



## AÇÃO DE FORMAÇÃO

Da Arquitetura à Engenharia – Desafios e boas práticas para a coordenação e integração de projetos | 2<sup>a</sup> edição

# Reforço Sísmico de Edifícios

soluções, melhoria na resposta e investimento associado  
*Edifícios de betão anteriores a 1983*

Miguel Sério Lourenço, JSJ Lda  
Rodrigo Teófilo, JSJ Lda

27 MAIO 2025

# Índice

**01** INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

**02** CASOS DE ESTUDO

**03** MODELOS DE ANÁLISE

**04** PRINCIPAIS RESULTADOS

**05** SOLUÇÕES DE REFORÇO

**06** CONCLUSÕES





01

# Introdução e Objectivos

# Motivação

- Como se pode melhorar a vulnerabilidade sísmica do parque habitacional existente?
- Como melhorar a sensibilização dos habitantes para o risco sísmico para poderem participar activamente?
- Reforço sísmico. Quais os custos e interferências com o dia-a-dia das pessoas?
- Será uma tarefa inatingível melhorar a segurança dos edifícios de habitação?

# Desafio

- As Estruturas não são um “pronto-a-vestir” é um “fato feito à medida”. Cada edifício tem um sistema estrutural único, logo isso conduz a uma enorme vastidão de soluções distintas a analisar.
- Como tipificar as soluções estruturais.
- Como sistematizar a informação e torna-la simples e perceptível.
- Como melhorar tudo o que já foi feito até hoje sobre risco sísmico e tentar dar algo que seja útil e que melhore essa informação.

# Ideias

- No início... não fazíamos ideia de como abordar o tema.
- Depois de vários fantásticos *brainstorm* surgiram as seguintes ideias:
  - Analisar alguns casos de estudo.
  - Permitir um faseamento de intervenção de reforço.
  - Associar cada intervenção a um custo estimado.
- Outras ideias para melhorar a sensibilização e informar adequadamente as pessoas serão sempre muito bem-vindas.

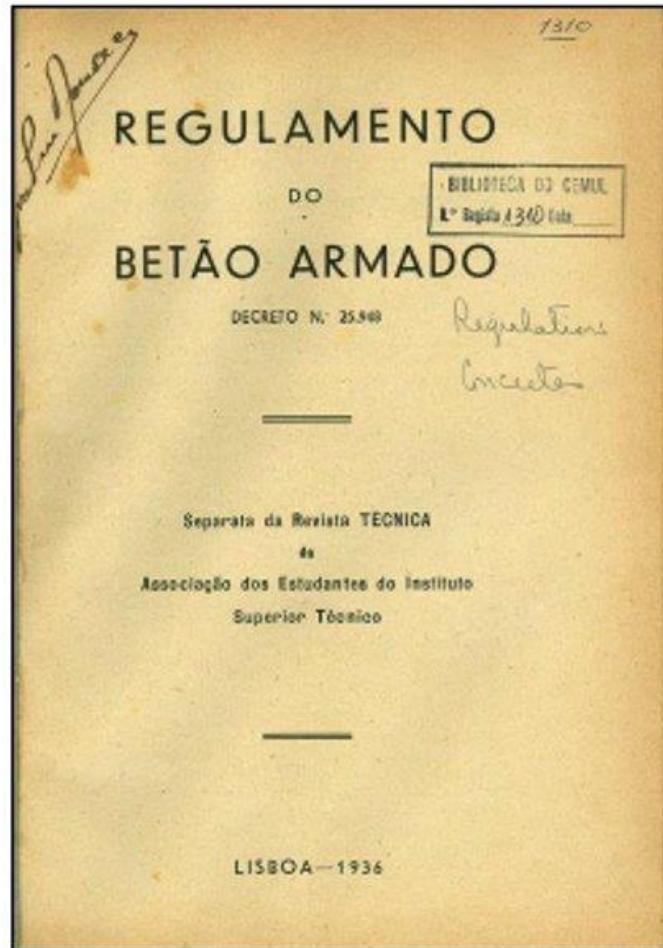


02

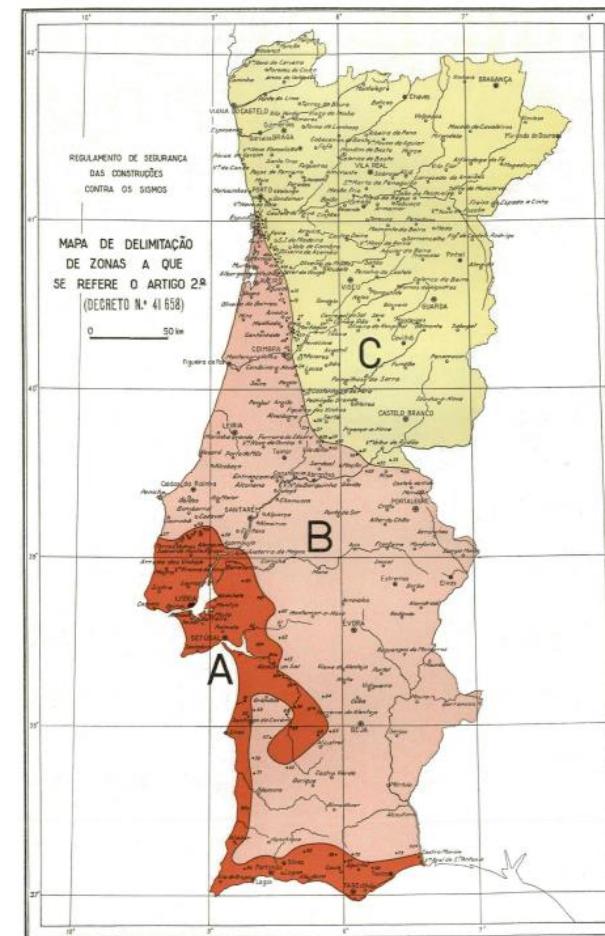
## Casos de Estudo

# Histórico da Regulamentação de Estruturas

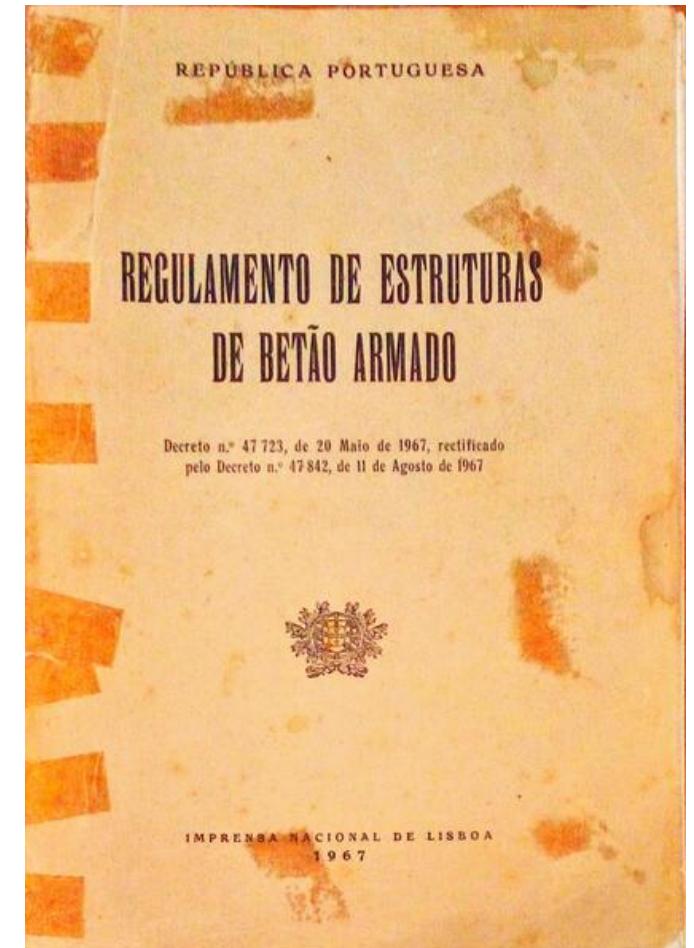
RBA  
1936



RSCS  
1958

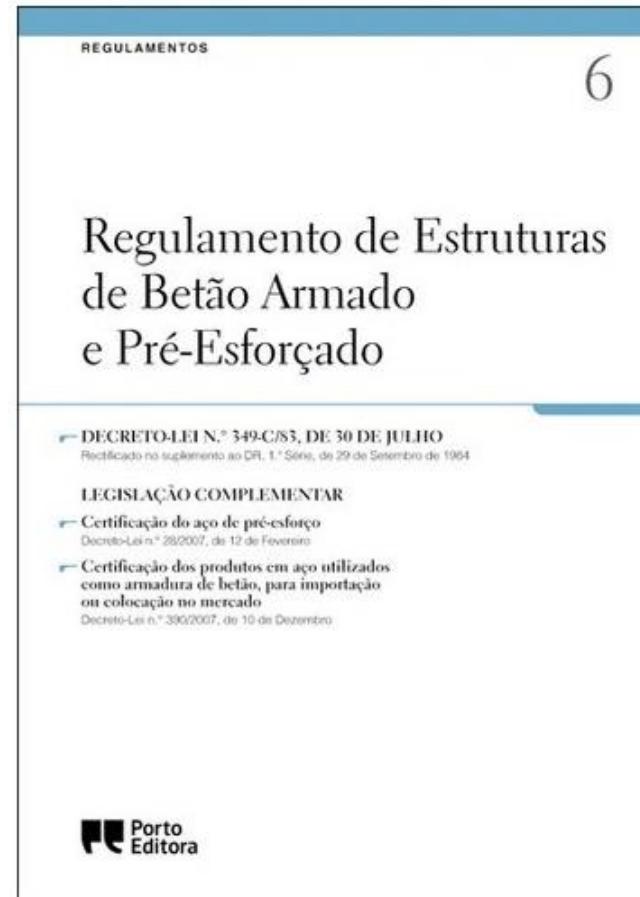


REBA  
1967



# Histórico da Regulamentação de Estruturas

- Só em 1983 surgiu uma actualização do regulamento antigo que se baseava numa filosofia de segurança semelhante à que temos actualmente (REBAP e RSA).



# Histórico da Regulamentação de Estruturas

- Actualmente estão em vigor as normas Europeias NP EN 1992-1-1 para edifícios de betão e NP EN 1998-1 para acção sísmica em edifícios novos e NP EN 1998-3 para edifícios existentes

## Norma Portuguesa

NP  
EN 1992-1-1  
2010

Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão  
Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios

Eurocode 2 – Calcul des structures en béton  
Partie 1-1: Règles générales et règles pour les bâtiments

Eurocode 2 – Design of concrete structures  
Part 1-1: General rules and rules for buildings

Info@ipq.pt - 20231219\_165705

## Norma Portuguesa

NP  
EN 1998-1  
2010

Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos  
Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios

Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes  
Partie 1: Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance  
Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

Info@ipq.pt - 20231229\_172044

## Norma Portuguesa

NP  
EN 1998-3  
2017

Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos  
Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios

Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes  
Partie 3: Evaluation et renforcement des bâtiments

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance  
Part 3: Assessment and retrofitting of buildings

Info@ipq.pt - 20231229\_172044

ICS  
91.010.30; 91.080.40

**DESCRITORES**

Bloco-estrutura de betão; edifícios; materiais de construção; cálculos matemáticos; betão armado; betão pré-estofrado; segurança; agregados; armaduras (construção civil); projeto estrutural; construção civil

**CORRESPONDÊNCIA**  
Versão portuguesa da EN 1992-1-1:2004 + AC:2008

**HOMOLOGAÇÃO**  
Termo de Homologação n.º 27/2010, de 2010-02-11  
A presente Norma resulta da revisão da

NP ENV 1992-1-1:1998

**ELABORAÇÃO**

CT 115 (LNEC)

**EDIÇÃO**

Março de 2010

**CÓDIGO DE PREÇO**

XEC066

ICS  
91.120.25

**DESCRITORES**

Eurocódigo; sismos; estruturas; estruturas resistentes aos sismos; fundações; resistência dos materiais; cálculos matemáticos; estabilidade; edifícios; betões

**CORRESPONDÊNCIA**  
Versão portuguesa da EN 1998-1:2004 + AC:2009

**HOMOLOGAÇÃO**  
Termo de Homologação n.º 73/2010, de 2010-03-23  
A presente Norma resulta da revisão das NP ENV 1998-1-1:2000, NP ENV 1998-1-2:2000 e NP ENV 1998-1-3:2002

**ELABORAÇÃO**

CT 115 (LNEC)

**EDIÇÃO**

Março de 2010

**CÓDIGO DE PREÇO**

XEC058

ICS  
91.120.25

**CORRESPONDÊNCIA**  
Versão portuguesa da EN 1998-3:2005 + AC:2013

**HOMOLOGAÇÃO**  
Termo de Homologação n.º 188/2017, de 2017-09-05

**ELABORAÇÃO**  
CT 115 (LNEC)

**EDIÇÃO**

2017-09-15

**CÓDIGO DE PREÇO**

XEC022

© IPQ reprodução proibida

Instituto Português da Qualidade

Rua António Góis, 2  
2625-113 CAPARICA PORTUGAL  
Tel. +351-212 948 100 Fax +351-212 948 101  
E-mail: ipq@mail.ipq.pt Internet: www.ipq.pt

Info@ipq.pt - 20231219\_165705

© IPQ reprodução proibida

Instituto Português da Qualidade

Rua António Góis, 2  
2625-113 CAPARICA PORTUGAL  
Tel. +351-212 948 100 Fax +351-212 948 101  
E-mail: ipq@mail.ipq.pt Internet: www.ipq.pt

Info@ipq.pt - 20231219\_172044

Instituto Português da Qualidade

Rua António Góis, 2  
2625-113 CAPARICA PORTUGAL  
Tel. +351-212 948 100 Fax +351-212 948 101  
E-mail: ipq@mail.ipq.pt Internet: www.ipq.pt

# Alguns Danos Estruturais Devido aos Sismos

- Piso vazado (soft storey)
- Colapso de elementos não estruturais
- Deformabilidade para acções horizontais – deslocamentos entre pisos elevados (inter-storey drifts)
- Mecanismos de rotura frágil
- Pilar forte – viga fraca

# Piso vazado (soft storey)

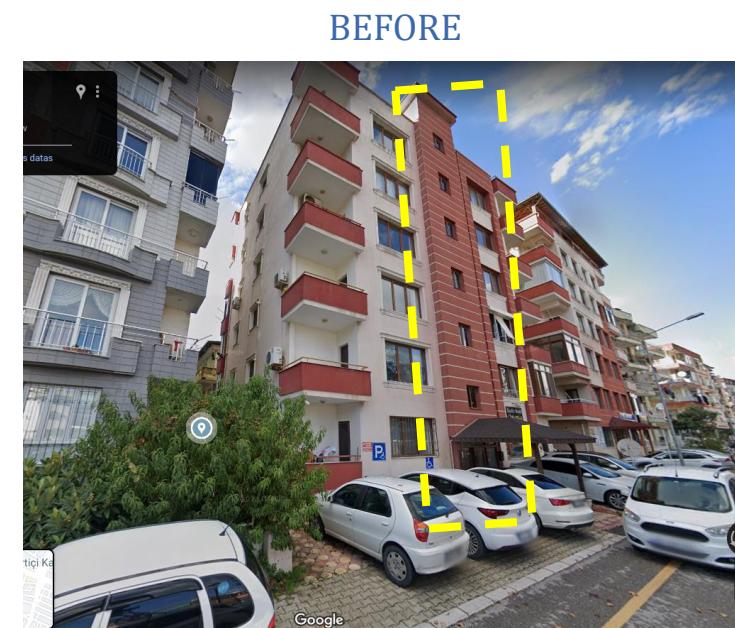
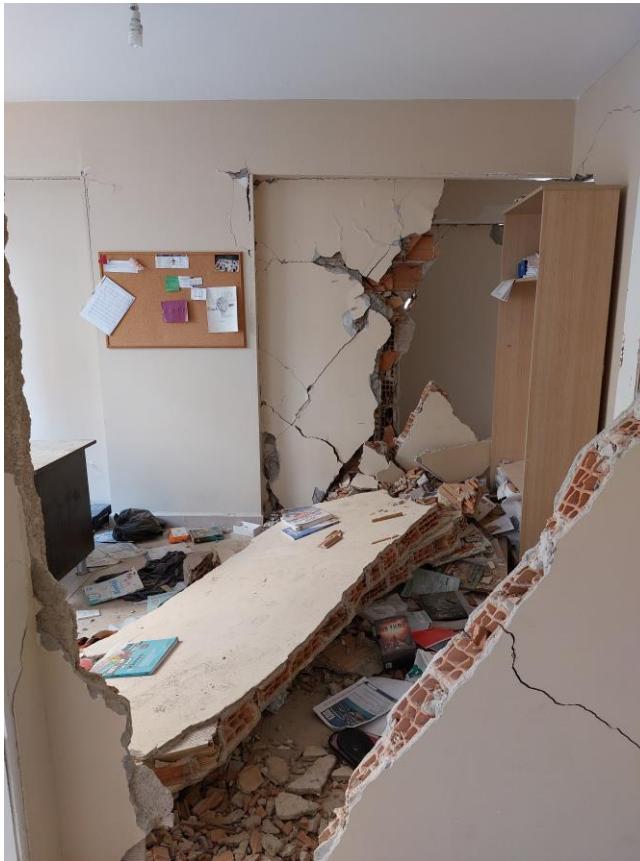
BEFORE



AFTER



# Colapso de elementos não-estruturais



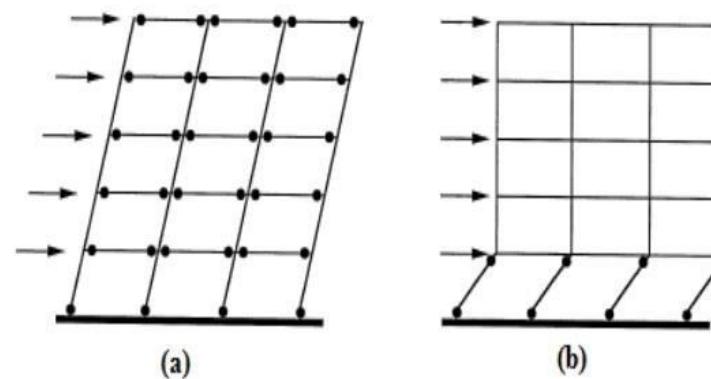
# Grandes deslocamentos entre pisos (inter-storey drift)



# Roturas frágeis



# Pilar forte – Viga fraca

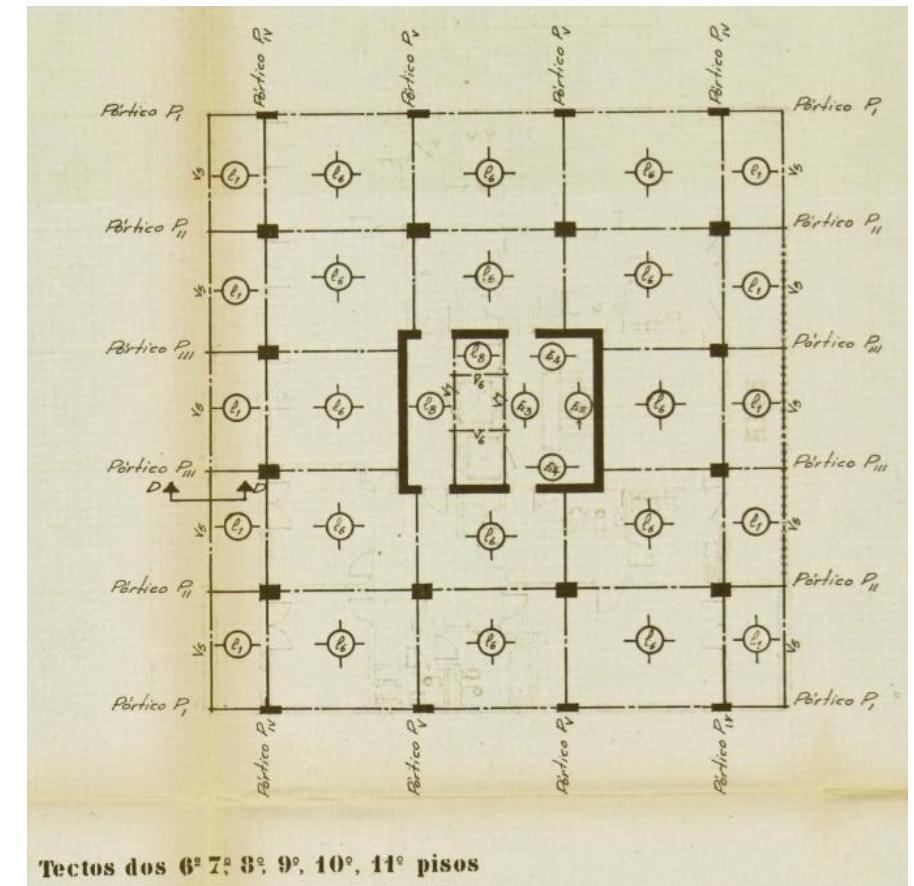


# Escolha dos Casos de Estudo

- Edifícios de habitação de grande porte (entre 8 a 14 pisos)
- Edifícios de habitação de médio porte (entre 4 a 8 pisos)
- Edifícios de habitação de pequeno porte (até 4 pisos)
- Edifícios com irregulares

# Escolha dos Casos de Estudo

- **Edifícios de habitação de grande porte (entre 8 a 14 pisos)**
  - Sistema misto pórtico-parede
  - Pilares e vigas robustas
  - Paredes nos acessos verticais
- **Principais vulnerabilidades**
  - viga forte - pilar fraco
  - núcleos com densidades de armaduras muito baixas.
  - mecanismos de rotação frágeis por esforço transverso.
  - efeitos de torção



# Escolha dos Casos de Estudo

- **Edifícios de habitação de grande porte (entre 8 a 14 pisos)**
- Exemplos



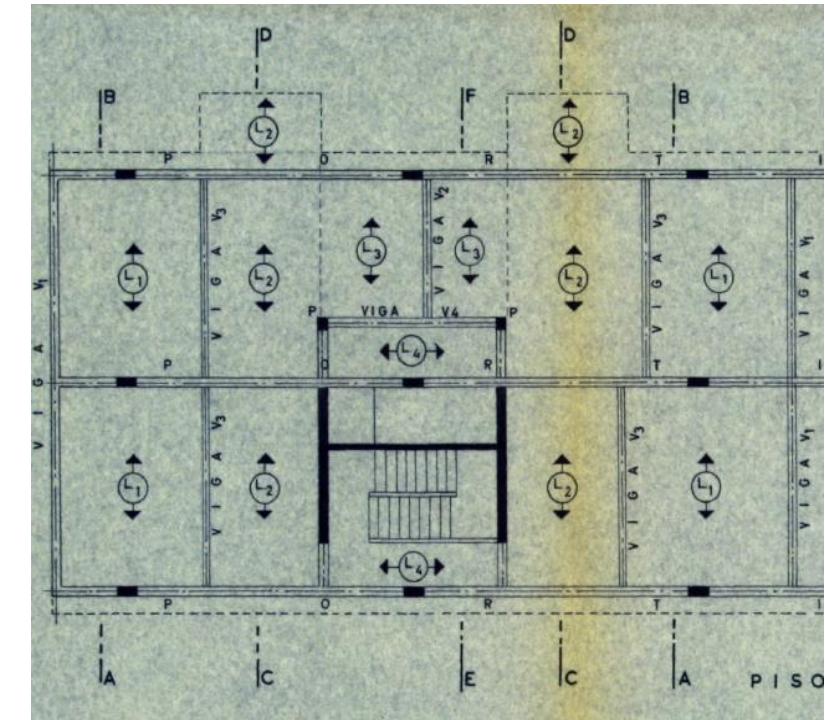
Avenida EUA



Torres do Restelo

# Escolha dos Casos de Estudo

- **Edifícios de habitação de médio porte (entre 4 a 8 pisos)**
  - Sistema misto pórtico-parede
  - Pilares e vigas menos robustos
  - Algumas paredes nos acessos verticais
  - Piso térreo “vazado” com interrupção das paredes de alvenaria
- **Principais vulnerabilidades**
  - viga forte - pilar fraco
  - núcleos com densidades de armaduras muito baixas.
  - mecanismos de rotura frágeis por esforço transverso.



# Escolha dos Casos de Estudo

- **Edifícios de habitação de médio porte (entre 4 a 8 pisos)**
- Exemplos



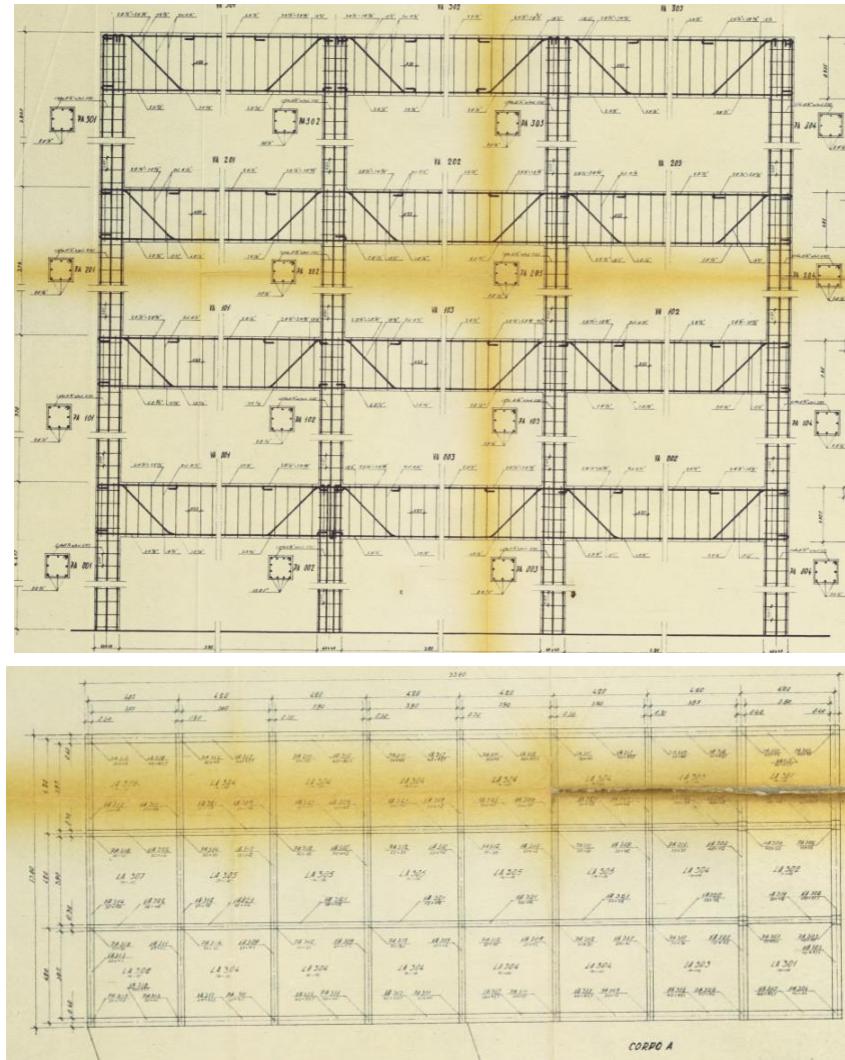
Bairro dos Olivais



Avenida Infante Santo

# Escolha dos Casos de Estudo

- **Edifícios de habitação de pequeno porte (até 4 pisos)**
  - Sistema pórtico
  - Pilares menos robustos que as vigas
  - Sem paredes estruturais
- **Principais vulnerabilidades**
  - viga forte - pilar fraco
  - soft storey
  - mecanismos de rotura frágeis por esforço transverso.
  - colapso de paredes de alvenarias
  - danos nas escadas entre pisos devido à grande deformabilidade.



# Escolha dos Casos de Estudo

- **Edifícios de habitação de pequeno porte (até 4 pisos)**
- Exemplos



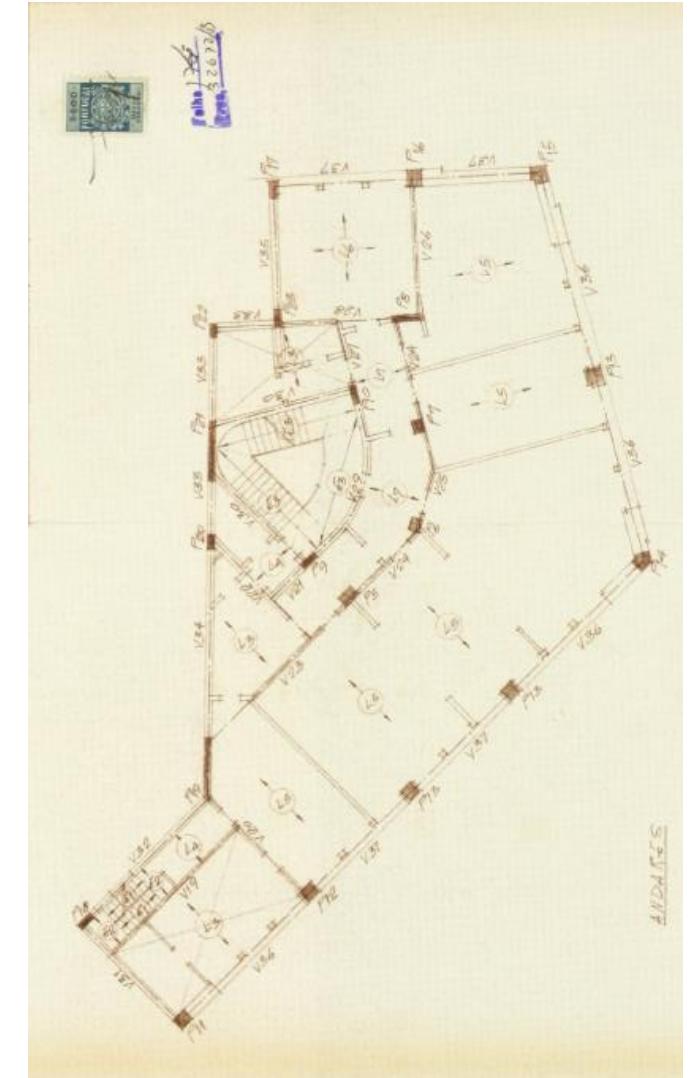
Bairro das “estacas”. Alvalade



Freguesia de Benfica

# Escolha dos Casos de Estudo

- **Edifícios de habitação com estrutura irregular**
  - Sistema pórtico
  - Pilares menos robustos
  - Sem paredes estruturais
- **Principais vulnerabilidades**
  - viga forte - pilar fraco
  - soft storey
  - mecanismos de rotura frágeis por esforço transverso.
  - colapso de paredes de alvenarias
  - danos nas escadas entre pisos devido à grande deformabilidade.



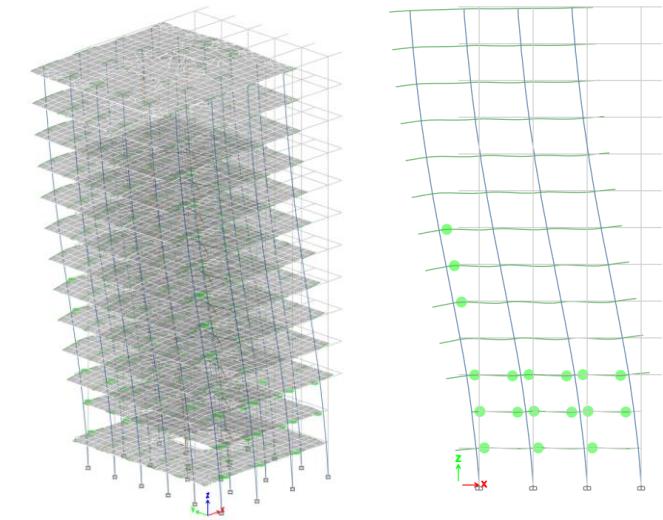


03

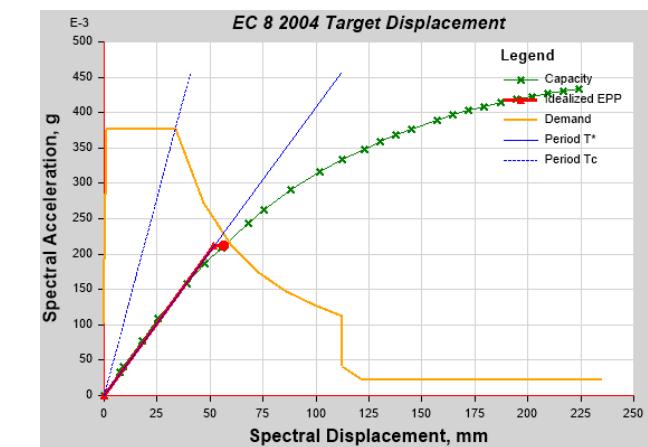
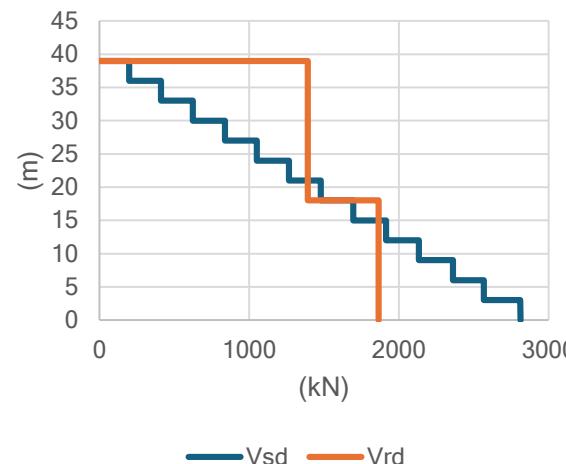
# Modelos de Análise

# Modelos de Análise

- Análise por controlo de deslocamento. Análises estáticas não-lineares do tipo pushover e aplicação do método N2 da NP EN 1998-3.
- Para edifícios irregulares: análise por espectros com limitação da rotação da corda (na rótula plástica) calculada pela NP EN 1998-3.
- Análise por verificação da resistência. Verificação do Esforço Transverso de acordo com a NP EN 1998-3.



Pushover X - Columns





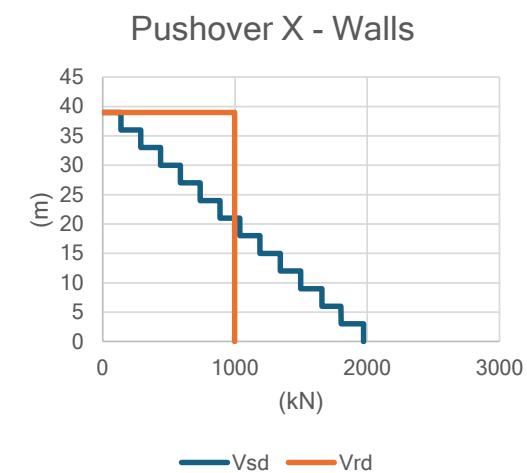
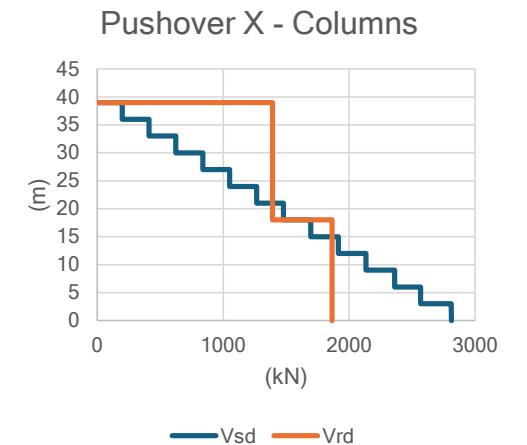
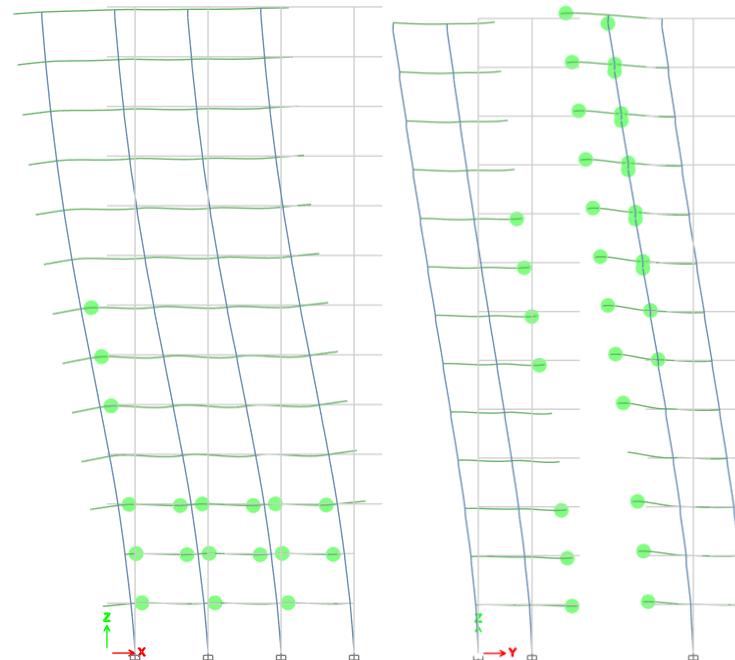
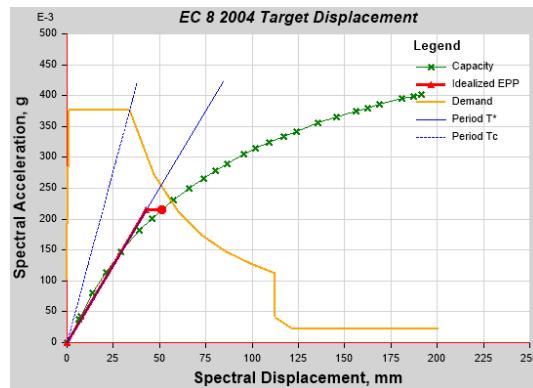
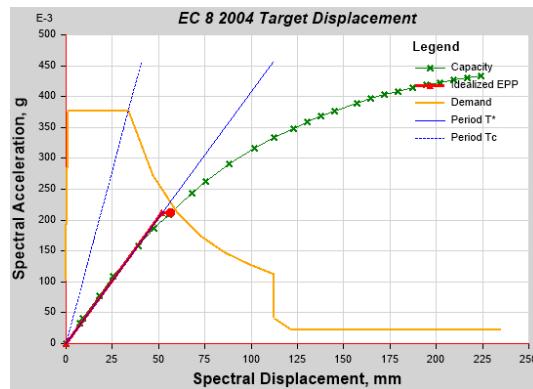
04

## Principais Resultados

# Principais Resultados

- Edifícios de habitação de grande porte (entre 8 a 14 pisos)**

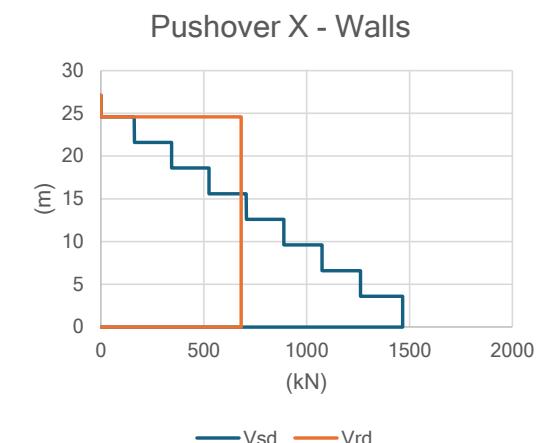
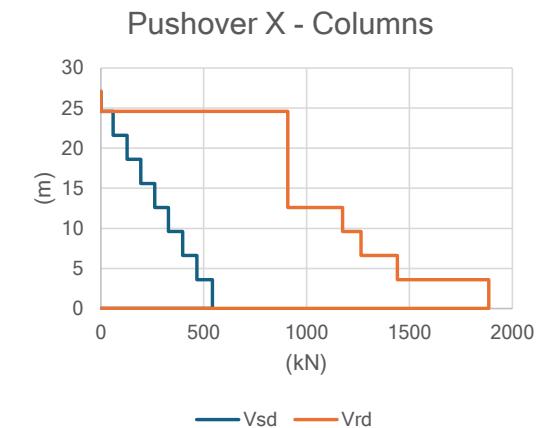
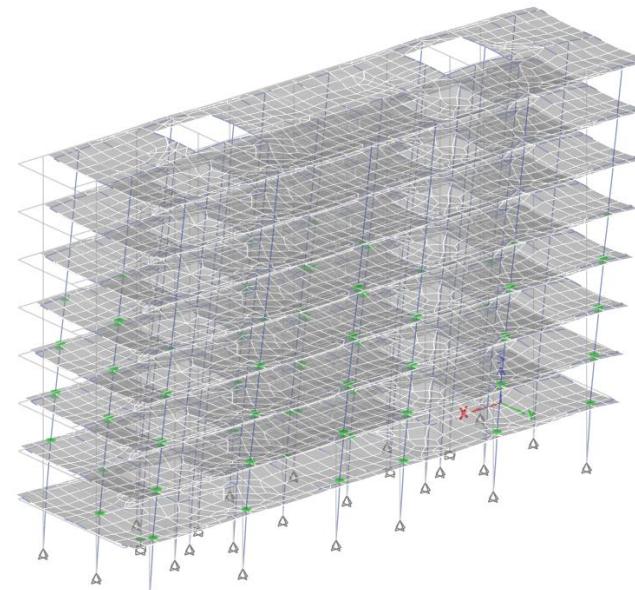
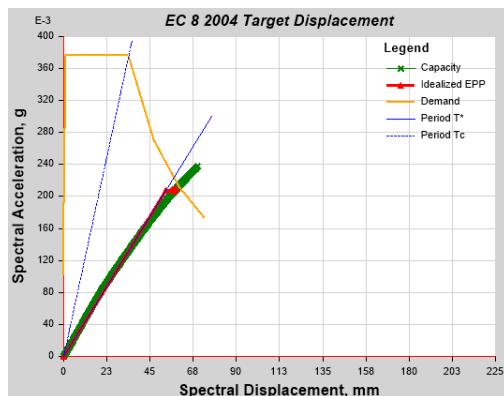
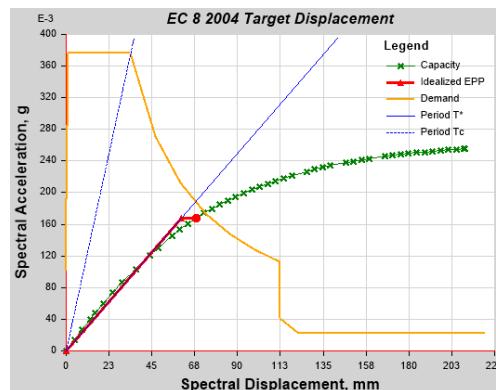
- Verificação da segurança à flexão nos pórticos
- Não verifica a segurança à flexão nas paredes
- Não verifica a segurança ao esforço transverso nos pilares e nas paredes



# Principais Resultados

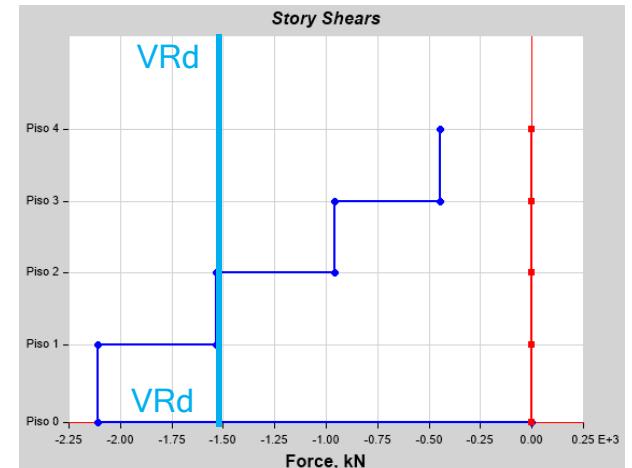
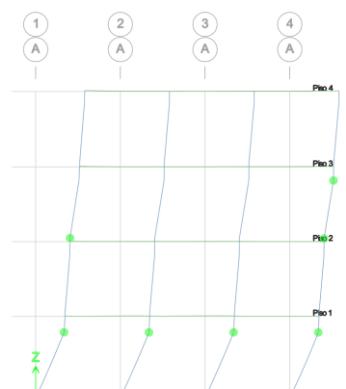
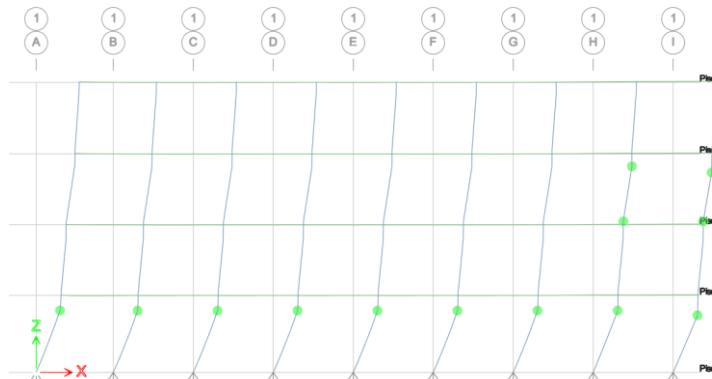
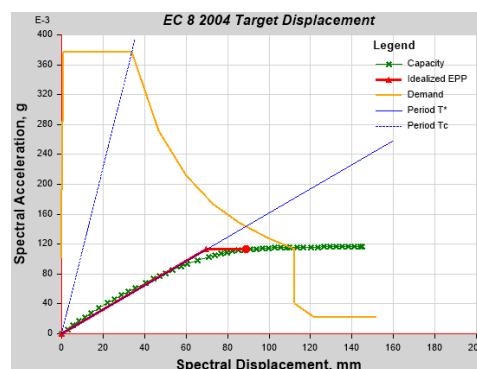
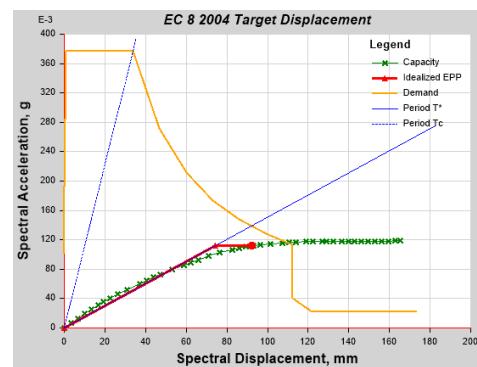
- Edifícios de habitação de médio porte (entre 4 a 8 pisos)**

- Verificação da segurança à flexão nos pórticos
- Não verifica a segurança à flexão nas paredes
- Não verifica a segurança ao esforço transverso nos pilares e nas paredes

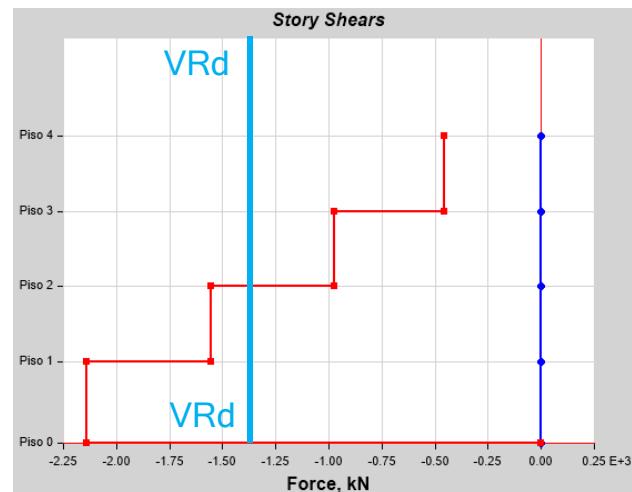


# Principais Resultados

- Edifícios de habitação de pequeno porte (menos de 4 pisos)**
  - Verificação da segurança à flexão nos pórticos
  - Não verifica a segurança ao esforço transverso nos pilares



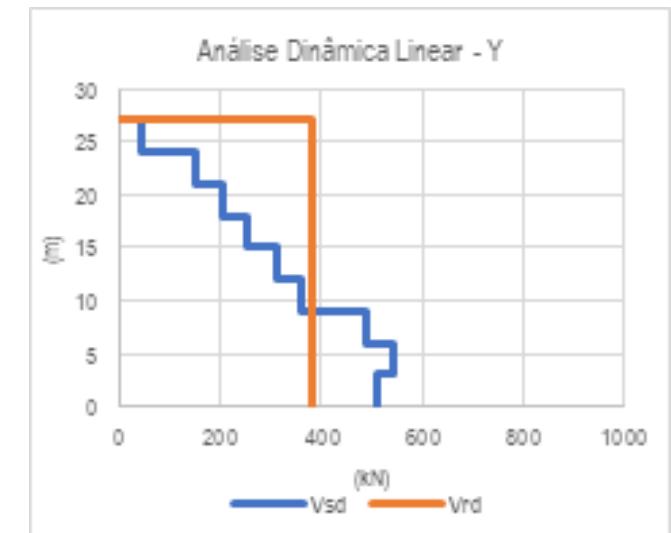
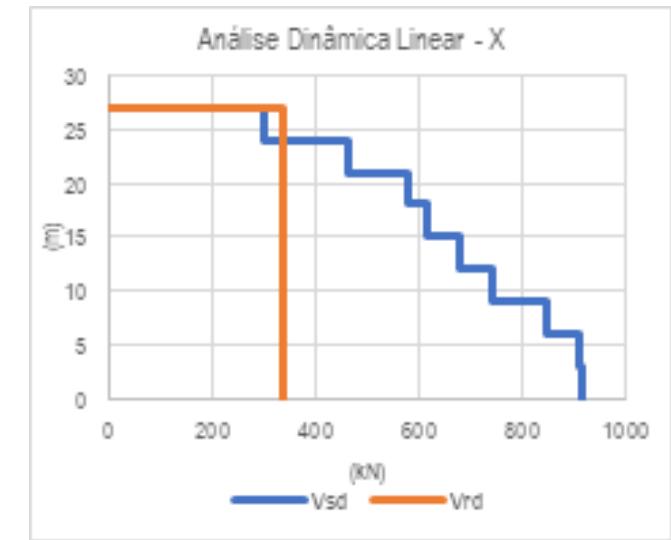
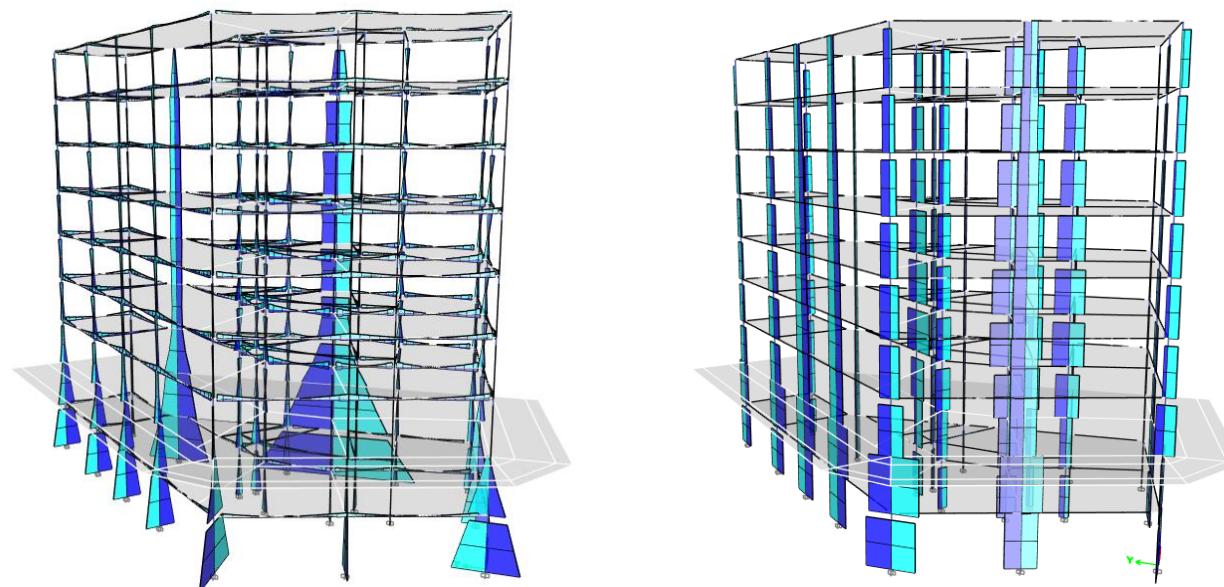
Esforço transverso, direção X



Esforço transverso, na direção Y

# Principais Resultados

- **Edifícios de habitação irregulares**
  - Verificação da segurança à flexão nos pórticos
  - Não verifica a segurança ao esforço transverso nos pilares



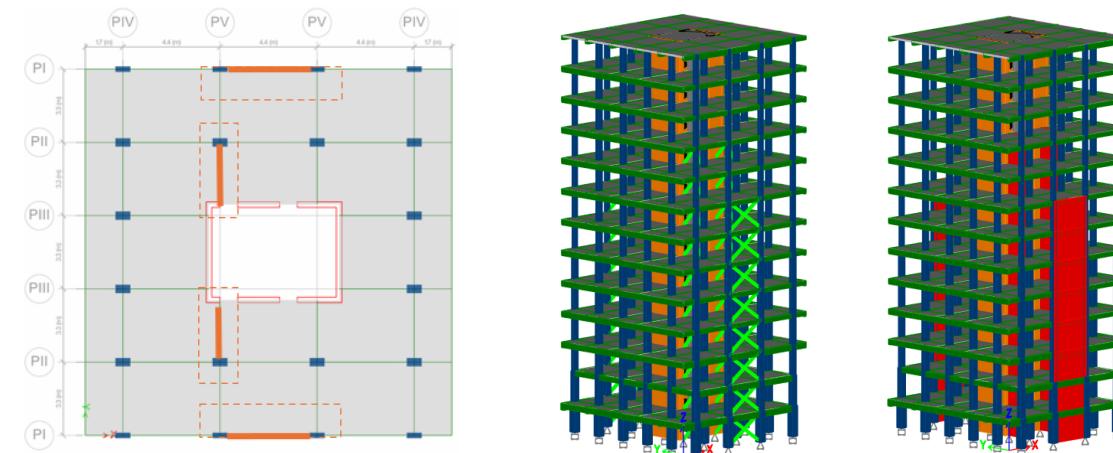


05

# Soluções de Reforço

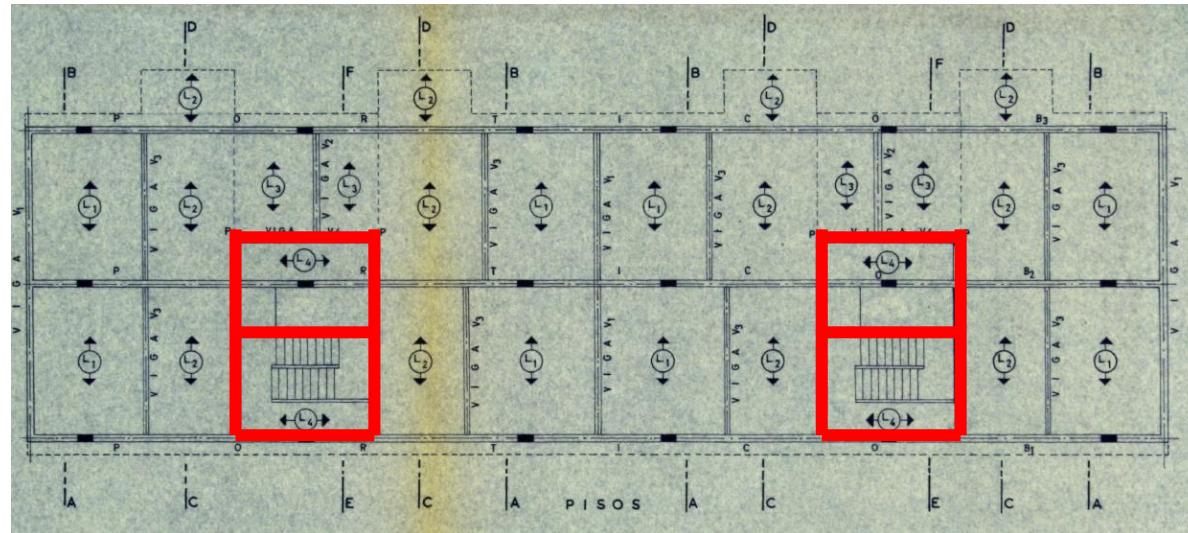
# Possíveis Soluções de Reforço

- **Edifícios de habitação de grande porte (entre 8 a 14 pisos)**
  - Privilegiar a intervenção nas zonas comuns de modo a reduzir o impacto nos habitantes.
  - Reforço dos núcleos até ao piso 6. Intervenção em zonas comuns.
  - Reforço de pilares até ao piso 8 ou introdução de novos elementos. Intervenção necessária no interior das fracções.
  - O reforço deverá sempre garantir uma variação de rigidez gradual em altura – pode ser necessário intervir em todos os pisos.
  - É sempre possível fasear a intervenção de reforço.
- **Custo aproximado do reforço da estrutura: 120 €/m<sup>2</sup> (por área bruta de construção)**



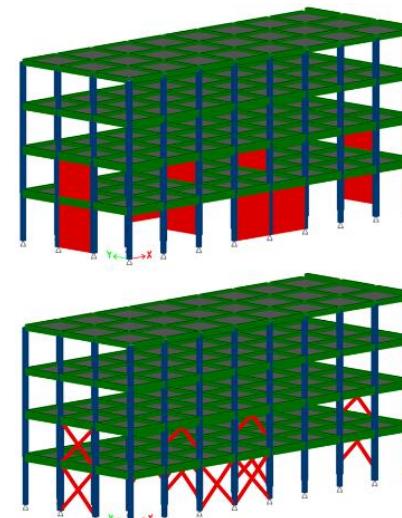
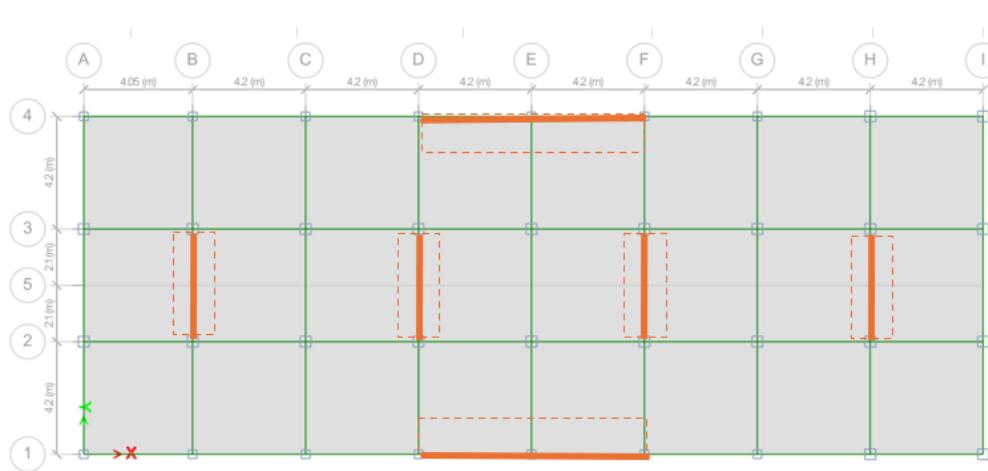
# Possíveis Soluções de Reforço

- Edifícios de habitação de médio porte (entre 4 a 8 pisos)**
  - Privilegiar a intervenção nas zonas comuns de modo a reduzir o impacto nos habitantes.
  - Reforço dos núcleos até ao piso 6. Intervenção em zonas comuns.
  - O reforço deverá sempre garantir uma variação de rigidez gradual em altura – pode ser necessário intervir em todos os pisos.
  - É sempre possível fasear a intervenção de reforço.
- Custo aproximado do reforço da estrutura: 100 €/m<sup>2</sup> (por área bruta de construção)**



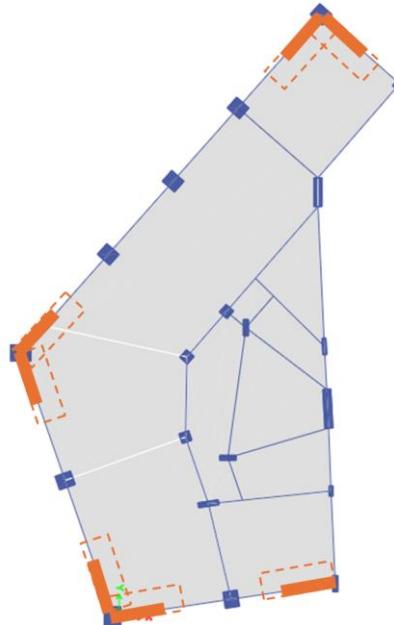
# Possíveis Soluções de Reforço

- **Edifícios de habitação de pequeno porte (até 4 pisos)**
  - Privilegiar a intervenção nas zonas comuns de modo a reduzir o impacto nos habitantes.
  - Introdução de paredes ou reforço dos pilares até ao piso 2. Intervenção em zonas comuns e fracções.
  - O reforço deverá sempre garantir uma variação de rigidez gradual em altura – pode ser necessário intervir em todos os pisos.
  - É sempre possível fasear a intervenção de reforço.
- **Custo aproximado do reforço da estrutura: 95 €/m<sup>2</sup> (por área bruta de construção)**



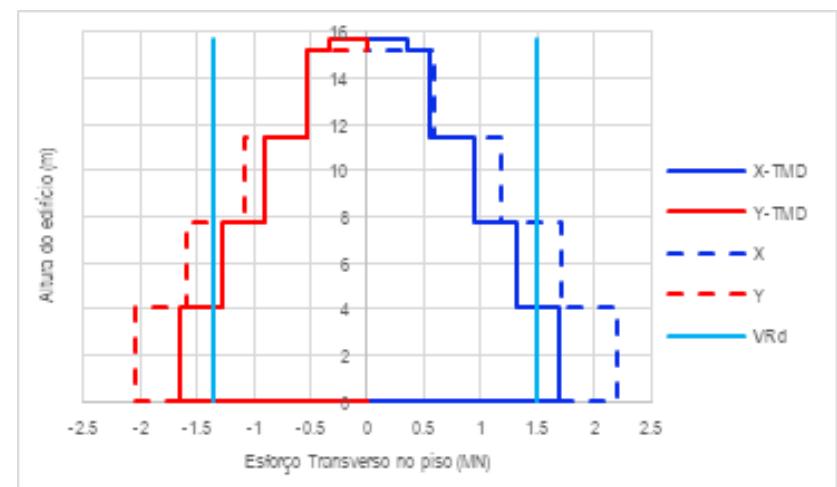
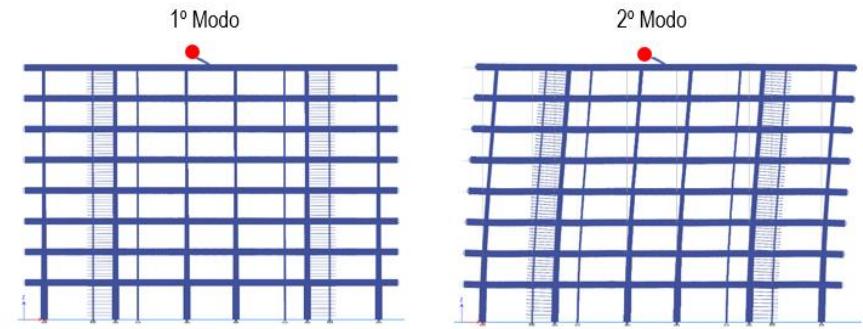
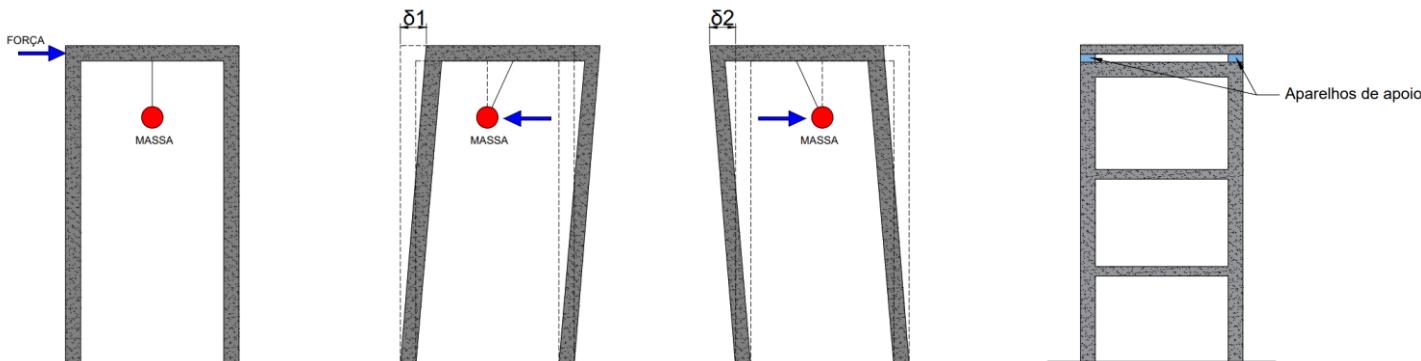
# Possíveis Soluções de Reforço

- **Edifícios de habitação irregulares**
  - Privilegiar a intervenção nas zonas comuns de modo a reduzir o impacto nos habitantes.
  - Reforço com novos elementos estruturais em todos os pisos no interior das fracções e nas zonas comuns.
  - É sempre possível fasear a intervenção de reforço.
- **Custo aproximado do reforço da estrutura: 140 €/m<sup>2</sup> (por área bruta de construção)**



# Possíveis Soluções de Reforço

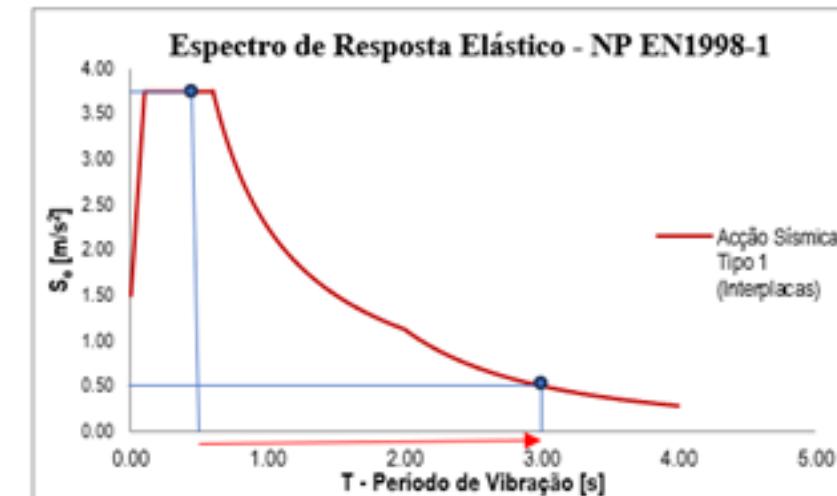
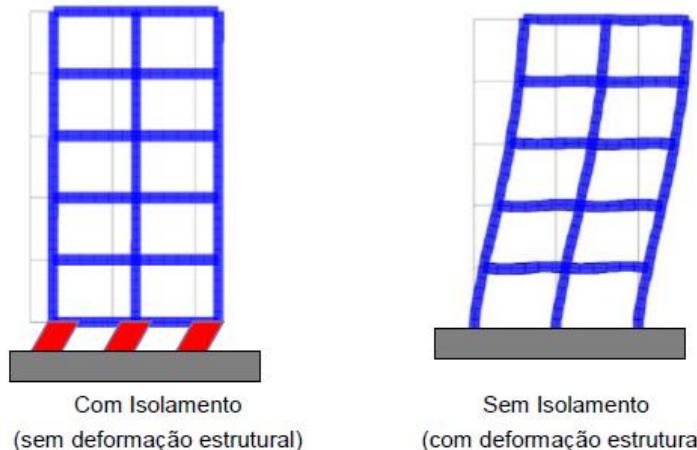
- **Soluções não-convencionais de Reforço Sísmico**
  - **Amortecedor de massa sintonizada** (tuned or liquid mass dumper - TMD)
  - Colocação de uma massa no topo do edifício calibrada para que oscile em oposição de fase com o edifício
  - Pode reduzir entre 10% a 20% a acção sísmica no edifício
  - Grande vantagem de ser uma intervenção muito pouco intrusiva
  - Em edifícios de pequeno porte, poderá ser suficiente o reforço do 1ºpiso em conjunto com o TMD para garantir a resistência ao sismo.
  - Poderá ter um custo aproximado de 65 €/m<sup>2</sup> de área bruta de construção



# Possíveis Soluções de Reforço

- **Soluções não-convencionais de Reforço Sísmico**

- **Isolamento de base**
- Colocação de aparelhos de apoio na base da estrutura para minimizar a transferência de acelerações do solo para o edifício.
- Pode reduzir entre 3 a 7 vezes a acção sísmica no edifício
- Grande vantagem de ser uma intervenção muito pouco intrusiva
- Poderá ter um custo aproximado de 180 €/m<sup>2</sup> de área bruta de construção, mas os custos de reposição do existente poderão ser muito mais reduzidos que uma solução de reforço convencional.





06

# Conclusões

# Conclusões

- Foram analisados 6 edifícios construídos entre 1958 e 1977.
- A resistência à flexão dos pilares é aceitável, mas as paredes apresentam densidades muito baixas de armaduras.
- Em geral, verifica-se uma insuficiência de armadura transversal, susceptíveis de colapsos frágeis.
- Edifícios de grande porte (8 a 14 pisos) o reforço poderá ter de ser mais abrangente e mais intrusivo.
- Edifícios de médio porte (4 a 8 pisos) poderá ser suficiente a intervenção nos núcleos reduzindo a interferência no interior das fracções.
- Edifícios de pequeno porte (até 4 pisos) o reforço do piso térreo e fundações (onde se poderão localizar zonas comerciais) poderá ser suficiente.
- Edifícios irregulares é imprescindível a intervenção em toda altura para introduzir novos elementos que reduzam as vulnerabilidades causadas pela irregularidade geométrica.
- Os custos poderão variar entre os 100€/m<sup>2</sup> e os 150€/m<sup>2</sup>.
- É possível fasear a intervenção sabendo que cerca de 40% a 60% do custo total representa ganhos de capacidade resistente superiores a 50%.
- A utilização de soluções não convencionais de reforço sísmico, isoladamente ou em conjunto com soluções tradicionais, poderá ser uma opção viável.
- Foram apenas analisados 6 edifícios, não sendo uma amostragem estaticamente grande para generalizar as conclusões.
- Cada edifício deverá ter uma análise independente, sendo este estudo apenas uma referência geral.

Obrigado pela Vossa atenção!