto



Ligação viga-pilar



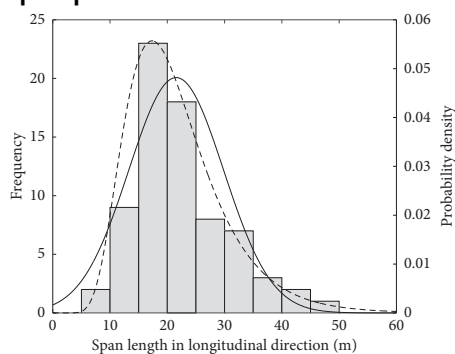
## Motivação

- Necessidade de avaliar o risco sísmico desta tipologia de edifícios em Portugal
  - 1 – Caracterização dos edifícios existentes
  - 2 – Análise do comportamento estrutural
  - 3 – Derivação de curvas de fragilidade sísmica
  - 4 – Estimativa do risco sísmico e identificação de medidas de mitigação
  - 5 – Avaliar perdas indiretas na economia

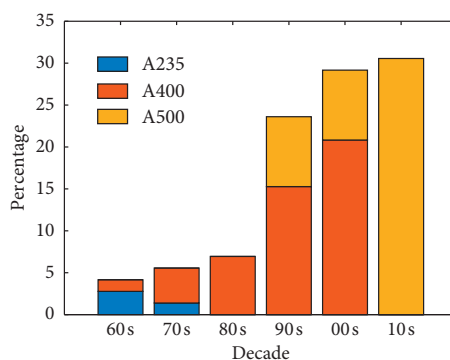


## Risco Sísmico

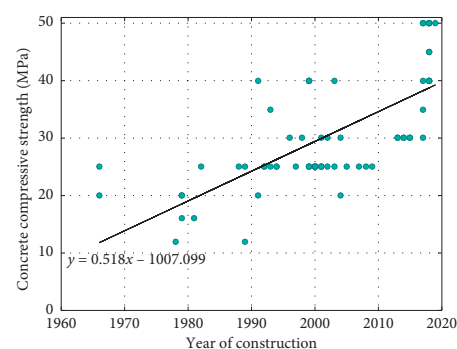
### Propriedades geométricas



### Propriedades mecânicas

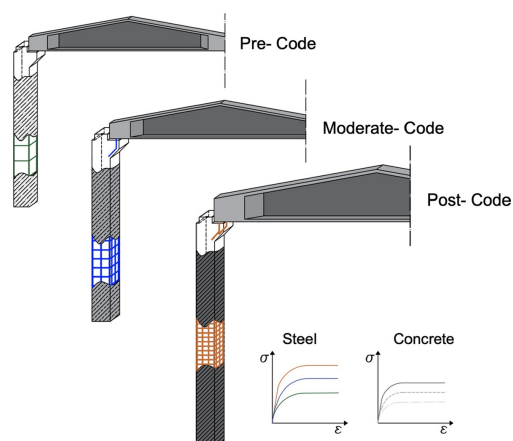
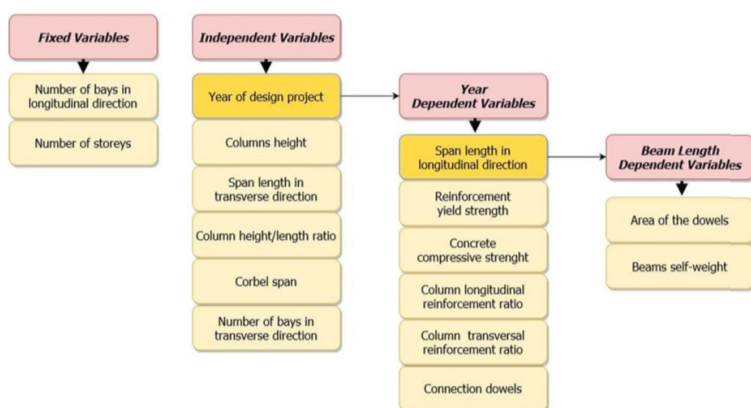


### Correlação entre



## Caracterização dos edifícios

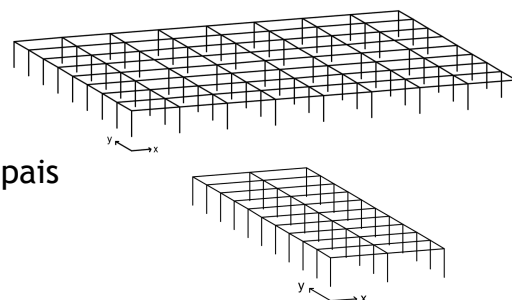
- Projeto simulado capaz de representar a evolução construtiva observada



## Comportamento estrutural

### Modelação numérica

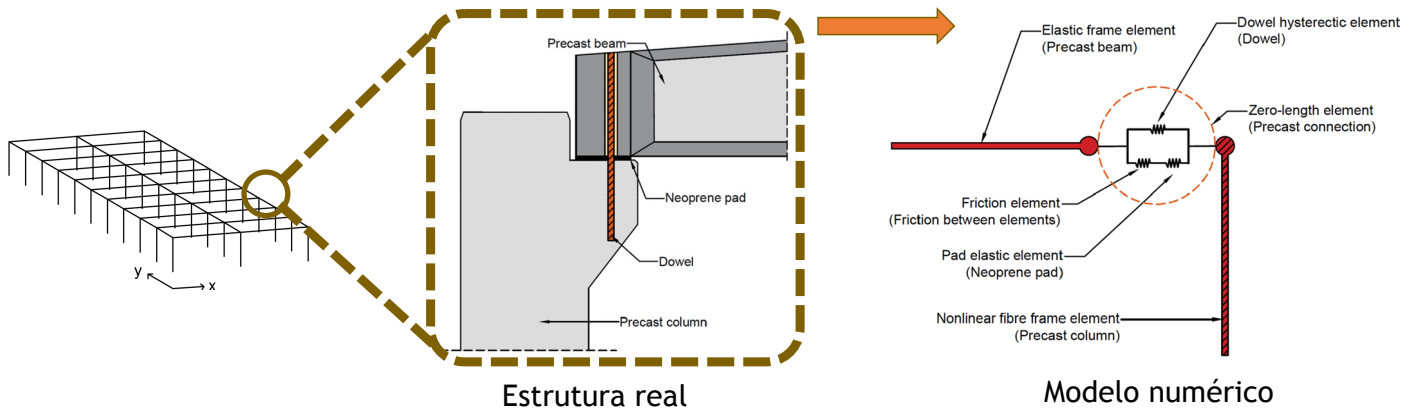
- Software: OpenSees
- 900 edifícios analisados nas duas direções principais
- Análises estáticas não-lineares
- Modelos 3D da estrutura
- Vigas: Elementos elásticos
- Pilares: Elementos com plasticidade distribuída (force-based)
- Betão: Modelo proposto por Kent-Scott-Park (Concrete 01)
- Aço: Modelo proposto por Menegotto & Pinto (Steel 02)
- Ligações viga-pilar → Macro-elemento desenvolvido pelos autores



## Comportamento estrutural

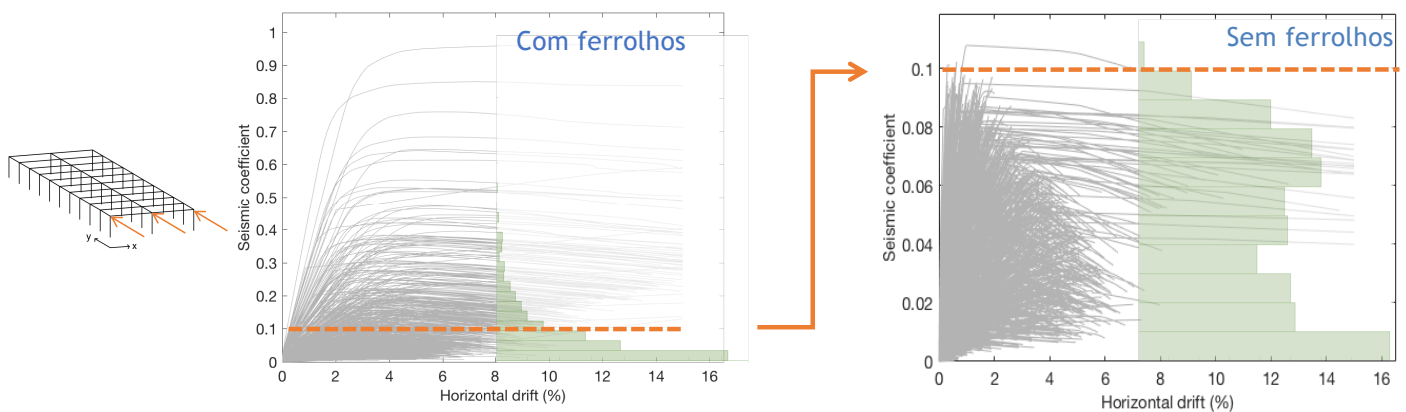
- Modelação ligação viga-pila

### Simulação explícita não-linear da ligação viga-pilar

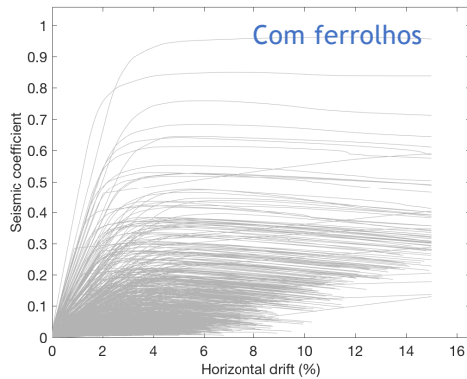


## Comportamento estrutural

- A resistência horizontal é fortemente dependente da presença de ferrolhos nas ligações viga-pilar

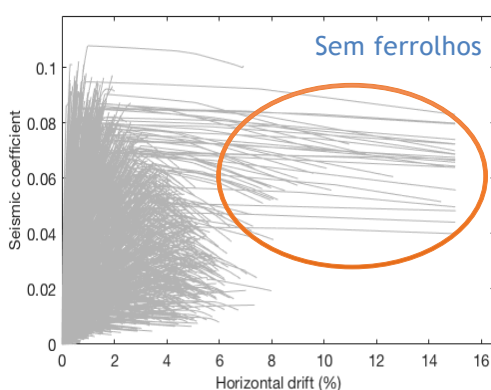


## Comportamento estrutural



- Na presença de ferrolhos:
  - É impedida a ocorrência de escorregamento ao nível da ligação viga-pilar (com ferrolhos convencionais,  $\approx 2\Phi 16$ )
  - Permite explorar a resistência horizontal dos pilares

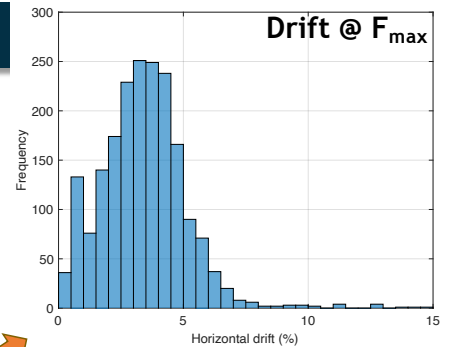
## Comportamento estrutural



- Na ausência de ferrolhos:
  - A rotura ao nível da ligação viga-pilar ocorre (apenas) cerca de 15% dos casos analisados
  - A resistência horizontal dos pilares é baixa devido à sua elevada esbelteza
  - Pela mesma razão, não é expectável a ocorrência de roturas por corte, excepto se houver irregularidades em altura

## Curvas de fragilidade

Estados limite - Preferência por critérios de deformação



Estrutural		
<i>Pilares</i>	Limitação de dano	60 % $F_{max}$
	Dano severo	redução 80 % $F_{max}$
<i>Ligações</i>	Limitação de dano	deslocamento relativo de 8 cm [22]
	Dano severo	deslocamento relativo de 3 cm [22]
Não estrutural		
<i>Painéis</i>	Limitação de dano	deslocamento relativo de 4 cm entre ligações de painel [22]
	Dano severo	deslocamento relativo de 1 cm entre ligações de painel [22]

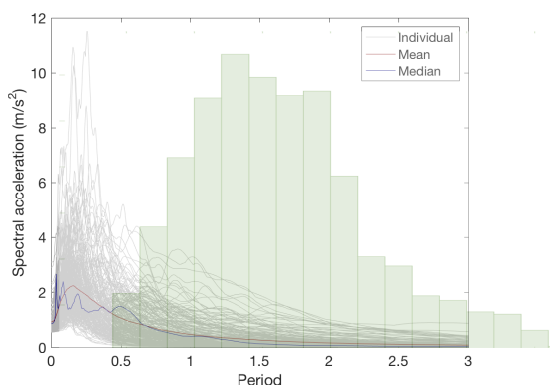
Dificuldade em estabelecer um limite mais fiável

[22] Cornali F, Belleri A, Marini A, Riva P (2017) Influence of modelling assumptions in the expected loss evaluation of a precast industrial building. Procedia Eng



## Curvas de fragilidade

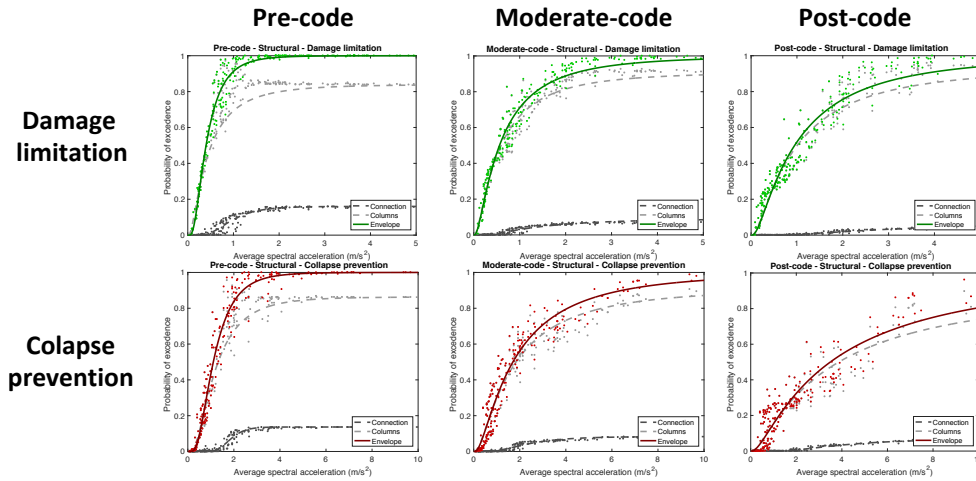
### • Ação sísmica



- 250 eventos registados na região do Mediterrâneo
- Escalados por 3.5 por forma a obter gama de acelerações compatíveis com as estruturas em análise
- Pontos de desempenho determinados de acordo com o Método N2 - Processo iterativo



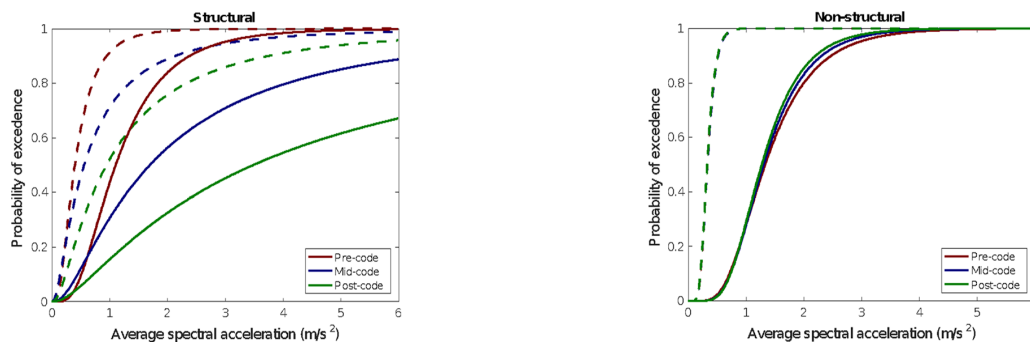
## Curvas de fragilidade



- Redução do número de roturas nas ligações viga-pilar com a época construtiva
- Elevada fragilidade para níveis reduzidos de aceleração espectral



## Curvas de fragilidade



- Fragilidade estrutural reduz significativamente no edifícios mais recentes

- A fragilidade não-estrutural é independente da época construtiva
  - a rigidez inicial dos edifícios permanece essencialmente inalterada



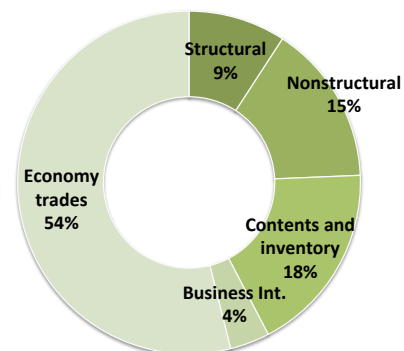
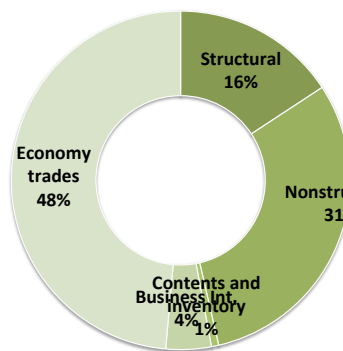
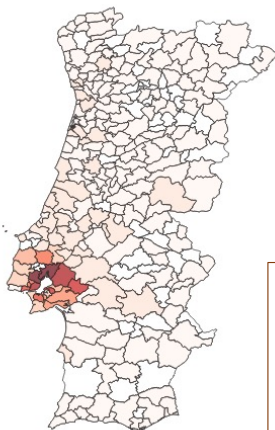
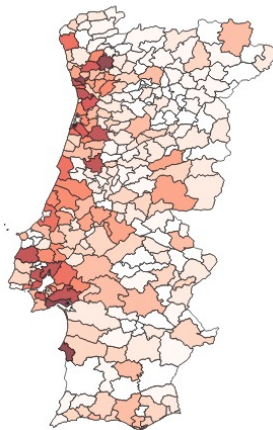
## Risco Sísmico

**Cenário offshore**  
0.7% PIB (1500M EUR)

**Cenário onshore**  
0.1% PIB (170M EUR)

Cenário offshore

Cenário onshore



- Cenário offshore com extenso mapa de perdas
- Perdas indiretas na mesma ordem de grandeza das diretas
- Perdas estruturais representam uma pequena fração do total

## Risco Sísmico



## Conclusões

- No seguimento do dano observado em sismos anteriores foram derivadas **curvas de fragilidade sísmica para edifícios pré-fabricados em Portugal**
- As análises numéricas demonstraram que é **esperada a ocorrência de dano estrutural e não estrutural para níveis relativamente baixos de aceleração espectral**
- A elevada esbelteza dos pilares conduz a **coeficientes sísmicos próximos de 0.1**
- A ausência de ferrolhos (mais comum em edifícios antigos) pode conduzir a **roturas ao nível da ligação viga-pilar em aproximadamente 15 % dos casos**

## Conclusões

- A estimativa de **perdas económicas é relativamente alta** tendo em conta que os edifícios prefabricados de BA representam apenas 12% do total do parque industrial Português
- As **perdas indiretas representam um valor próximo (ligeiramente superior) do estimado em termos de perdas diretas**
- As **perdas indiretas** podem afetar geografias distintas daquelas onde ocorrem as perdas diretas