



LISBOA RESILIENTE AOS SISMOS

CICLO DE FORMAÇÃO

Lições Professor João Appleton

Projeto de reforço sísmico de estruturas de alvenaria

Alexandre A. Costa

alexandre.costa@ncrep.pt



10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- Alvenarias existentes
- Inspeção e diagnóstico
- Danos provocados por sismos
- Análise e verificação: análise fora-do-plano

11 outubro:

- Verificação global: análise no plano
- Reforço sísmico: técnicas e abordagens
- Casos práticos

Apresentações convidadas

- **14h30: Paolo Morandi (EUCENTRE, Itália)**
 - Seismic assessment and retrofit solutions on masonry buildings: from research to real applications
- **15h15: Dmytro Dizhur (Dizhur Consulting, Nova Zelândia)**
 - Retrofit of masonry structures. The experience in New Zealand
- **16h00: Pausa para café**
- **16h30: Daniele Dozio (ARUP Italy, Itália)**
 - Seismic assessment and retrofit of the historical masterpiece Procuratie Vecchie in Venice



Avaliação de conhecimentos

Dúvidas ReSist (só hoje)



935 192 157

Para jogar este teste

1. Usar qualquer dispositivo para abrir

joinmyquiz.com



2. Digite o código de participação

5 2 0 9 3 9





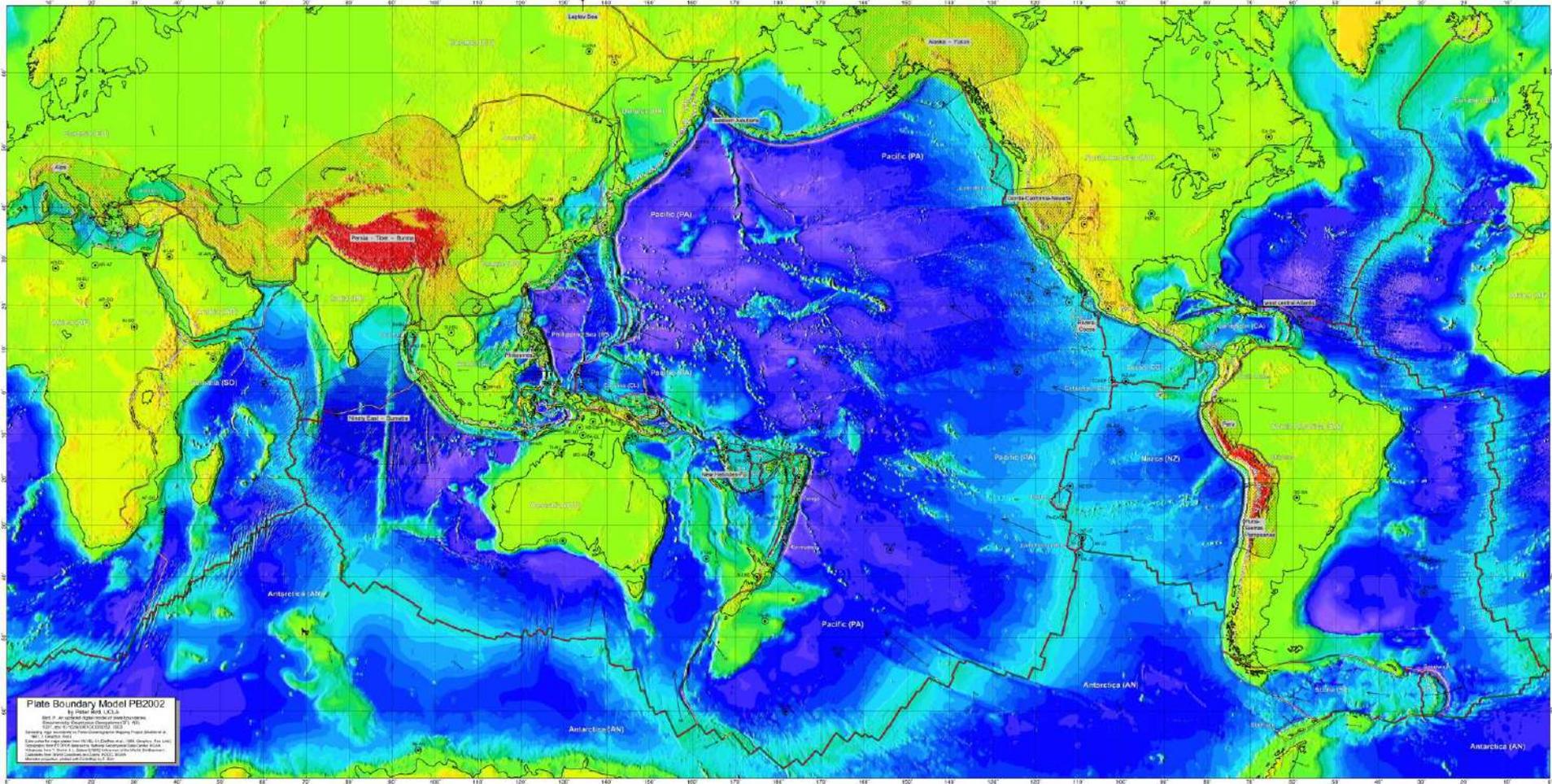
AS PLACAS TECTÓNICAS EXISTEM...

(Sichuan, China, 2008)

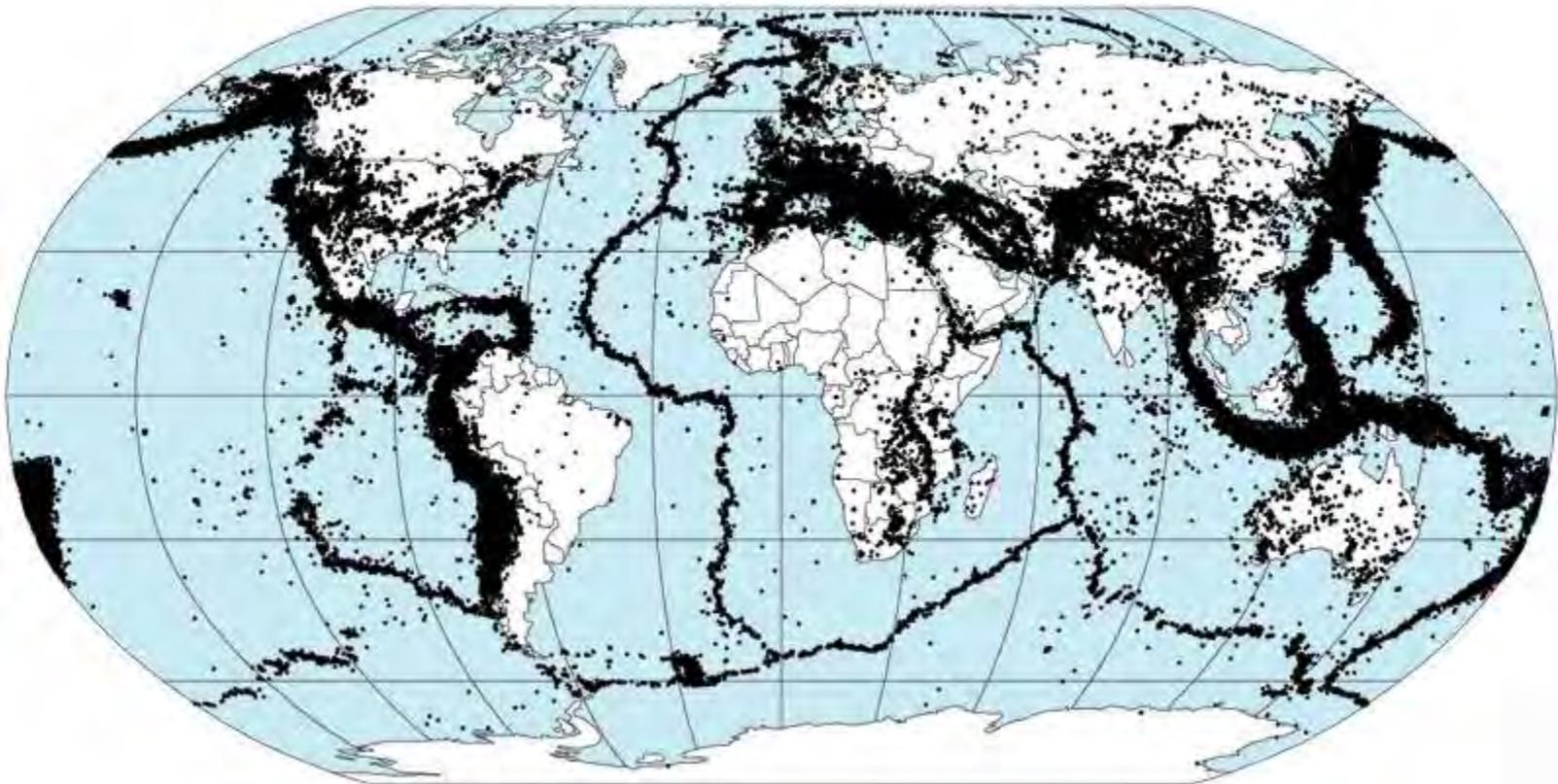




Introdução

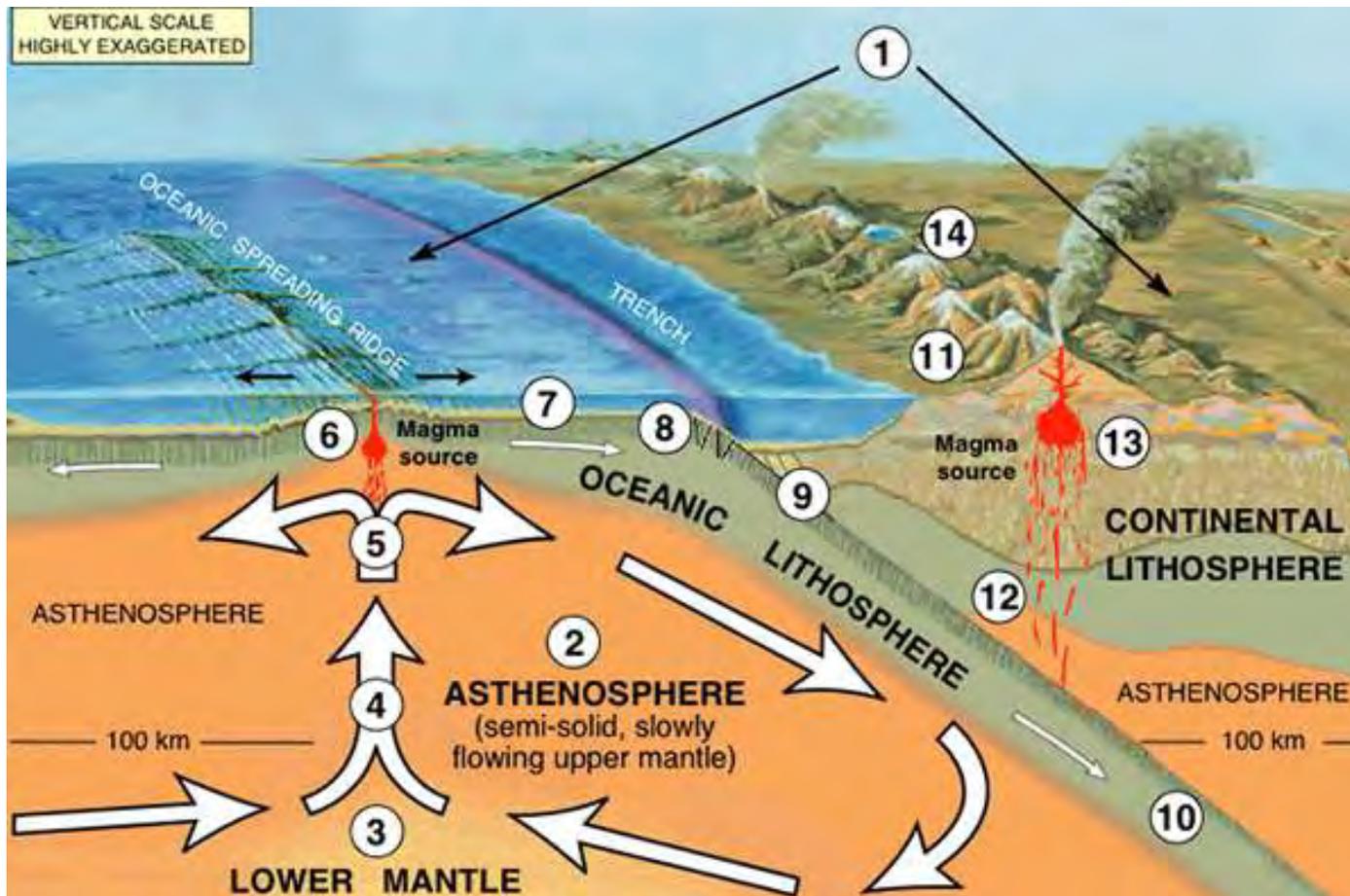


Preliminary Determination of Epicenters 358,214 Events, 1963 - 1998





- Conceitos base de sismologia



Fonte: USGS

- Um sismo é produzido pelo movimento relativo dos lados adjacentes de uma falha tectónica
- Caso a rotura seja grande o suficiente para chegar à superfície, estes movimentos são observáveis à superfície

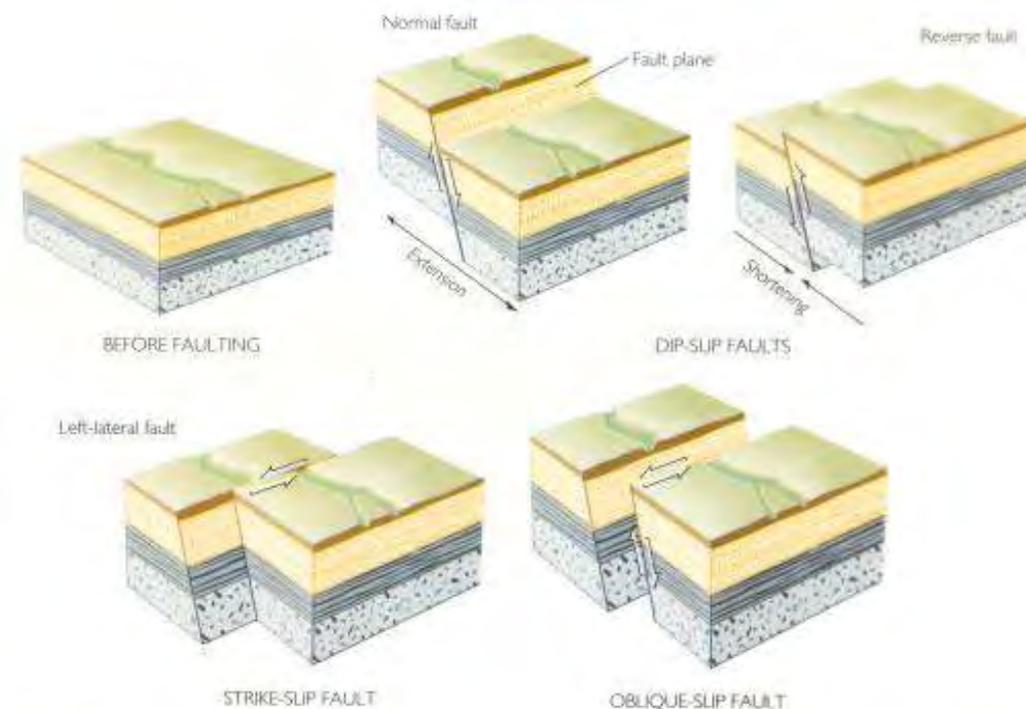


Figure 10.22
Press and Siever: *Understanding Earth*

Copyright © 1990 W.H. Freeman and Company
OHET 54

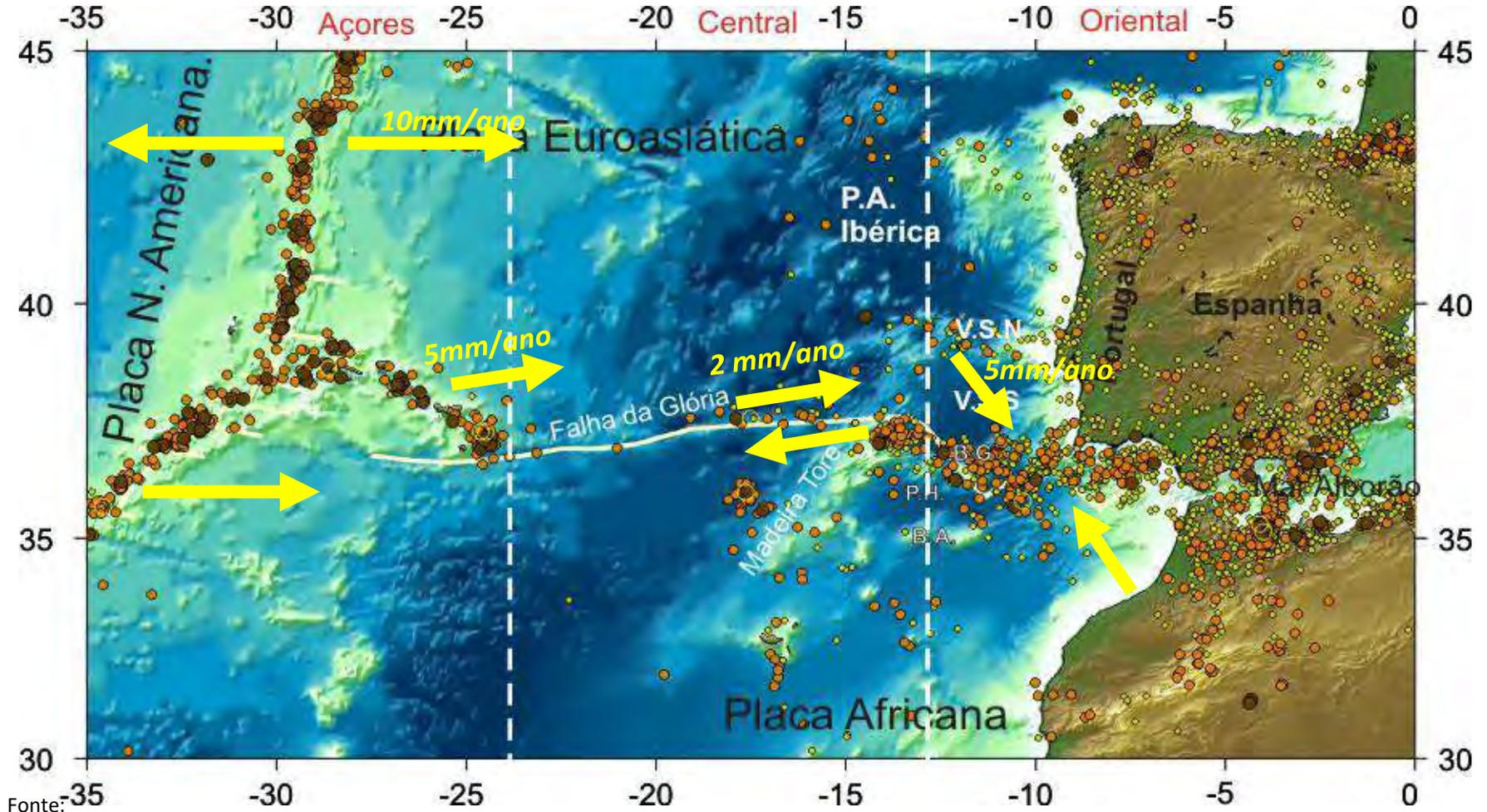


1999 Chichi, Taiwan Earthquake (Mw 7.7)

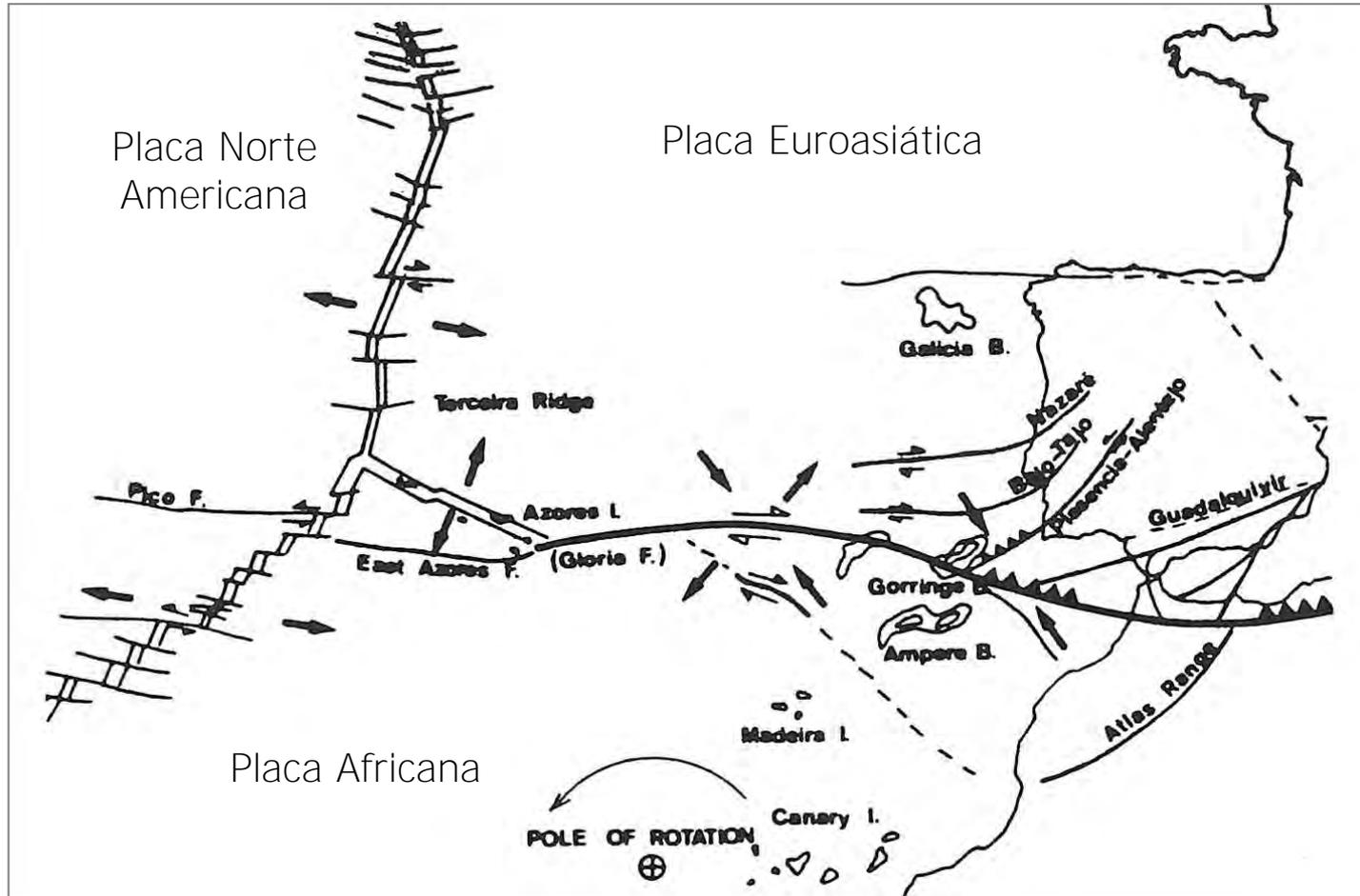


1906, San Francisco (Mw 7.9)

- Tectónica de placas



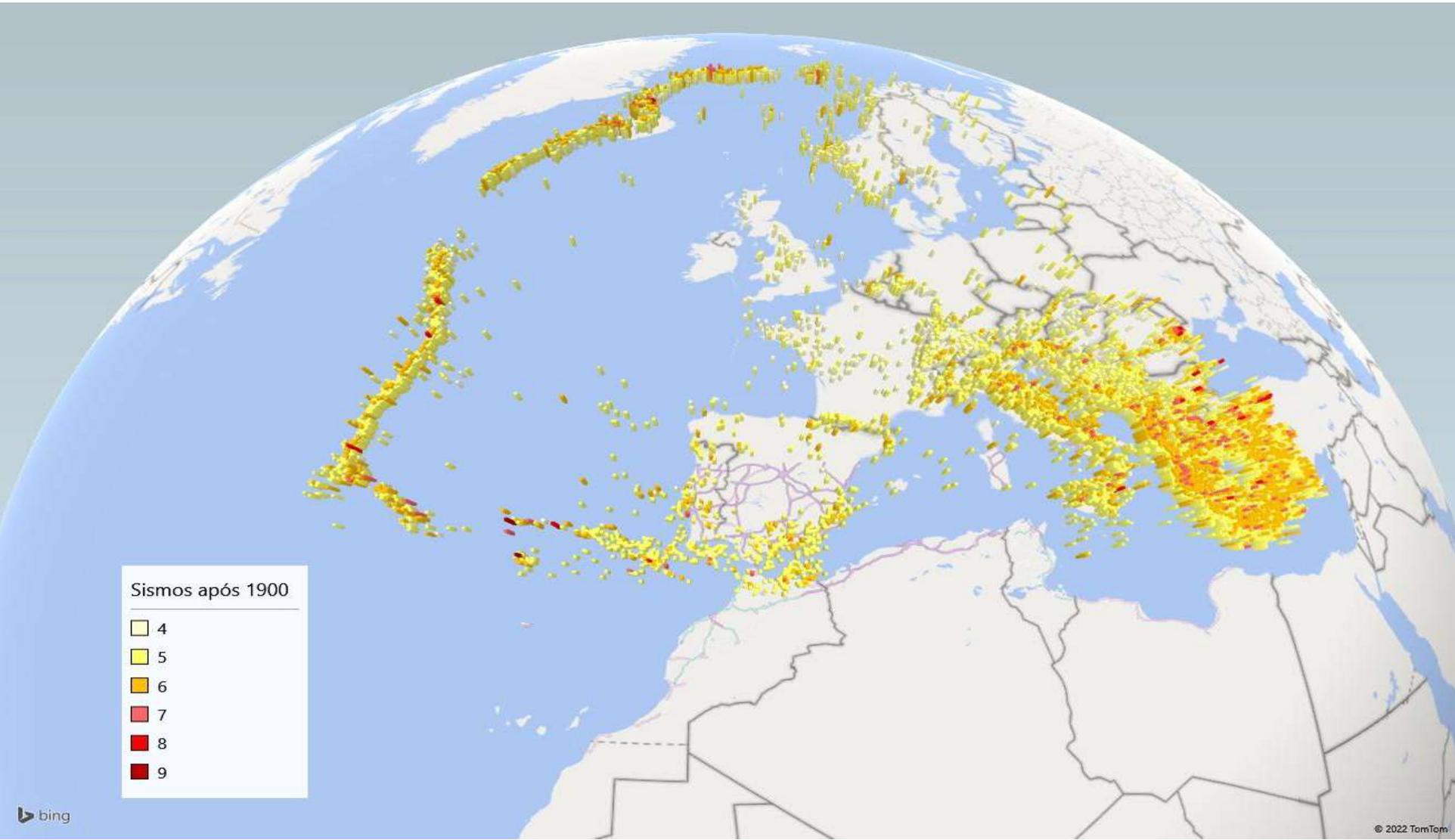
Alexandra Carvalho, Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas (NESDE), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa



Fonte:

Alexandra Carvalho, Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas (NESDE), Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

Sismicidade instrumental



- Acção sísmica (Portugal) pode-se dividir em:

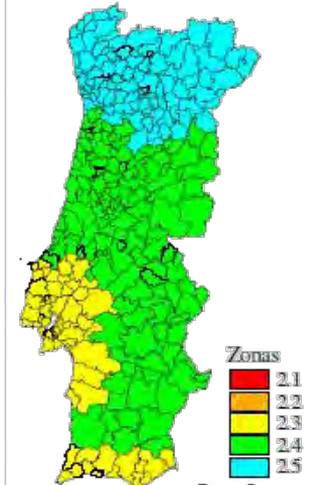
Sismos afastados (interplacas)

- Magnitude > 7.0 ; profundidade elevada; Duração: > 30 segundos.
- Ex.: Tohoku, Japão, 11 Março 2011 (magnitude 9.0);
Sumatra, Indonésia, 26 Dezembro 2004 (magnitude 9.1).



Sismos próximos (intraplacas)

- Moderada magnitude ($5.0 < M_w < 7.0$); muito superficiais; curta duração (10 – 15 segundos);
- Ex.: Faial-Pico, 9 Julho 1998 (magnitude 6.0)
L'Aquila, Itália, 6 Abril 2009 (magnitude 6.3);
Lorca, Espanha, 11 Maio 2011 (magnitude 5.1);





ausência
licenciamento

arquitectura

investimento

segurança sísmica

térmica

custo €

avac

segurança contra
incêndios

segurança
estrutural

sustentabilidade

qualidade ar
interior

acústica

redes
prediais

prazo obra

acessibilidades



perigosidade sísmica

representa o perigo potencial de sismos na região



vulnerabilidade sísmica

representa o potencial de dano de uma estrutura para um sismo de uma certa severidade



vulnerabilidade sísmica



vulnerabilidade sísmica



exposição/perdas



exposição/perdas



exposição/perdas

Risco:
Perigosidade
Vulnerabilidade
Exposição





Foto: L'Aquila, Itália, 2009

Cliente 1

Tenho um **edifício antigo de família**
e quero reabilitar para **habitação própria**
permanente



Rua do Almada, Residencial
Porto (2011)



Cliente 1

Tenho um **edifício antigo de família**
e quero reabilitar para **habitação própria permanente**



Rua do Almada, Residencial
Porto (2015)



caracterização estrutural com **inspeção e diagnóstico**

reforço sísmico

com **técnicas simples**

percepção do risco sísmico

Antes 2019 **negligenciável**

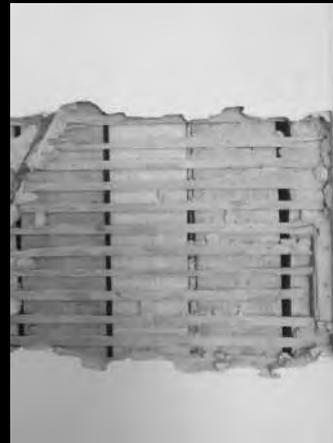
redução do risco sísmico

Após 2019 **obrigatória**

mitigação do risco sísmico

Cliente 2

Sou um **investidor** e quero capitalizar ao máximo o investimento **curto período** com **alta** rentabilidade para **alojamento local**



Residencial / alojamento local
Lisboa (2017)

Cliente 2

Sou um **investidor** e quero capitalizar ao máximo o investimento **curto período** com **alta** rentabilidade para **alojamento local**



caracterização estrutural com **inspeção e diagnóstico**

reabilitação incluindo
“não identificação”
de reforço sísmico

negligenciável percepção do risco sísmico (não todos mas...)

Cliente 2

Sou um **investidor** e quero capitalizar ao máximo o investimento **curto período** com **alta** rentabilidade para **alojamento local**



Residencial / alojamento local
Lisboa (2017)

caracterização estrutural com **inspeção e diagnóstico**

reabilitação incluindo
“**não identificação**”
de reforço sísmico

negligenciável percepção do risco
sísmico (não todos mas...)

Antes 2019 **aumento exposição**
sem redução risco sísmico

Após 2019 se não existir degradação
estrutural (quem decide?)

mitigação (?) do risco sísmico



As estruturas devem ser dimensionadas e/ou comportar-se com a finalidade de, em caso de ocorrência de sismos:



proteger as vidas humanas



proteger as vidas humanas



proteger as vidas humanas



proteger as vidas humanas



limitar os danos



limitar os danos



estruturas vitais de protecção civil

mantêm-se operacionais



estruturas vitais de protecção civil

mantêm-se operacionais

Acampamento desalojados

Yingxiu, China, 2008

Qual o impacto que o reforço sísmico tem?

- Custo de intervenção:
 - €2000/m²
- Custo do reforço sísmico (se necessário):
 - €200/m² (10%, valor arbitrado)
- Conclusão:
 - Vou gastar muito dinheiro.... Será?

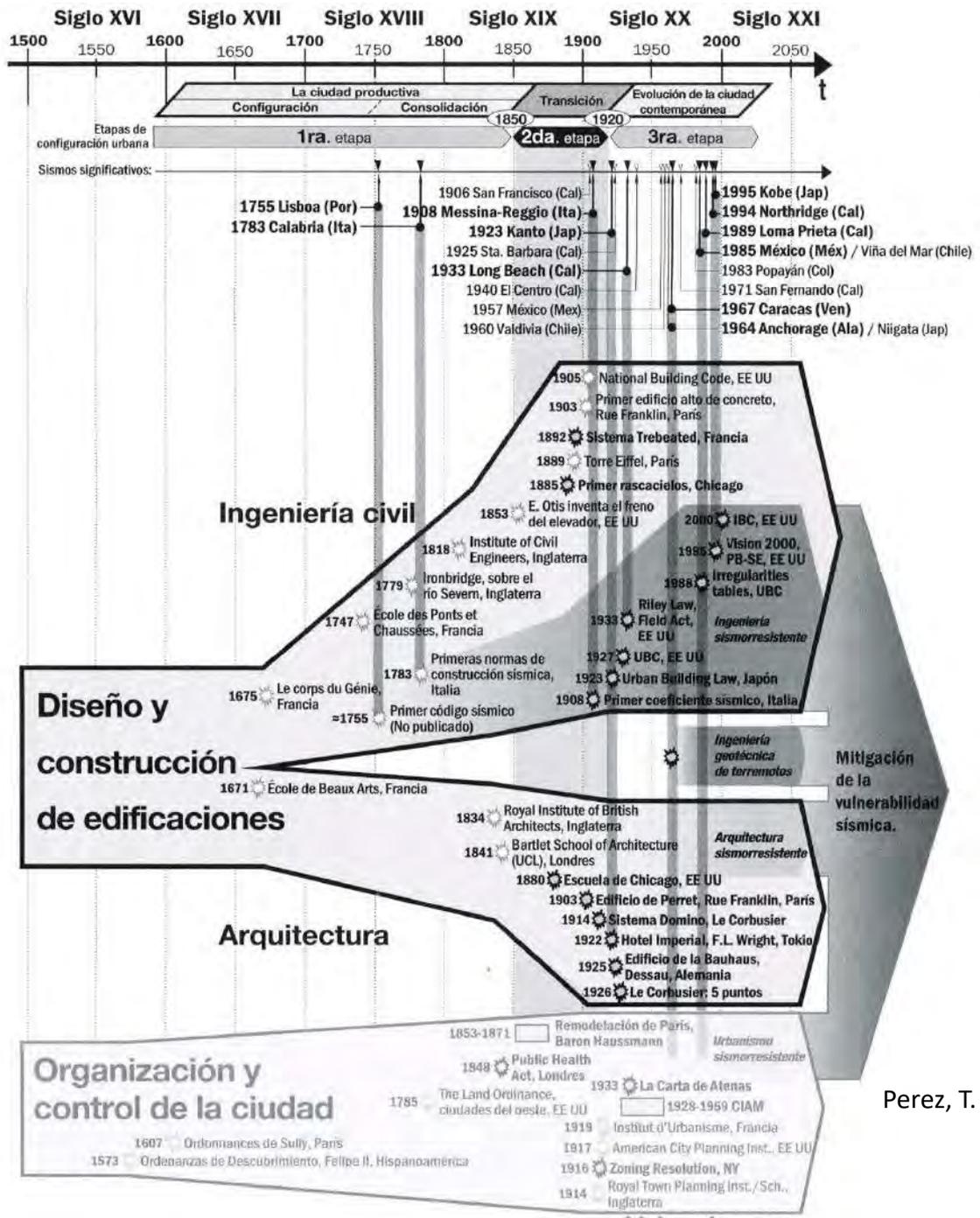
Qual o impacto que o reforço sísmico tem?

- Aluguer do espaço: €20/m² (1% do custo de intervenção global)
 - Sismo: basta o edifício estar interdito ou em obras durante 10 meses (facilmente irá estar mais) para recuperar o investimento
 - Valorização do ativo e diminuição dos impactos
 - Retorno rápido das atividades
 - Diminuição da vulnerabilidade e aumento da resiliência
 - Além das perdas humanas, claro...

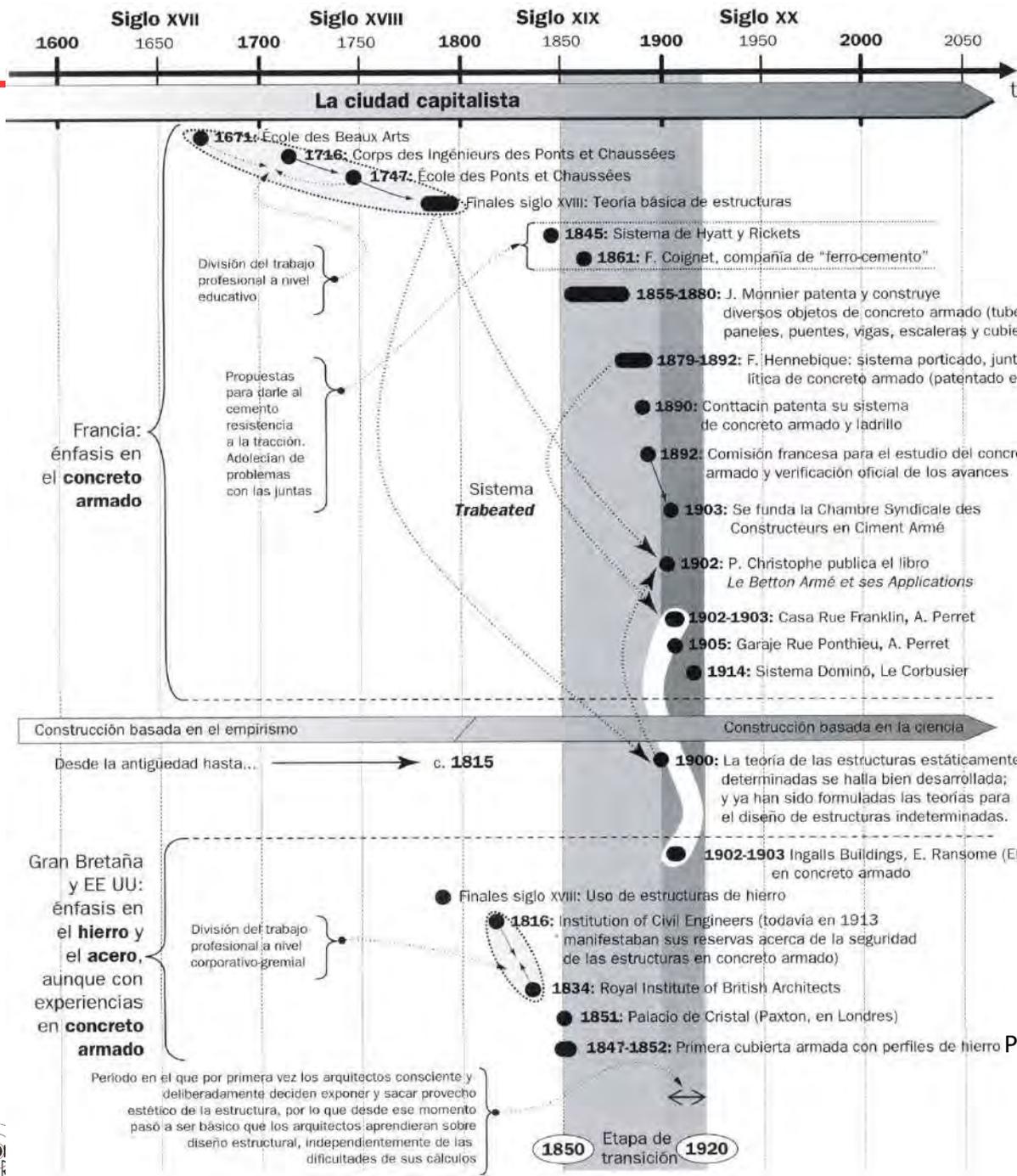


Evolução da construção e o problema sísmico





Perez, T. G. [2009] *Arquitectura moderna en zonas sísmicas*, Ed. Gustavo Gili, SL

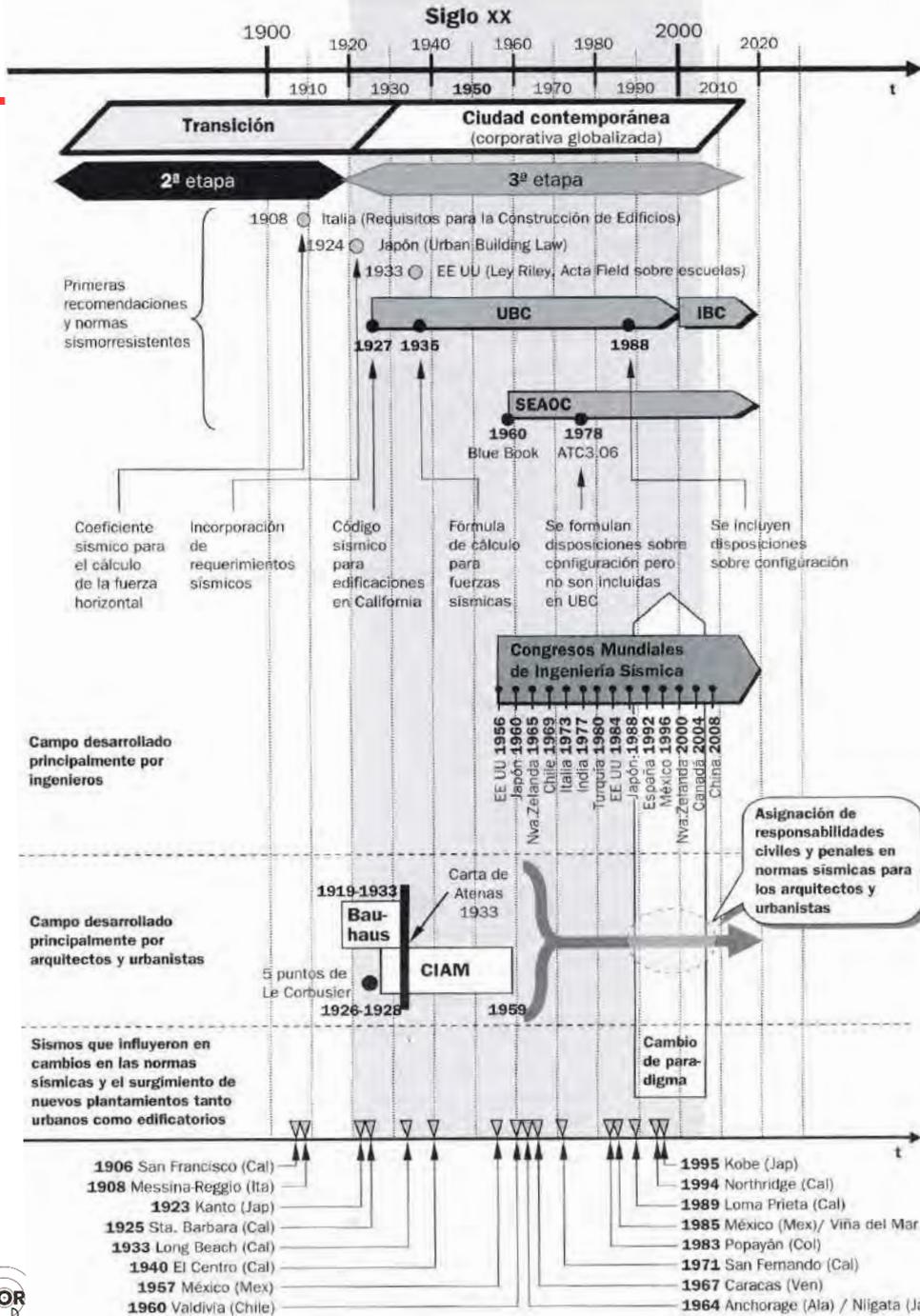


Perez, T. G. [2009] *Arquitectura moderna en zonas sísmicas*, Ed. Gustavo Gili, SL



até 2019:

- ausência de regulamentação específica para estruturas existentes
- métodos de avaliação desadequados



Em Portugal

1958:

Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos (RSCCS)

1961:

Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (RSEP)

1983:

Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes (RSA)

Perez, T. G. [2009] *Arquitectura moderna en zonas sísmicas*, Ed. Gustavo Gili, SL

Recomendações para conceção



Relembrar alguns conceitos do Eurocódigo 8-1

- Um bom comportamento sísmico de uma estrutura começa logo na fase de projecto: **controlar comportamento através do dimensionamento**
- Para ser conseguido esse objectivo, além de uma análise espacial da estrutura e seu comportamento, existem algumas orientações que ajudam a obter um comportamento sísmico mais adequado:
 - Simplicidade estrutural
 - Uniformidade, simetria e redundância
 - Resistência e rigidez nas 2 direcções
 - Rigidez e resistência torsional
 - Comportamento de diafragma dos pisos
 - Fundações adequadas

Simplicidade estrutural

- Existência de trajetórias claras e diretas de transmissão das forças sísmicas
- Redução das incertezas na modelação e análise, simplificando o dimensionamento e a pormenorização construtiva, permitindo a construção de estruturas simples
- Maior fiabilidade na previsão do comportamento sísmico

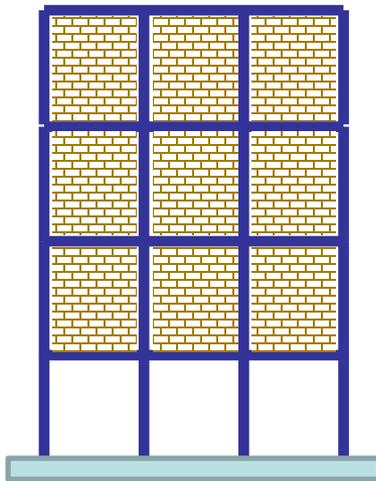


Uniformidade, simetria e redundância

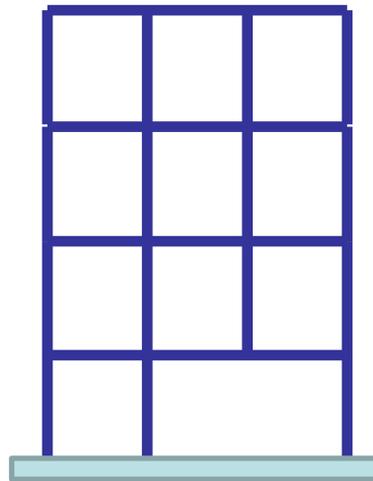
- Em planta: minimiza a existência de torção na resposta sísmica. Se necessário, novos elementos para controlar a resposta torsional do edifício
- Objetivo: aproximar centro de rigidez do centro de massa, e se possível o centro de resistência ao centro de rigidez
- Elementos estruturais regularmente distribuídos contribuem para uma redundância e permite a redistribuição mais favorável de esforços e distribui as zonas de dissipação de energia
- Dificuldade na compatibilização destes princípios com a Arquitetura e Dono de obra

Uniformidade, simetria e redundância

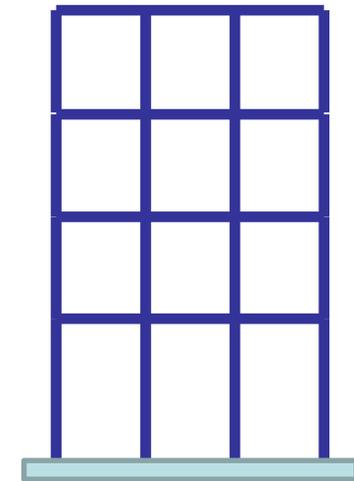
- Em altura: ajuda na transmissão dos esforços até à fundação e evita a existência dos chamados *soft-storey*
- As irregularidades em planta e altura podem originar problemas tridimensionais



Diferença de rigidez entre
pisos



Descontinuidade de
pilares



Diferentes alturas entre
pisos

Fonte:

H. Rodrigues [2013] *Introdução ao cálculo sísmico de edifícios em betão armado de acordo com o Eurocódigo 8*, Ordem dos Engenheiros e Universidade de Aveiro.

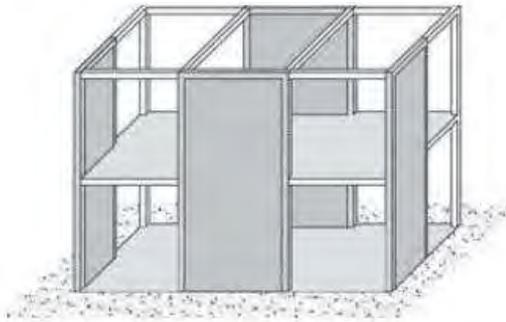


VIVERES
COMPRAÇÃO ÚNICA
A EMPREZA

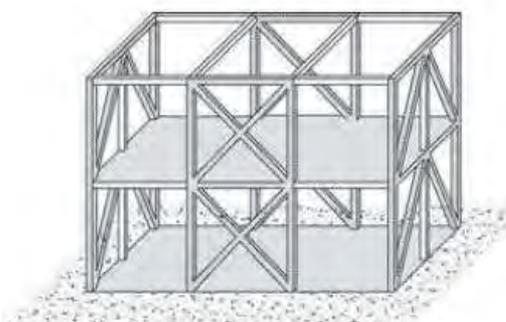
178 JOALHARIA AUREA 172

Resistência e rigidez nas 2 direcções

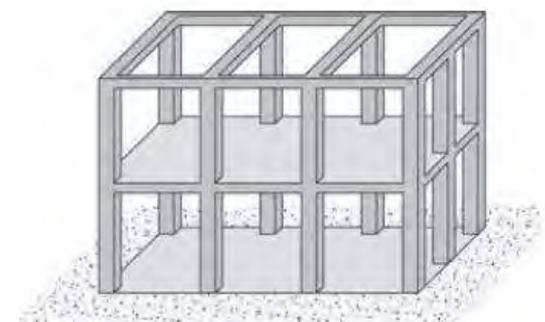
- Acção sísmica actuante nas 2 direcções: resistência e rigidez necessária nas 2 direcções.
- Necessidade de limitar os deslocamentos excessivos da estrutura
- Compatibilizar deslocamentos da estrutura existente com estrutura de reforço



Paredes BA resistentes



Pórticos contraventados



Sistema de Pórticos

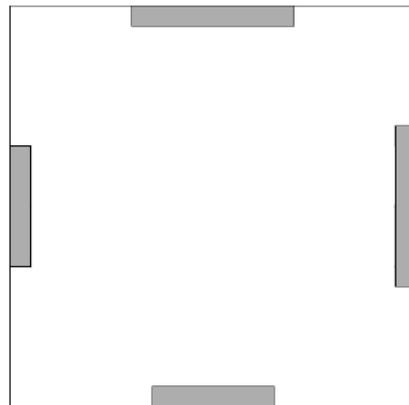


Fonte:

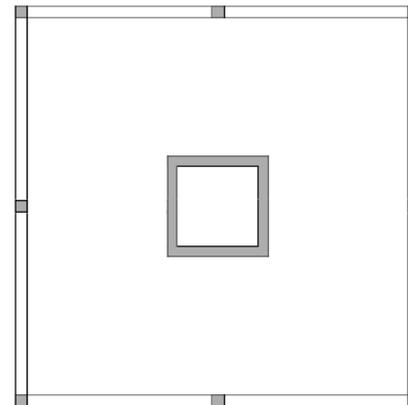
H. Rodrigues [2013] *Introdução ao cálculo sísmico de edifícios em betão armado de acordo com o Eurocódigo 8*, Ordem dos Engenheiros e Universidade de Aveiro.

Resistência e rigidez à torção

- Evita a solicitação excessiva dos elementos periféricos (longe do centro de rotação, centro de rigidez e resistência)
- Disposição dos elementos resistentes na periferia é vantajosa, comparativamente a localizar no interior



Torsionalmente rígido



Torsionalmente flexível

Comentários finais

- Conceitos-chave de engenharia sísmica deverão estar no projeto de reforço sísmico de estruturas existentes de alvenaria
- Para fazer um projeto de reforço para uma estrutura existente, normalmente a dificuldade é que o edifício se encaixe nos objetivos do dono de obra e arquitetura, quando deverá ser ao contrário
- No projeto de reforço sísmico de estruturas de alvenaria, **primeiro** é necessário **conhecer** muito bem a estrutura. A seguir, estudar a capacidade que a estrutura tem de **melhorar** o seu comportamento **sem medidas pesadas e intrusivas**, através de intervenções **pontuais e globais de reforço sísmico**
- Só depois se avança para uma 2ª fase, mais pesada, com adição de novos elementos estruturais

Conteúdos

10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- **Alvenarias existentes**
- Inspeção e diagnóstico
- Danos provocados por sismos
- Análise e verificação: análise fora-do-plano

11 outubro:

- Verificação global: análise no plano
- Reforço sísmico: técnicas e abordagens
- Casos práticos

Leitura obrigatória...

nt

Aspetos gerais da aplicação em Portugal do Eurocódigo 8 – Parte 3 – Anexo C (Informativo) – Edifícios de alvenaria

General aspects of the application in Portugal of Eurocode 8 – Part 3 – Annex C (Informative) – Masonry Buildings

Paulo Candeias, António Correia
Alfredo Campos Costa, José Manuel Catarino
Manuel Pipa, Helena Cruz
Eduardo Cansado Carvalho, Aníbal Costa

Resumo

Procuram-se sintetizar neste artigo os principais aspetos relacionados com a avaliação e a reabilitação sísmica de edifícios existentes de alvenaria, compatibilizando a NP EN 1998-3:2017 com os respetivos Anexo C, específica para edifícios de alvenaria, e Anexo Nacional, específico para Portugal.

A avaliação sísmica é um procedimento quantitativo através do qual se verifica se um edifício existente, danificado ou não, satisfaz os requisitos de desempenho, definidos por uma combinação de um estado limite com um nível de ação sísmica, através de critérios de conformidade. Neste procedimento estão envolvidos a definição da ação sísmica, a modelação da estrutura, os métodos de análise para determinação dos efeitos das ações e as verificações de segurança.

São abordados os métodos de análise, dois lineares e dois não lineares, aplicáveis a edifícios existentes de alvenaria, bem como as recomendações específicas do Anexo C e as informações complementares do Anexo Nacional.

Abstract

This article seeks to summarize the main aspects related to the seismic assessment and rehabilitation of existing masonry buildings, combining the NP EN 1998-3:2017 with the respective Annex C, specific for masonry buildings, and National Annex, specific to Portugal.

Seismic assessment is a quantitative procedure whereby it is verified whether an existing building, damaged or not, meets the performance requirements, defined by a combination of a limit state with a seismic action level, using compliance criteria. This procedure involves the definition of the seismic action, the modelling of the structure, the methods of analysis to determine the effects of the actions, and the safety checks.

The analysis methods, two linear and two non-linear, applicable to existing masonry buildings are addressed, as well as the specific recommendations in Annex C and the complementary information in the National Annex.

Palavras-chave: Existing masonry buildings / Seismic assessment / Eurocode 8

Keywords: Edifícios de alvenaria existentes / Avaliação sísmica / Eurocódigo 8

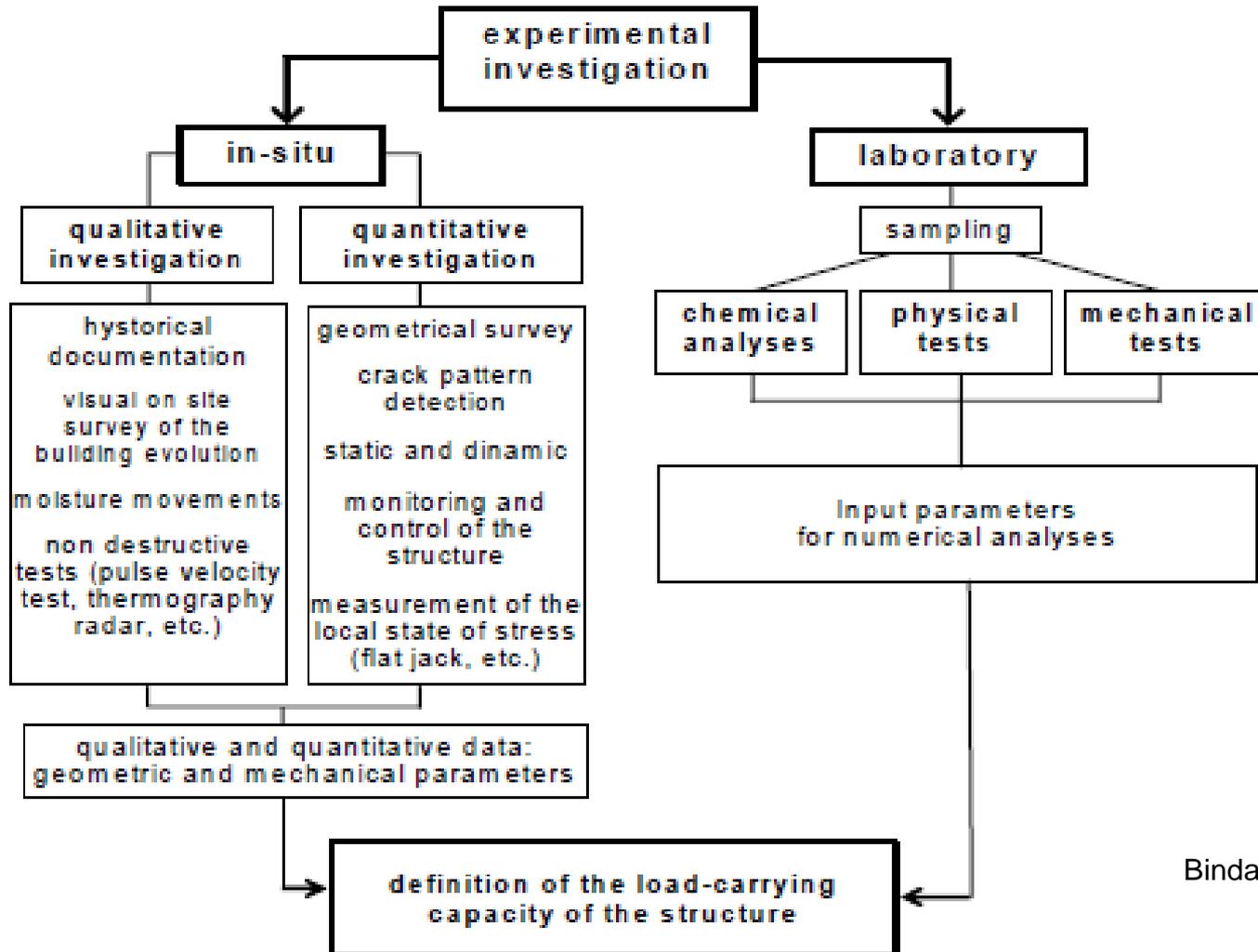
Princípios gerais da reabilitação

ICOMOS (2005) *Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico*

Parte I – Princípios

- 1.1. “A conservação, o reforço e o restauro do património arquitectónico requerem uma **abordagem multidisciplinar**.”
- 1.2. O valor e a autenticidade do património arquitectónico não podem ser baseados em critérios fixos porque o respeito devido a cada cultura requer também que a sua herança física seja considerada dentro do contexto cultural ao qual pertence.
- 1.3. O valor de cada construção histórica não está apenas na aparência de elementos isolados, mas também na integridade de todos os seus componentes como um produto único da tecnologia de construção específica do seu tempo e do seu local. Desta forma, **a remoção das estruturas internas mantendo apenas as fachadas não se adequa aos critérios de conservação**”.
- 1.4. “Uma possível alteração de uso deve tomar em consideração todas as exigências de conservação e de segurança”
- 1.7. “(...) Nos casos em que são necessárias medidas urgentes de protecção para evitar o colapso iminente das estruturas, essas medidas devem evitar a alteração permanente, ainda que reduzida, dos elementos estruturais.”

Necessidade de caracterização das estruturas de alvenaria

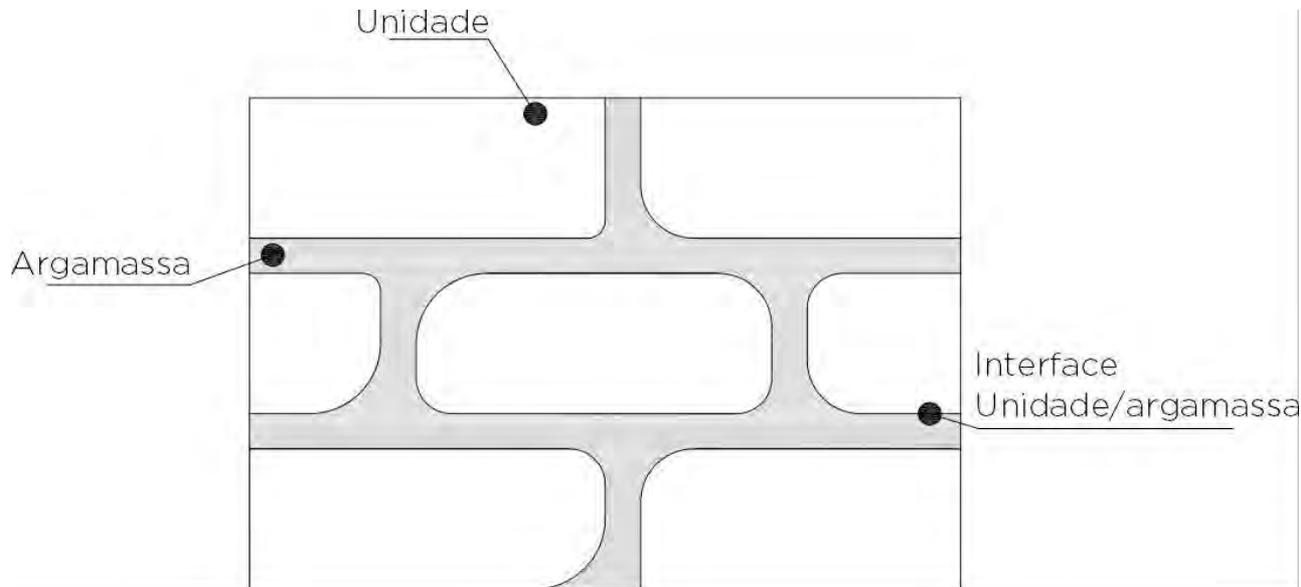


Binda e Saisi (2009)

Introdução

- A evolução da alvenaria como processo construtivo está intrinsecamente associado à evolução dos sistemas estruturais.
- Além disso, a procura de novos materiais para construções em alvenaria, com o objectivo de facilitar o seu fabrico (pedra vs. adobe ou tijolo, p. ex.) permitiu a descoberta de diferentes tipos de **unidades** de alvenaria e o acelerar do processo construtivo.
- Essas unidades de alvenaria podiam ou não estar ligadas entre elas a partir de um material intercalar, que permitisse unir 2 ou mais unidades de alvenaria – **argamassa**.

O que é a alvenaria?



- A presença ou não de argamassa origina a chamada alvenaria de junta argamassada ou alvenaria de junta seca. Cada um dos componentes da alvenaria origina diferentes tipos de comportamento e formas de rotura.
- Torna-se necessário conhecer bem o tipo de material utilizado, quer relativamente às unidades, quer relativamente à argamassa utilizada.

Tipos de alvenaria existente: tipologia



Folha simples



Folha dupla



Folha dupla com enchimento

Construção tipicamente Açoreana



Folha múltipla

Castelo de Miranda do Douro

Tipos de alvenaria existente: tipologia

Paredes frontal



Tipos de alvenaria existente: tipologia



Tipos de alvenaria existente: tipologia

Tijolo



Tipos de alvenaria existente: tipologia

Adobe







Tipos de alvenaria existente: tipologia





Marialva, 2011



Colégio da Trindade, Coimbra, 2009

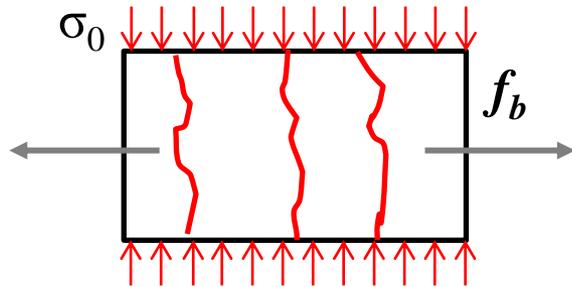
Propriedades da alvenaria

- Condicionado pela anisotropia do material (unidades+argamassa)
- Características mecânicas influenciadas pela heterogeneidade do material e influenciadas pela propriedades de cada um dos constituintes.
- Principais características mecânicas da alvenaria:
- Módulo de elasticidade: E
- Módulo de distorção: G
- Resistência à compressão: f
- Resistência ao corte: f_v
- Resistência à tracção: f_t
- Um dos grandes desafios iniciais na análise e avaliação do comportamento de estruturas existentes em alvenaria é a definição das características mecânicas.

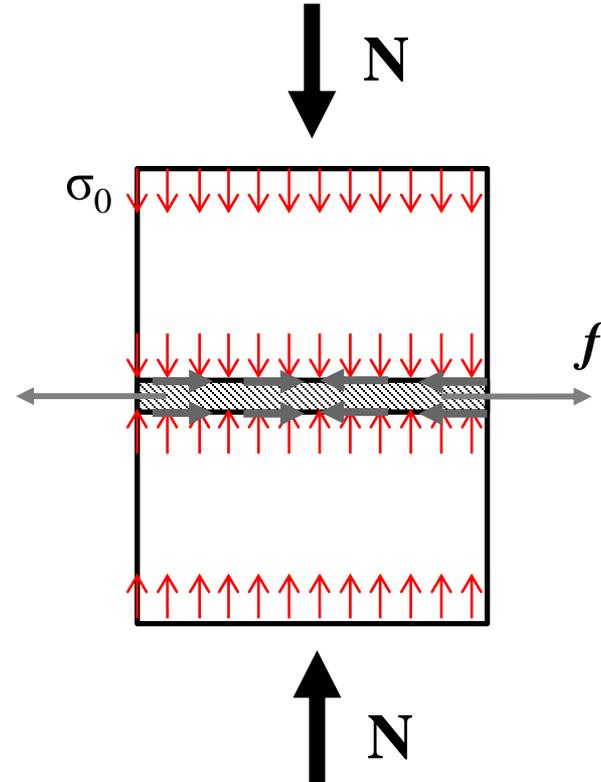
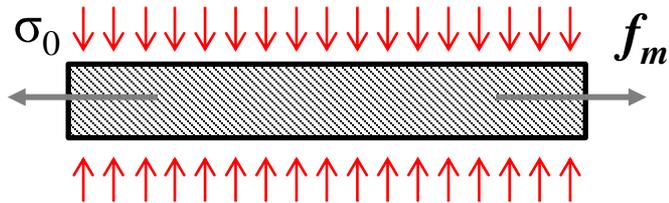
Propriedades da alvenaria

Compressão

Unidades



Argamassa



- Resistência à compressão da unidade: f_b
- Resistência à compressão da argamassa: f_m

Propriedades da alvenaria

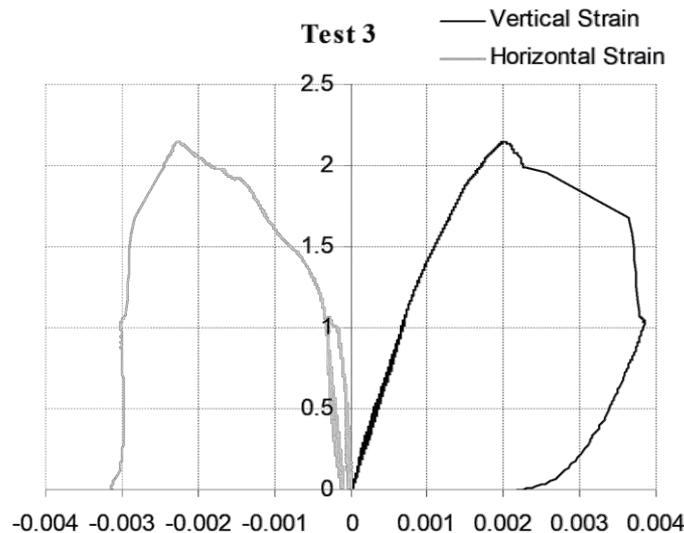
Compressão

- O valor da resistência à compressão da alvenaria é representativo de um comportamento conjunto dos dois componentes unidade-argamassa.
- Podem-se dividir este comportamento em dois grupos principais:
 - Unidade forte : argamassa fraca;
 - Unidade fraca : argamassa forte.
- Esta distinção é válida para todas as características mecânicas da alvenaria e não só para a resistência à compressão.
- A avaliação da resistência, podem-se realizar ensaios experimentais em provetes de alvenaria (em laboratório e *in-situ*).

Propriedades da alvenaria

Compressão

- Para alvenarias existentes, a melhor forma será realizar ensaios experimentais (compressão ou macacos planos duplos) para avaliar a capacidade resistente.
- A lei de comportamento utilizada para as alvenarias é semelhante à utilizada para o betão: parábola-rectângulo ou rectângulo equivalente.



Propriedades da alvenaria

Compressão

- Para alvenarias existentes, a melhor forma será realizar ensaios experimentais (compressão ou macacos planos duplos) para avaliar a capacidade resistente.
- A lei de comportamento utilizada para as alvenarias é semelhante à utilizada para o betão: parábola-rectângulo ou rectângulo equivalente.
- As correlações entre resistência e módulo de elasticidade e/ou módulo de distorção, apresentadas no EC6, não são adequadas para alvenarias existentes.

Solução:

Utilizar valores obtidos em ensaios experimentais em alvenarias semelhantes.

Propriedades da alvenaria

Corte

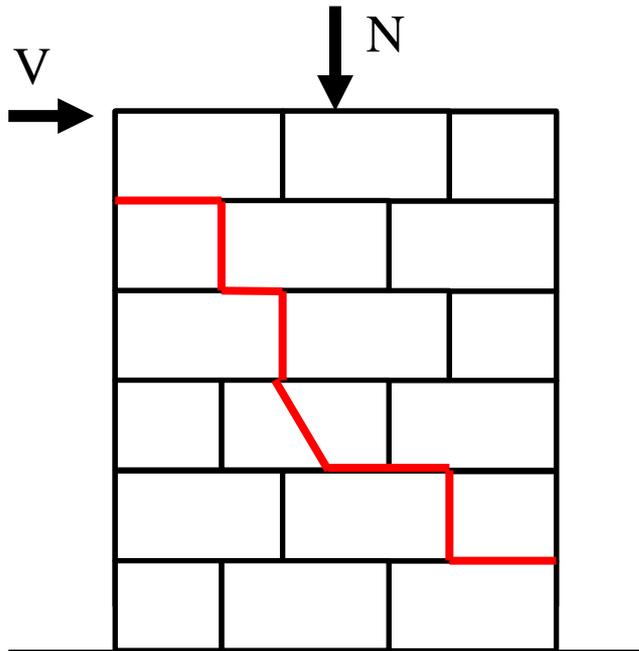
- Em alvenarias existentes, o conceito de corte “puro” confunde-se/coincide com o mecanismo de compressão diagonal. Tudo depende da qualidade das unidades e da argamassa (unidade forte : argamassa fraca ou vice-versa).



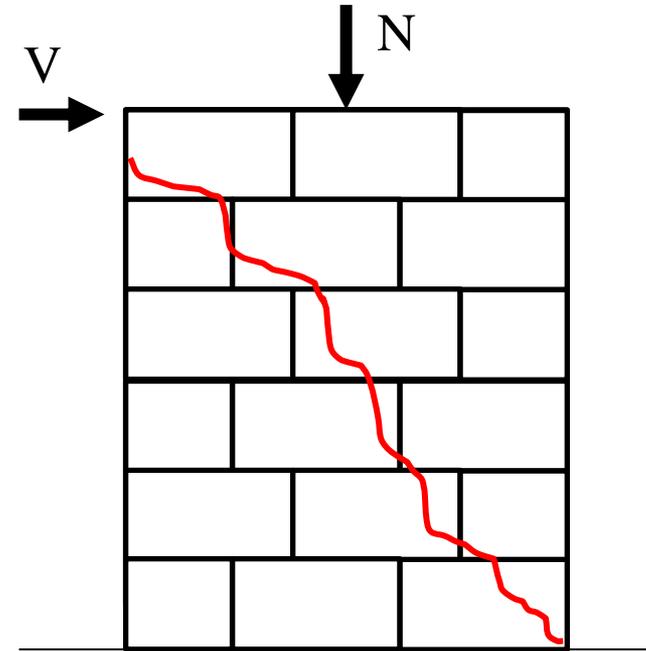
Propriedades da alvenaria

Corte

- Em alvenarias existentes, o conceito de corte “puro” confunde-se/coincide com o mecanismo de compressão diagonal. Tudo depende da qualidade das unidades e da argamassa (unidade forte : argamassa fraca ou vice-versa)



Corte-deslizamento



Corte-diagonal

Propriedades da alvenaria

Corte-deslizamento

- Aplicável a alvenarias regulares

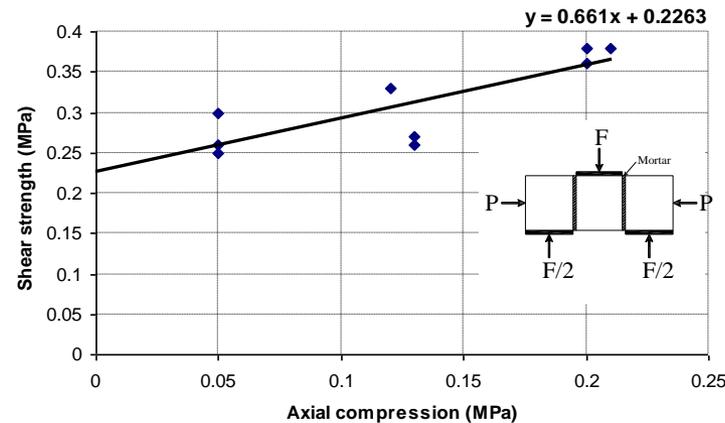
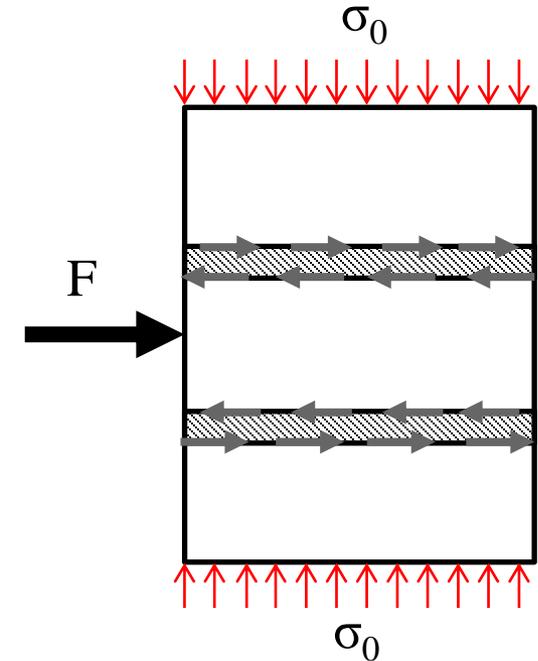
$$f_v = f_{v0} + \mu \sigma_d$$

- Lei do tipo Mohr-Coulomb:

- Resistência inicial ao corte: f_{v0}

- Resistência ao corte: f_v

- Coeficiente de atrito: μ



Propriedades da alvenaria

Corte-deslizamento

- Coeficiente de atrito: depende do tipo de juntas e de alvenaria
- Eurocódigo 6 = 0.4 (alvenarias novas)
- Alvenarias existentes: ponderadamente, aplicar valores da literatura

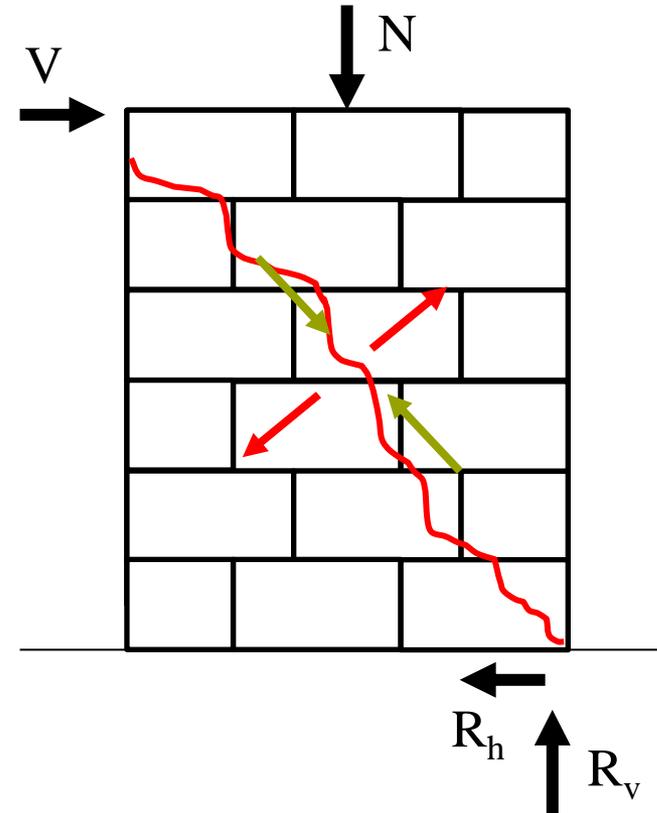
Source	Units	Mortar	f_{vo} (N/mm ²)	μ
Atkinson et al. [4]	Old clay units	1:2:9 (13)	0.127	0.695
	Old clay units	1:2:9 (7)	0.213	0.640
	New clay units	1:1.5:4.5	0.811	0.745
Amadio and Rajgeli [23]	Solid bricks	Cement mortar	0.65	0.723
		Lime-cement mortar		
Magenes [24]	Solid bricks	Hydraulic lime mortar	0.206	0.813
		Lime mortar	0.081	0.652
Binda et al. [25]	Sandstone	Hydraulic lime mortar	0.33	0.74
	Calcareous stone	Hydraulic lime mortar	0.58	0.58
Roberti et al. [26]	Bricks	Hydraulic lime mortar	0.23	0.57
Lourenço et al. [15]	Hollow bricks	Micro-concrete	1.39	1.03
This study	Granitic units	Lime mortar	0.359	0.630

adaptado de Vasconcelos e Lourenço (2009)

Propriedades da alvenaria

Corte-diagonal

- Capacidade máxima dada pela “resistência à tracção, f_t ” da alvenaria quando submetida a forças de compressão.



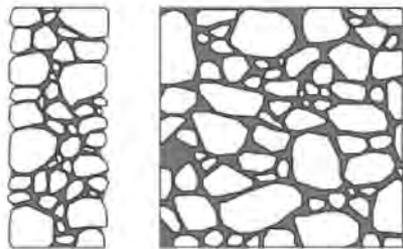
Propriedades da alvenaria

Propriedades mecânicas

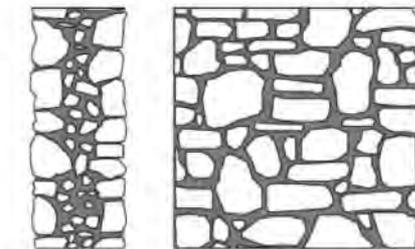
- As propriedades mecânicas da alvenaria a utilizar em projecto não são retiradas directamente. O valor a utilizar nos diferentes parâmetros deve ser bem **ponderado**, **justificado** e **sustentado** (literatura e experiência).
- P. ex.: alvenaria piso 0 \neq alvenaria pisos superiores

Propriedades da alvenaria

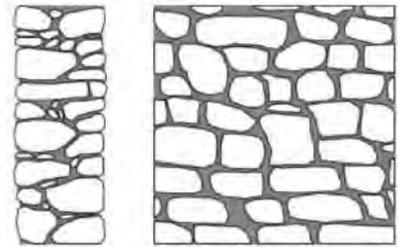
Propriedades mecânicas



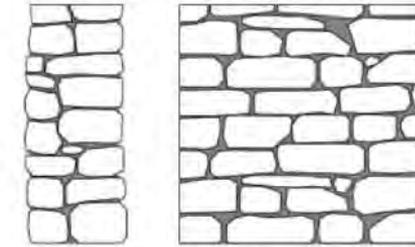
Alvenaria de pedra irregular, com seixos e pedras irregulares distribuídas de forma errática



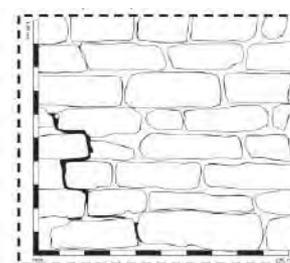
Alvenaria de pedra não aparelhada com folhas externas de espessura limitada e núcleo de enchimento (três folhas)



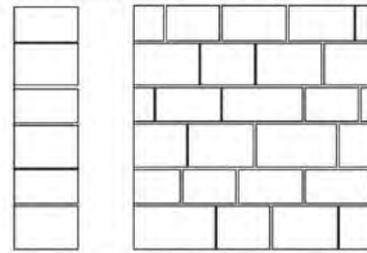
Alvenaria de pedra aparelhada com boa aderência



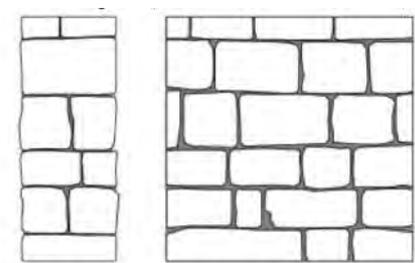
Alvenaria regular de pedra macia (blocos de tufo ou arenito)



Alvenaria de pedra aparelhada rija (aparelho regular)



Cantaria construída com pedras de boa qualidade (junta seca)



Cantaria construída com pedras de boa qualidade (junta argamassada)



Alvenaria de tijolo maciço com argamassa à base de cal

Propriedades da alvenaria

Propriedades mecânicas

- Publicação LNEC

Tabela 3 Exemplos de propriedades de alguns tipos de alvenaria (Candeias *et al.* [8])

Tipo de alvenaria	f_c (MPa)	f_t (MPa)	f_{v0} (MPa)	E (MPa)	G (MPa)	w (kN/m ³)
Alvenaria de pedra irregular, com seixos e pedras irregulares distribuídas de forma errática	1,1 a 1,9	0,03 a 0,05	–	900	300	19
Alvenaria de pedra não aparelhada com folhas externas de espessura limitada e núcleo de enchimento (três folhas)	2,0 a 3,0	0,05 a 0,08	–	1200	400	20
Alvenaria de pedra aparelhada com boa aderência	2,6 a 3,8	0,08 a 0,11	–	1700	600	21
Alvenaria regular de pedra macia (blocos de tufo ou arenito)	1,4 a 2,2	0,05 a 0,06	–	1100	400	13 a 16
Alvenaria de pedra aparelhada rija (aparelho regular)	2,0 a 3,2	–	0,10 a 0,19	1400	500	13 a 16
Cantaria construída com pedras de boa qualidade	6,0 a 8,0	–	0,19 a 0,25	2800	900	22
Alvenaria de tijolo maciço com argamassa à base de cal	2,5 a 3,4	0,09 a 0,14	0,13 a 0,19	1500	500	18
Alvenaria de tijolo perfurado (índice de furação vertical < 40%) com argamassa à base de cimento e cal	4,9 a 8,1	–	0,24 a 0,32	4600	1100	15

Nota: f_c é a resistência à compressão, f_t é a resistência à tração, f_{v0} é a resistência inicial ao corte para esforço axial nulo (coesão do modelo Mohr-Coulomb), E é o módulo de elasticidade, G é o módulo de distorção, e w é o peso volúmico.

Propriedades da alvenaria

Propriedades mecânicas

- Código italiano *Norme Tecniche per le Costruzioni* (NTC, 2018)

Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{v0}	E	G	w
	(N/mm ²)	(kN/m ³)				
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadrati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbazzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione f_{pu} essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Sistemas estruturais



Conteúdos

10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- Alvenarias existentes
- **Inspeção e diagnóstico**
- Danos provocados por sismos
- Análise e verificação: análise fora-do-plano

11 outubro:

- Verificação global: análise no plano
- Reforço sísmico: técnicas e abordagens
- Casos práticos



Alguns princípios gerais da reabilitação

- “O património arquitectónico representa um bem valioso considerando os aspectos culturais e também económicos (...).”
- “A consciência tardia da importância da Herança Cultural leva a que, apesar dos investimentos consideráveis nesta área, os quais têm resultado num desenvolvimento técnico-científico notável, a compreensão exacta da realidade das construções antigas, bem como, a sua reabilitação adequada sejam ainda desafios muito importantes (...).”
- “As construções degradam-se com o tempo pelo que a conservação e restauro do património é uma forma de desenvolvimento sustentável (...).”

“Recomendações para a análise, conservação e restauro estrutural do património arquitectónico”

(ICOMOS Comité Científico Internacional para a Análise e Restauro de Estruturas do Património Arquitectónico ; 2005)



“Um diagnóstico minucioso das causas de degradação e falha da estrutura de madeira deve anteceder a intervenção e basear-se em evidências documentais, inspeção física, análise e, se necessário, medidas das condições físicas e métodos de ensaio não destrutivos”.

“Princípios para a preservação de Edifícios Históricos em madeira” (ICOMOS; 1999)

O que é a inspeção e diagnóstico (I&D) de estruturas?

Qual a sua potencialidade em intervenções correntes?

Qual a importância na avaliação sísmica de edifícios?

Inspeção

- Levantamento e caracterização geométrica e material da estrutura, dos elementos que a constituem e no mapeamento dos danos.
- Realização de ensaios de diagnóstico para completar informação
- 3 fases:
 - Inspeção preliminar
 - conhecer o edifício; inspeção visual pelo exterior; identificação de zonas problemáticas e observação das zonas de risco; definição de equipamento NDT
 - Inspeção principal
 - desenvolvimento das actividades de inspeção e realização de ensaios NDT;
 - Inspeção complementar (caso necessário)
 - validar informação adquirida nas fases anteriores.

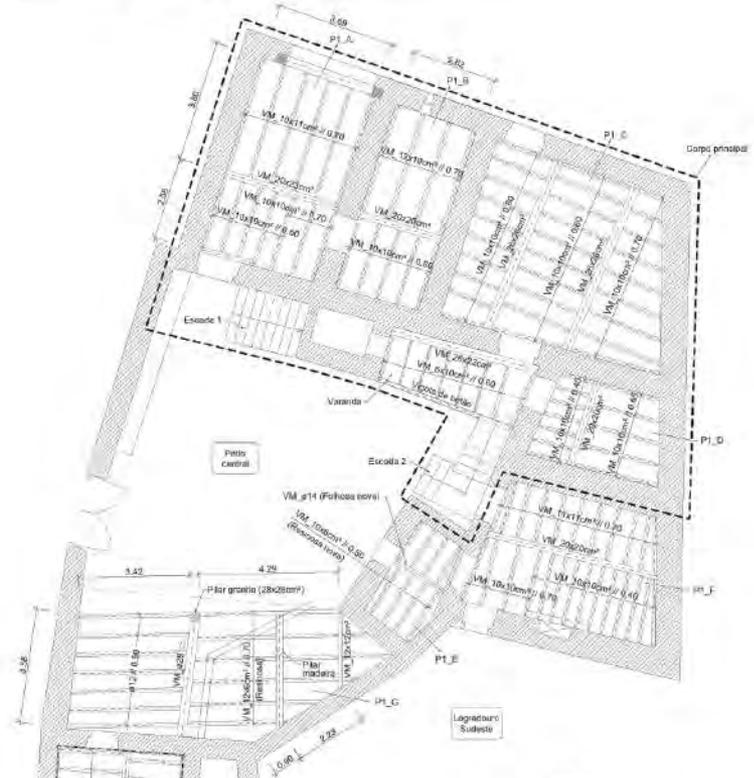
Inspeção

- Definições no âmbito da Medicina:
 - Determinação e conhecimento de uma doença pelo estudo dos seus sintomas e pela análise dos vários exames efetuados (Porto editora)
 - Conjunto de elementos que permite determinar a existência de uma doença (Porto editora)
 - Classificação de doença pelos seus sintomas (Priberam)
- No âmbito da Engenharia de Estruturas:
 - Avaliação da importância e extensão dos problemas existentes (sintomas) e à determinação das suas causas (doença), caracterizando o actual estado de conservação e de segurança da estrutura

Inspeção

- Ferramentas auxiliares no âmbito da Medicina:
 - Análises sanguíneas
 - Raio X
 - Ecografia
 - Ressonância magnética
 - (...)
- Ferramentas auxiliares na Engenharia de Estruturas:
 - Madeira (resistograph, pylodin, higrómetro, martelo, formão, ...)
 - Alvenaria (macacos planos, sónicos, sismógrafo, ...)
 - Betão armado (ferroscan, pacómetro, esclerómetro, carotes, resistividade,...)
 - Metálicas (partículas magnéticas, líquidos penetrantes, ...)

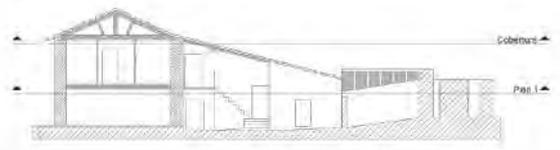
Planta estrutural do piso 1 (tecto do piso 0)
Esc. 1:100



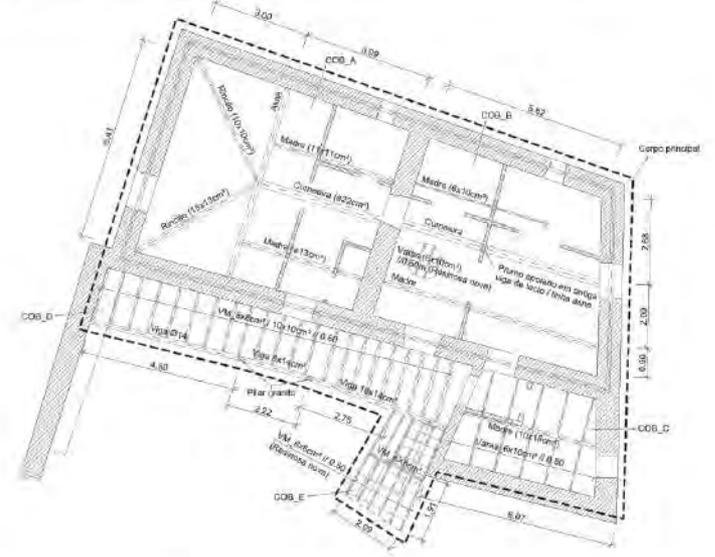
Legenda

- Parede de alvenaria de pedra existente
- Parede de tijolo existente
- Parede em tijolo existente
- VM - Viga de Madeira maciça ovateira

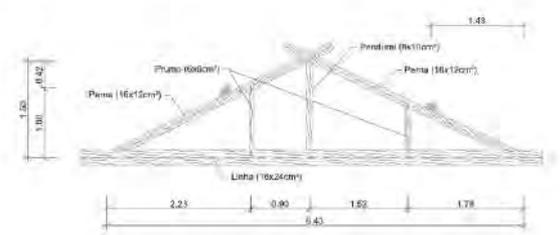
Nível de corte das plantas estruturais
Sem escala



Planta estrutural da cobertura
Esc. 1:100



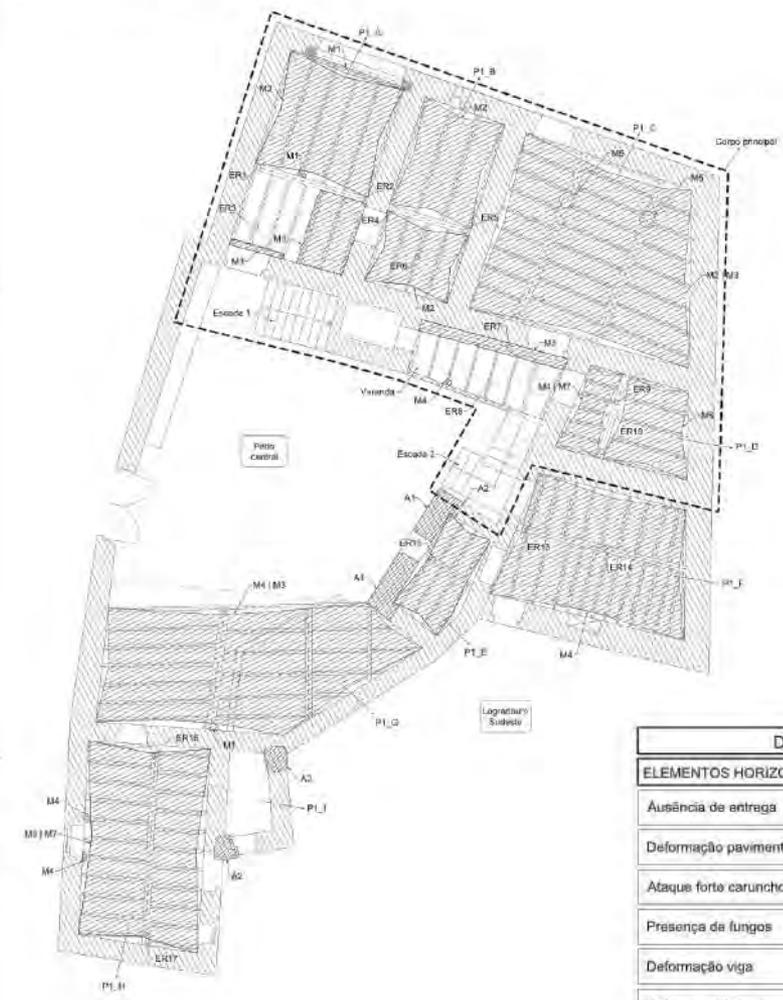
Alçado tipo da Asna
Esc. 1:50



caracterização

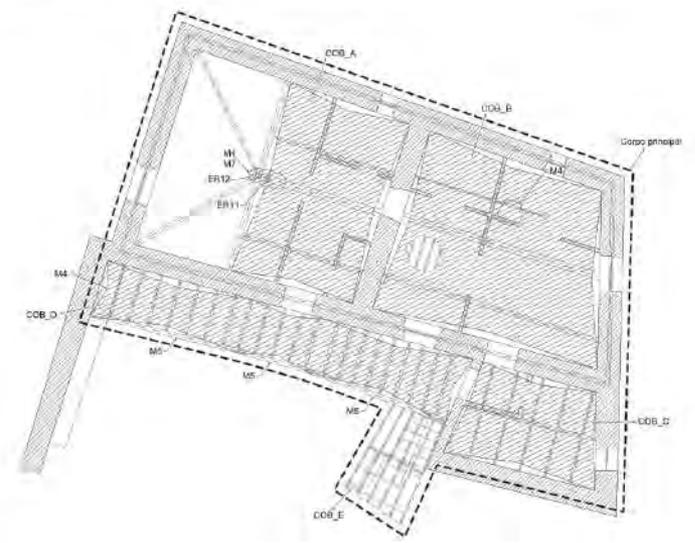
nome	data	FASE DO PROJETO
	12/2015	R&D
Planta estrutural do 1º e cobertura	NCR/EP-0384/2015	1:100
PROJETO	REVISÃO	APROVADO
AAC_LF	AAF	AAC
<p>Este documento é propriedade da NCR/EP. Qualquer reprodução ou utilização sem a autorização da NCR/EP é proibida. A NCR/EP não se responsabiliza por danos materiais ou morais decorrentes do uso indevido deste documento.</p>		

Planta estrutural do piso 1 (tecto do piso 0)
Esc. 1:100



Legenda:
ER - Enxada com e Resistôgraf

Planta estrutural da cobertura
Esc. 1:100



danos

DANOS ESTRUTURAIS	
ELEMENTOS HORIZONTAIS - MADEIRA	
Ausência de entrega	M1
Deformação pavimento	M2
Ataque forte caruncho	M3
Presença de fungos	M4
Deformação viga	M5
Colapso pavimento	M6
Ataque ligeiro caruncho	M7
ELEMENTOS VERTICAIS - ALVENARIA	
Deformação fora do plano	A1
Abertura entre paredes ortogonais	A2

DATA: 12/2015 FASE DO PROJETO: RCD

PROJETO: Planta estrutural piso 1 e cobertura - Danos NCR/EP 0384/2015 ESCALA: 1:100

PROJETADEUR: AAC, LP SUPERVISOR: AAC, AAC

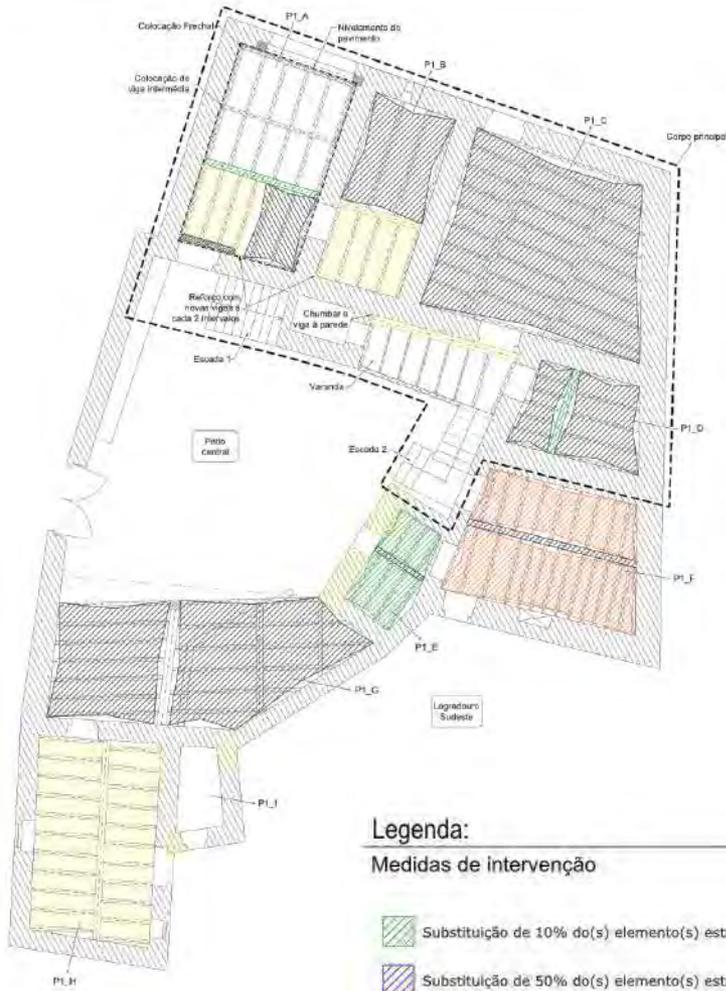
CONHECIMENTO: A partir de 2010. Toda a informação contida neste documento é de caráter informativo. Não se pode garantir a exatidão, a integridade ou a validade de qualquer informação contida neste documento.

NCR EP

RESILIANÇA SISMICA

Planta estrutural do piso 1 (tecto do piso 0)

Esc. 1:100



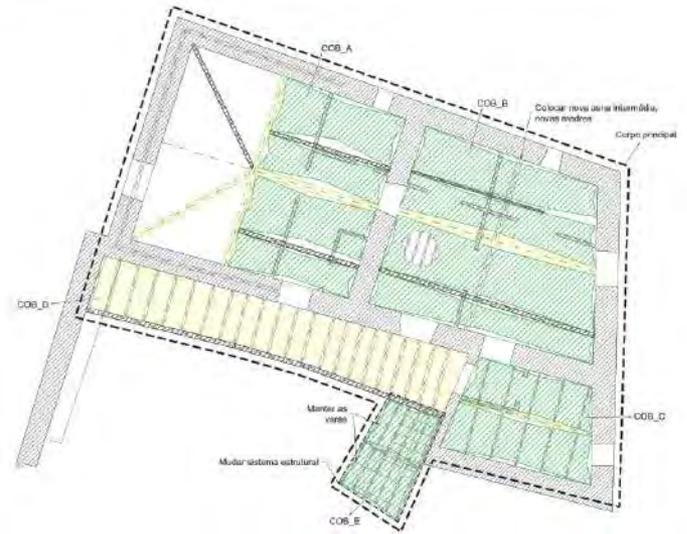
Legenda:

Medidas de intervenção

-  Substituição de 10% do(s) elemento(s) estruturais
-  Substituição de 50% do(s) elemento(s) estruturais
-  Substituição de 75% do(s) elemento(s) estruturais
-  Reforço
-  Substituição Integral do(s) elemento(s) estruturais

Planta estrutural da cobertura

Esc. 1:100



Alçado tipo da Asna - Proposta de intervenção

Esc. 1:50



Nota: Sugere-se uma alteração de configuração com introdução de novas escoras

sugestão intervenção

OPERAÇÃO	DATA	FASE DO PROJETO
Planta estrutural piso 1 e cobertura - intervenção	12/2015	R/D
PROJETO	REVISÃO	PRECALC
AAC, LF	EIF	02
PROJETO	APROVADO	VERIFICADO
AAC, LF	AAC	AAC

Planta estrutural piso 1 e cobertura - intervenção NCR/EP 0384/PQ/16 1:100 02

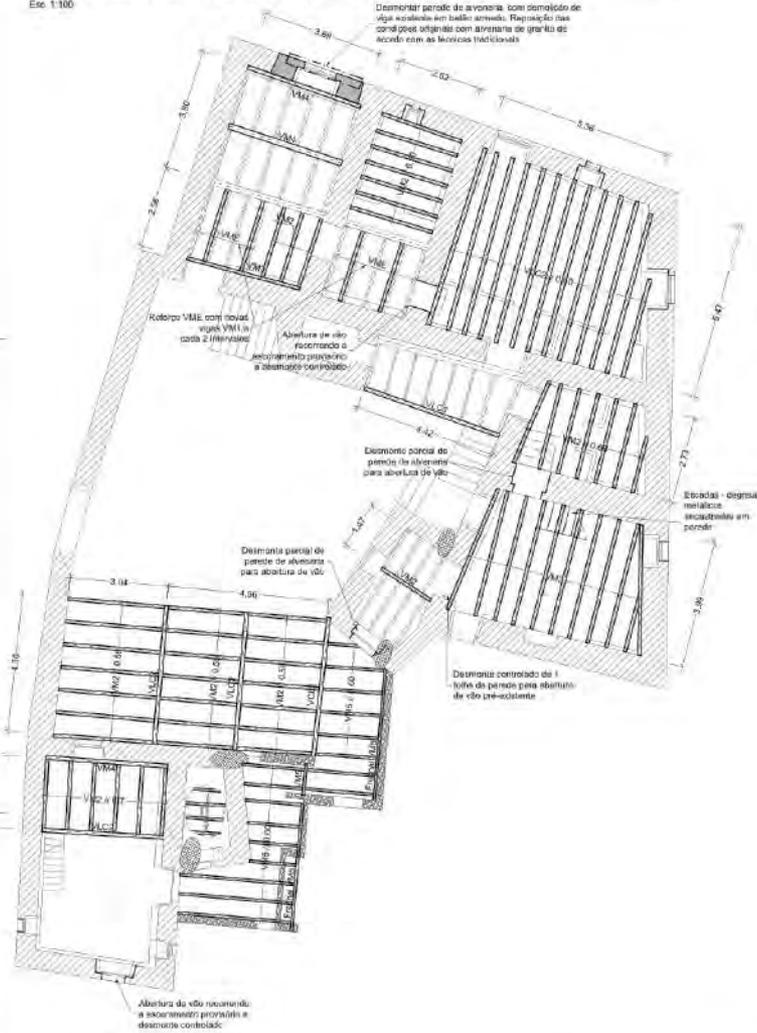
Resumo da obra e do projeto: Construção e instalação de estruturas de madeira para o piso 1, sala intermédia e escadas, manutenção da fachada em obra de conservação, a fim de manter a estrutura existente, a fim de garantir a segurança e a qualidade da obra.



Planta estrutural do piso 1 (tecto do piso 0)

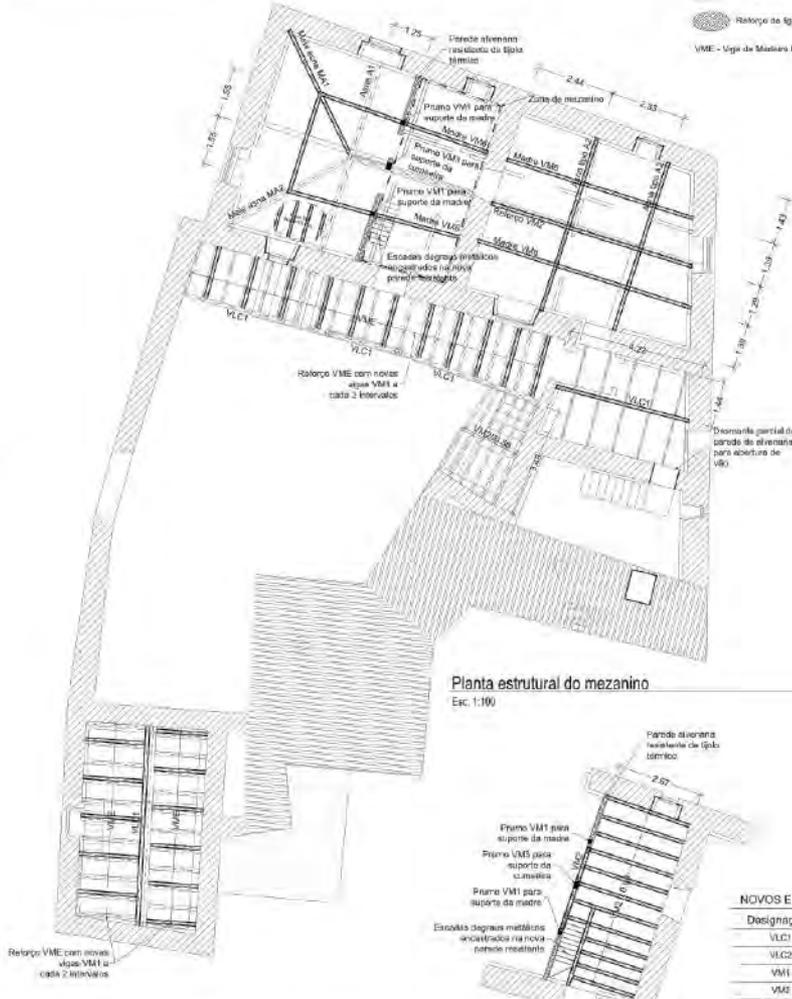
Esc. 1:100

Desmontar parede de alvenaria com demolição de vigas e colunas em baixo alinhado. Reparação das paredes originais com alvenaria de granito de acordo com as técnicas tradicionais.



Planta estrutural da cobertura

Esc. 1:100



Legenda

- Parede de alvenaria de pedra assente
- Nova parede resistente em tipo Alvenaria Tradicional
- Reforço de aço ligadas entre paredes
- VME - Viga de Madeira Existente

projecto

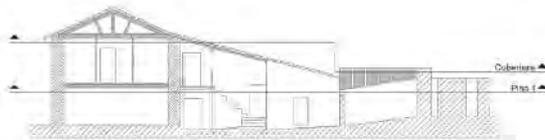
Planta estrutural do mezanino

Esc. 1:100



Nível de corte das plantas estruturais

Sem escala



MATERIAIS - ESTRUTURAS DE MADEIRA	
Novos elementos estruturais de madeira VLC1 e VLC2	GL24H (Lamelada colada)
Novos elementos estruturais de madeira VM1, VM2, VM3, VM4, VM5 e VM6	C18 (Maciço)

Tratamento: Os elementos estruturais de madeira lamelada colada (com classe resistente GL24H) serão do tipo **Plus Sylvastr**, impregnado de elementos estabilizantes de madeira (para classe resistente C18) deverão ser de espécie **Pinus Sylvestris**. Antes de receber um tratamento em autoclave do tipo viciado com um produto do tipo Xylotrap S.O.R.40 ou equivalente (NCR09). Os elementos de madeira existentes deverão receber um tratamento com o mesmo produto, aplicado por aspersão ou pulverização.

NOTAS GERAIS

- Este Projecto deverá ser completado com o Projecto de Execução de Arquitectura e restantes Especialidades.
- Todas as cotas de implantação de elementos estruturais devem ser verificadas pelos projectos de Arquitectura, e confirmadas no local de obra.

NOVOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS EM MADEIRA		
Designação	Secção	Classe resistente
VLC1	12x24cm	GL24H (lamelada)
VLC2	12x26cm	GL24H (lamelada)
VM1	10x10cm	C18 (maciço)
VM2	10x14cm	C18 (maciço)
VM3	10x20cm	C18 (maciço)
VM4	12x24cm	C18 (maciço)
VM5	8x16cm	C18 (maciço)
VM6	10x16cm	C18 (maciço)

VLC1 - Nova viga de madeira estrutural Lamelada Glada
VM - Nova viga de madeira estrutural Maciça

DATA: 05/2016 FASE DO PROJECTO: LJC

PROJETO: NCR/EP - 0384/2016 ESCALA: 1:100

PROJETO: AAC, LP; EXECUÇÃO: LF; APROVAÇÃO: AAC, AAC

NCR EP

Procedimentos

- “A compreensão completa do comportamento estrutural e das características dos materiais é necessária a qualquer projecto de conservação e restauro. É essencial recolher informação sobre a estrutura no seu estado original, sobre as técnicas e métodos utilizadas na sua construção, sobre as alterações posteriores e os fenómenos que ocorreram e, finalmente, sobre o seu estado presente”.

(Recomendações para a Análise, Conservação e Restauro Estrutural do Património Arquitectónico, ICOMOS 2004)

Objetivos

1. Avaliação das anomalias provocadas por diferentes factores e agentes, para compreender a sua influência no comportamento estrutural
2. Identificar o dano e as causas prováveis para as anomalias observadas
3. Classificação de anomalias de cada elemento/sistema estrutural, representando através de planta ou alçado
4. Classificação do estado de conservação da estrutura, identificando claramente zonas a intervencionar, recorrendo a um Relatório de Inspeção e acompanhado de Peças Desenhadas.

Peça fundamental para um projeto de reforço adequado ao estado de conservação do edifício. Complementado com avaliação sísmica, ajuda a equipa de arquitetura, por exemplo, na orientação das áreas de intervenção “livre” (=mais pesadas...)

Metodologia

1. Caracterização da geometria e do funcionamento estrutural
2. Avaliação do estado de conservação
3. Estimativa das características físicas e mecânicas (ensaios in situ + I&D...)
4. Avaliação da segurança estrutural

inspecção e diagnóstico

caracterização da geometria
e do funcionamento

estrutural

Serviços Técnicos
 Ano económico 1946
 Registrado com o N.º 2.282
 Gaia, 24 de Dezembro de 1946



Câmara Municipal de Gaia
 Registrada na Secretaria com o N.º 4073

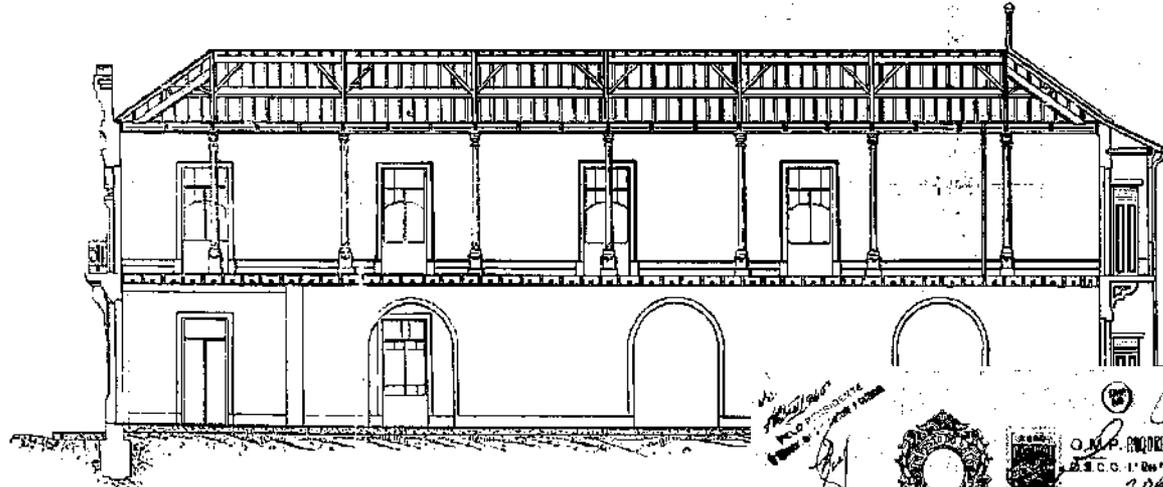
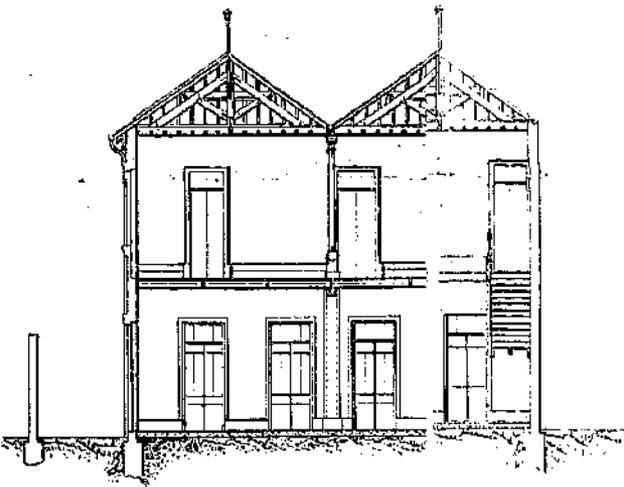
23 de Dezembro de 1946

Exmo. Snr. PRESIDENTE DA CAMARA MUNI-
 CIPAL DE GAIA

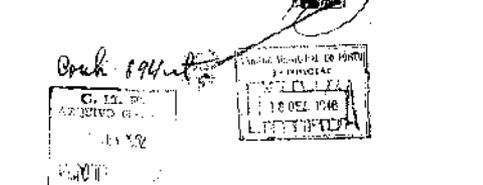
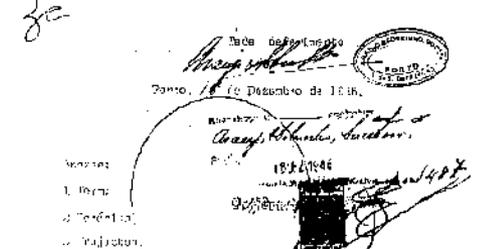
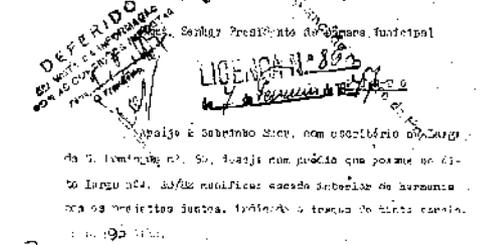
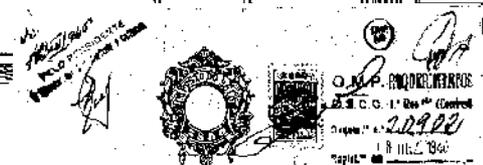
A "REAL COMPANHIA VINICOLA DO NORTE DE
 PORTUGAL", com séde na R. Azevedo Magalhães, E.N. nº6,
 lugar de Gervide, freguezia de Oliveira do Douro, com
 licença nº 804/45 para a reconstrução do edifício que
 fôra incendiado, dentro da sua propriedade sita no mes-
 mo local, vêm juntar a documentação que lhe foi deter-

Corte transversal

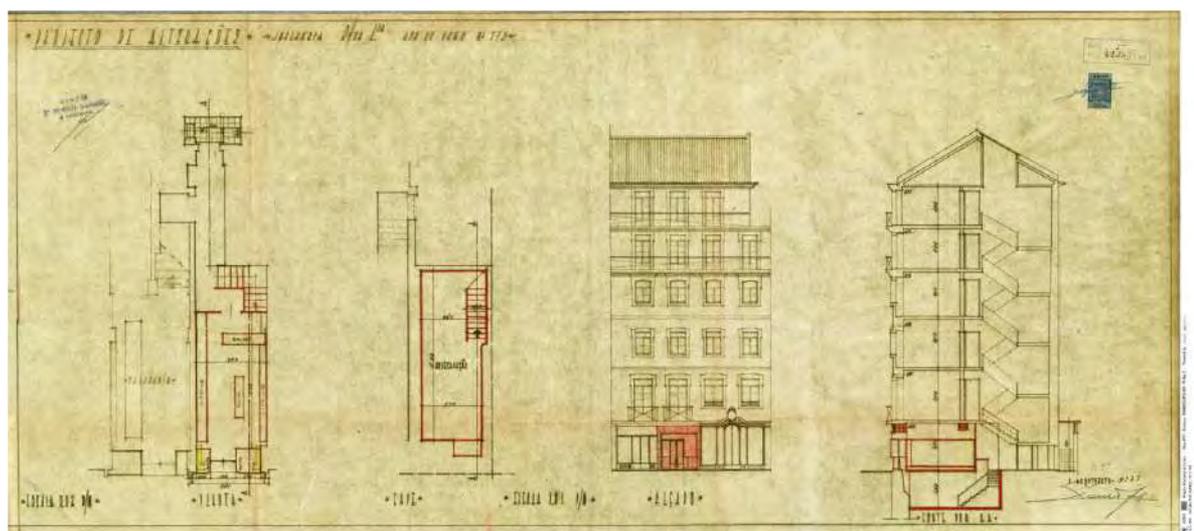
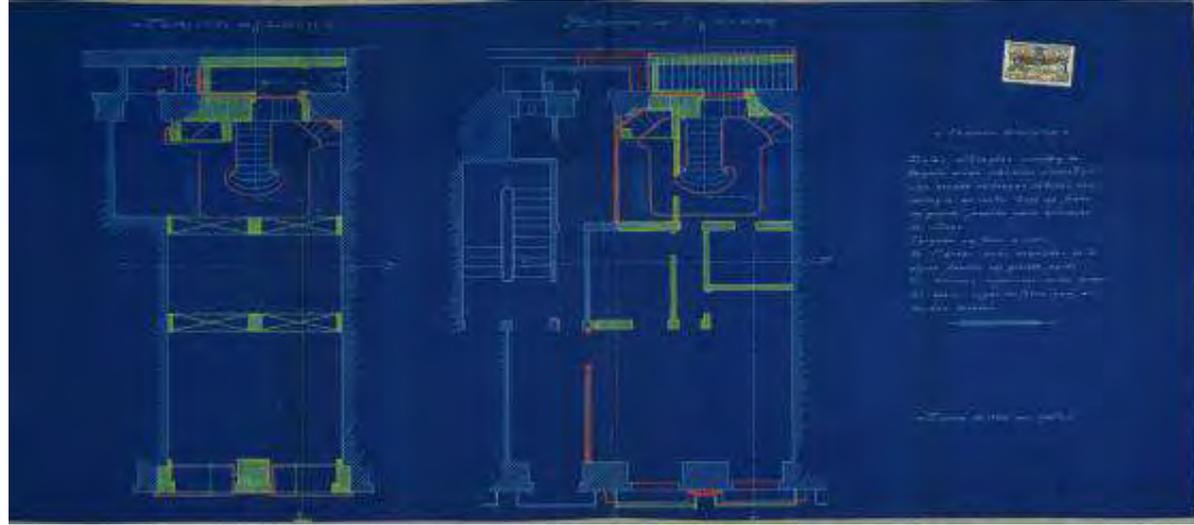
Corte longitudinal



- Recolha de informação de arquivo (peças desenhadas, peças escritas, alterações estruturais, etc.);
- Identificação do sistema estrutural, materiais e fundações;
- Medição das secções dos elementos estruturais, vãos de pavimentos, espaçamento, constituição dos pavimentos;
- Rigidez à distorção dos pavimentos e coberturas;
- Avaliação das ligações entre elementos estruturais.



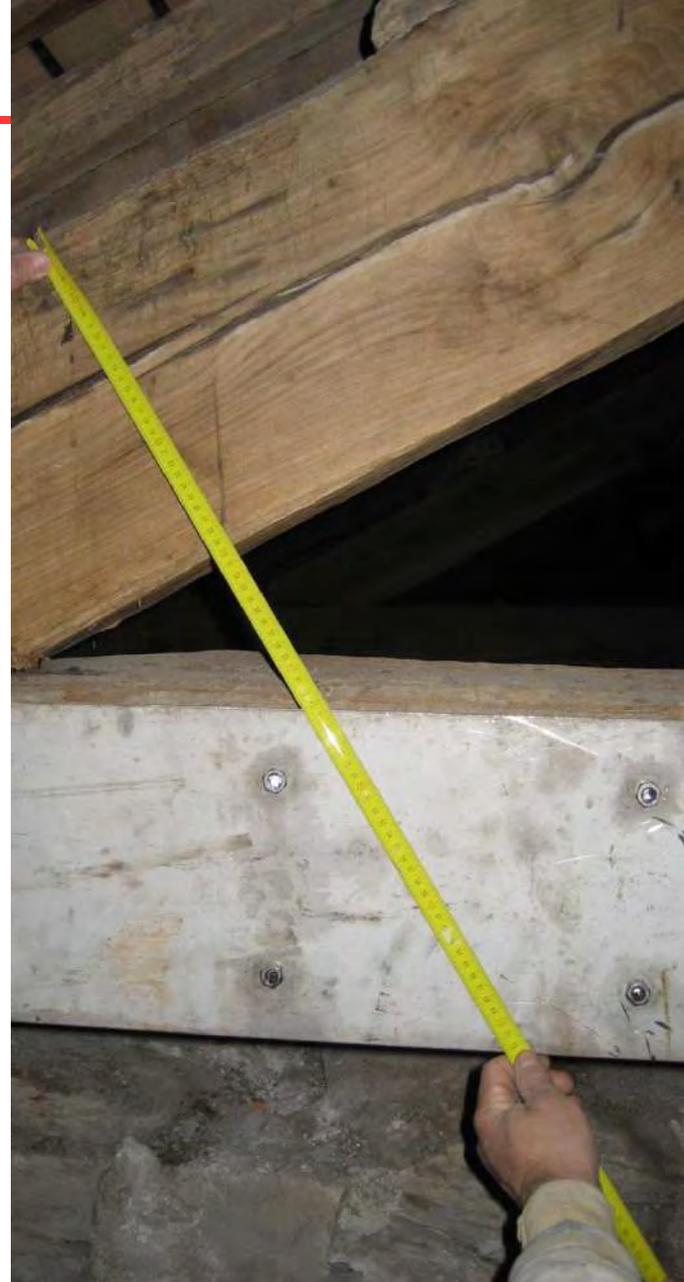
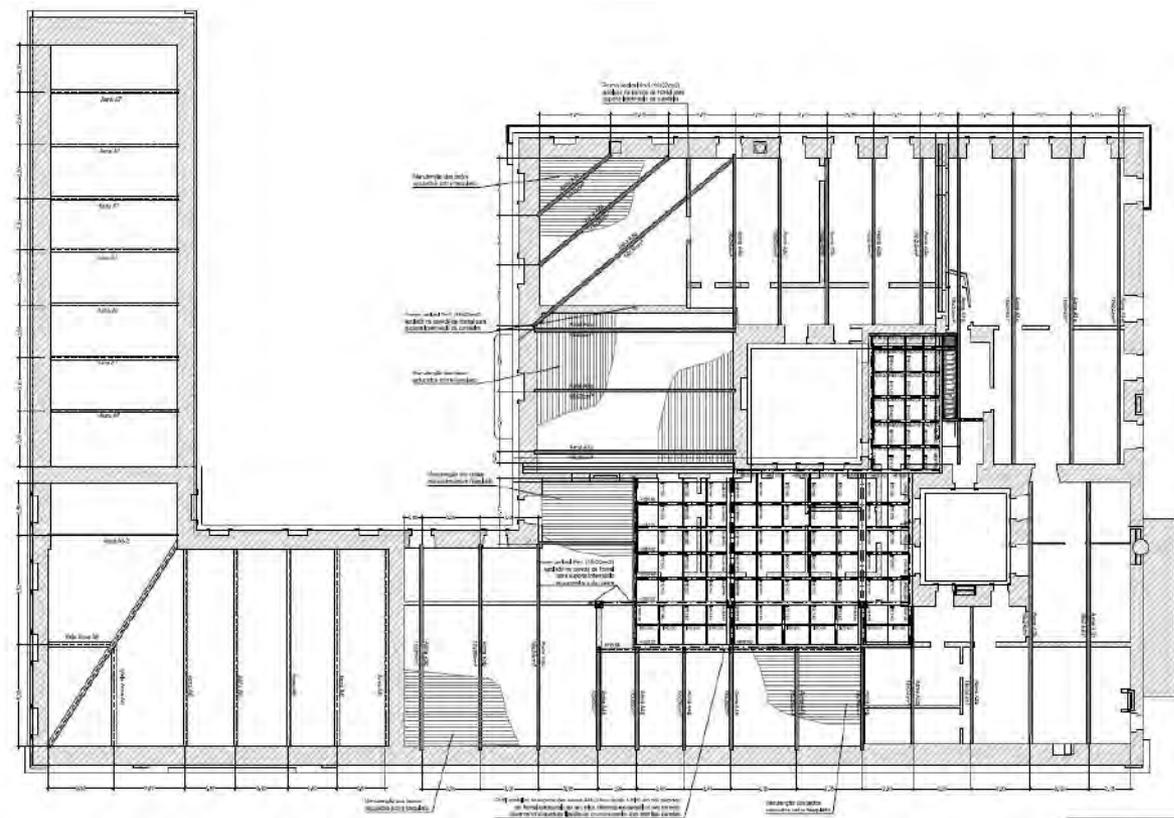
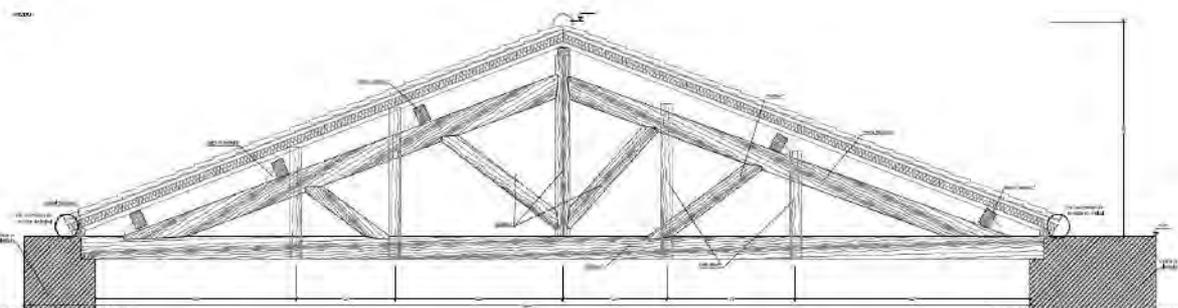
Pesquisa histórica













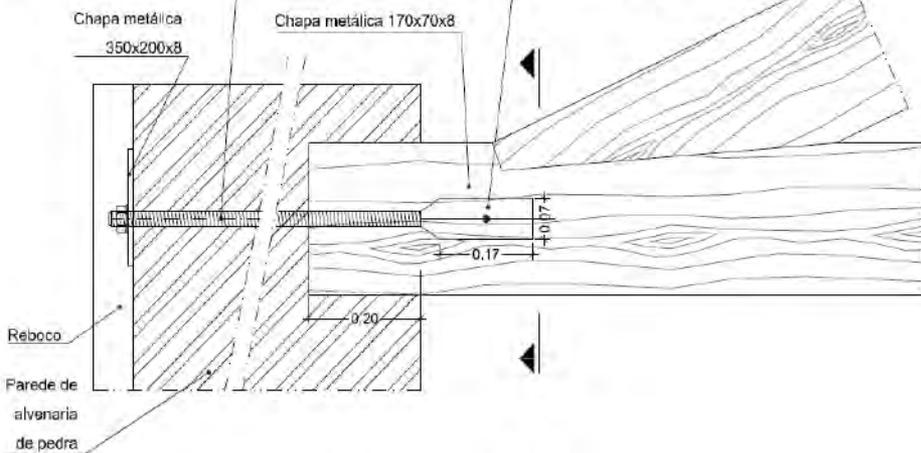








Varão roscado M25 selado com argamassa à base de cal do tipo Albaria Inezlone ou equivalente





ligações



ligações



ligações

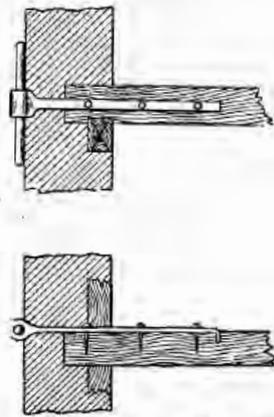


Fig. 152 - Ferrólho de chaveta

formas muito variadas, mas consistindo essencialmente em barras chatas de ferro, com furos para pregar ou aparafusar às pontas das vigas, e terminando do lado oposto num olhal em que se enfia um pedaço de varão ou vergalhão, chamado *chavêta*. É esta *chavêta* que freqüentemente se vê na parte exterior das paredes, umas vezes direita, outras em forma de S. A *fig. 152* representa um *ferrólho de chavêta* deste género.

Às vezes a *chavêta* é substituída por ornatos de ferro, em forma de flor de lis e outras, aparentes

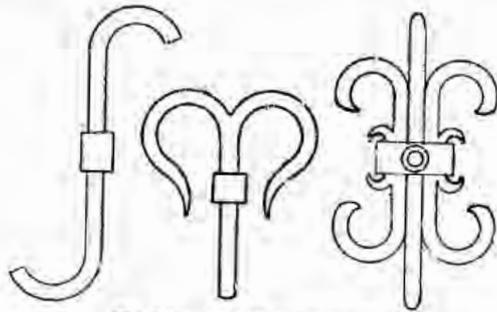


Fig. 153 - Ferrólhos ornamentais

nas paredes, representando a *fig. 153* três tipos diversos.

Quando se não pode ou quere deixar as *chavêtas* dos *ferrólhos* aparentes, faz-se uso de *ferrólhos*

de esquadro, *fig. 154*, que diferem dos anteriores em a barra ser dobrada em ângulo recto ficando o ramo vertical metido na parede.

Para ligar os frechais de madeira a paredes, usam-se cavilhas chumbadas à alvenaria, em que repousam os frechais; outras vezes são os próprios frechais atravessados por estas cavilhas, cujo extremo que mete na parede é rachado em forma de unha e, no outro extremo, tem rêsca onde entra uma porca para apertar a madeira. Podem ainda ser constituídas por duas cavilhas chumbadas, uma por baixo, outra por cima da viga, e abraçados os dois extremos por uma barra, sobre a qual apertam as porcas.

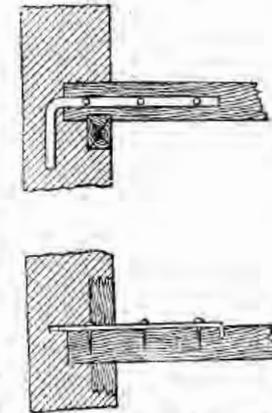


Fig. 154 - Ferrólho de esquadro

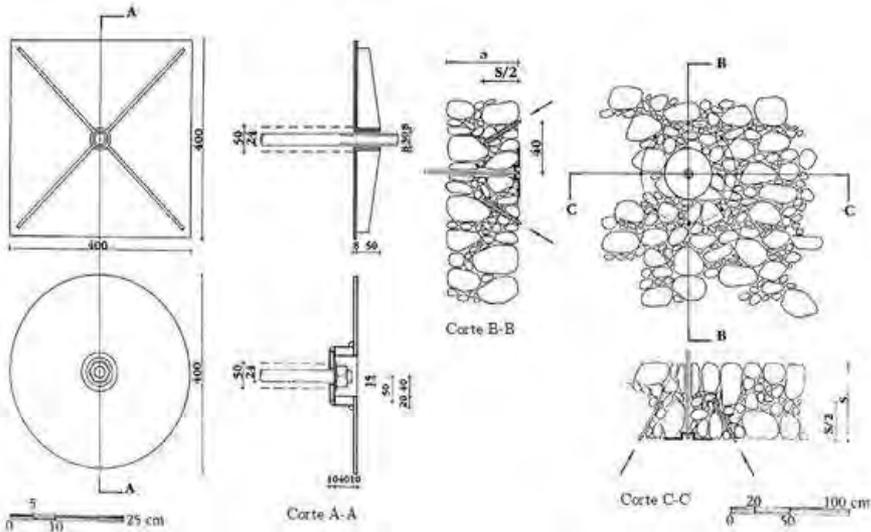
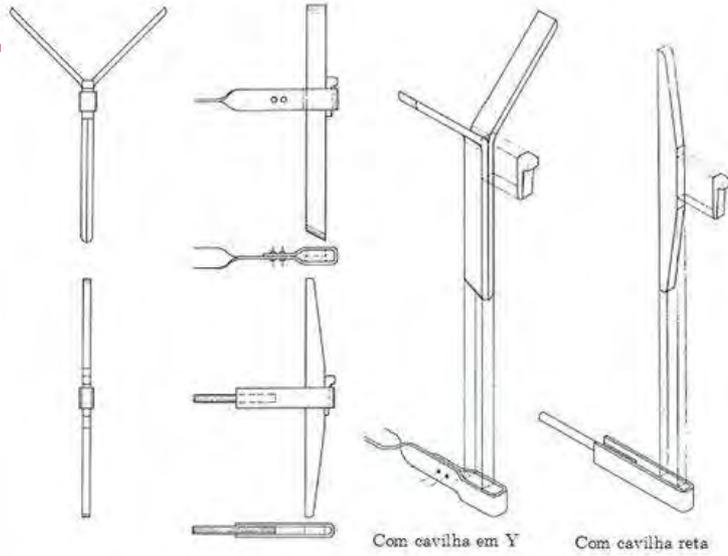
A propósito do vigamento dos sobrados daremos alguns exemplos de *ferrólhos* deste género.

34—Esquadros e outras ferragens.

—Para reforçar as ligações de vigas a tampo, por meio de *sambladuras*, empregam-se barras chatas largas com furos onde se metem pregos ou parafusos. Quando são duplas, de um e outro lado da viga, apertam-se as barras por meio de parafusos com porcas.

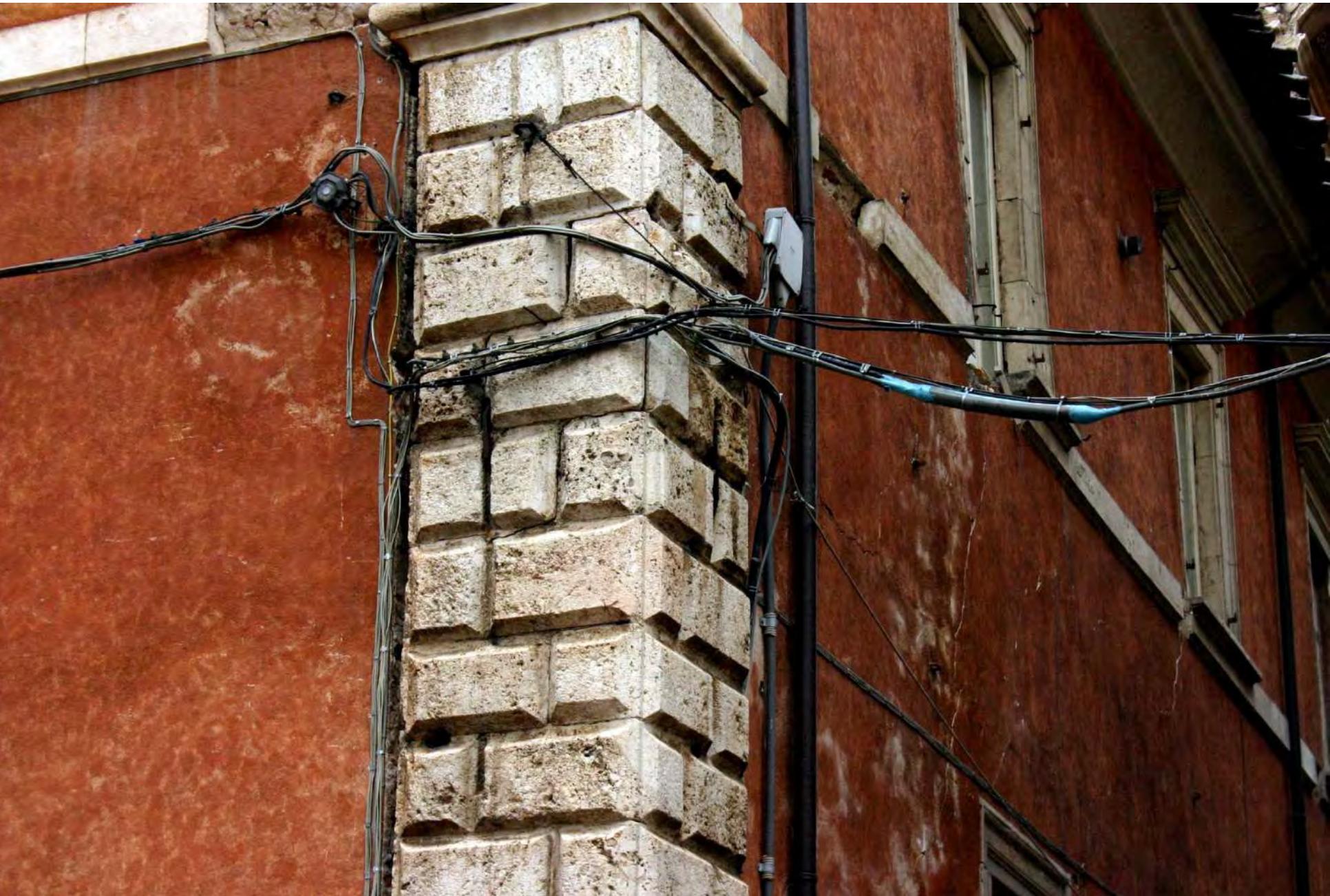
A ligação de duas vigas em ângulo recto reforça-se por meio de *esquadros* de barra de ferro, com o aspecto da *fig. 155*, com furos abertos para a colocação de pregos ou parafusos.

Outras vezes o *esquadro* tem a forma de um T, *fig. 156*, aplicável quando se queira reforçar a li-

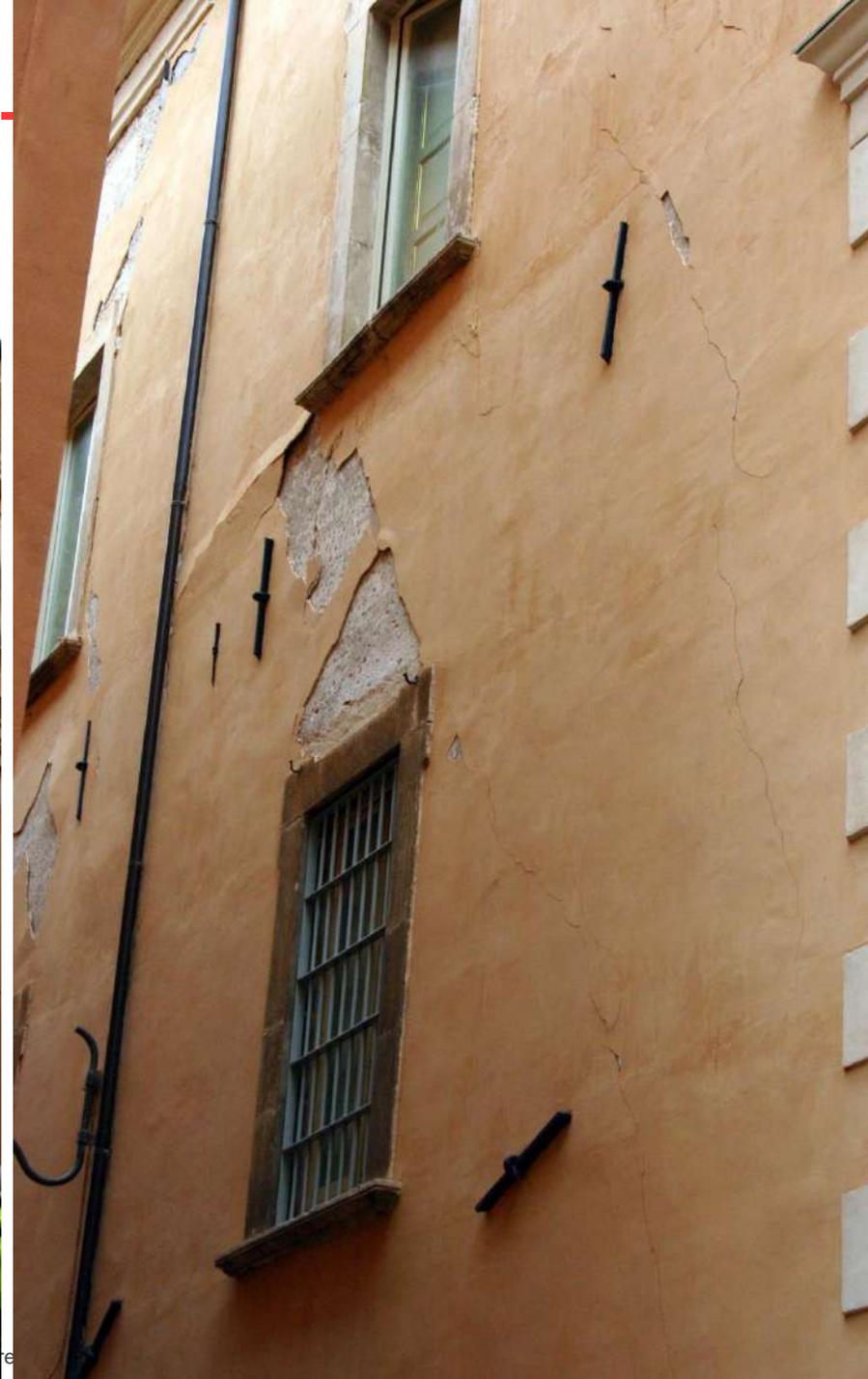








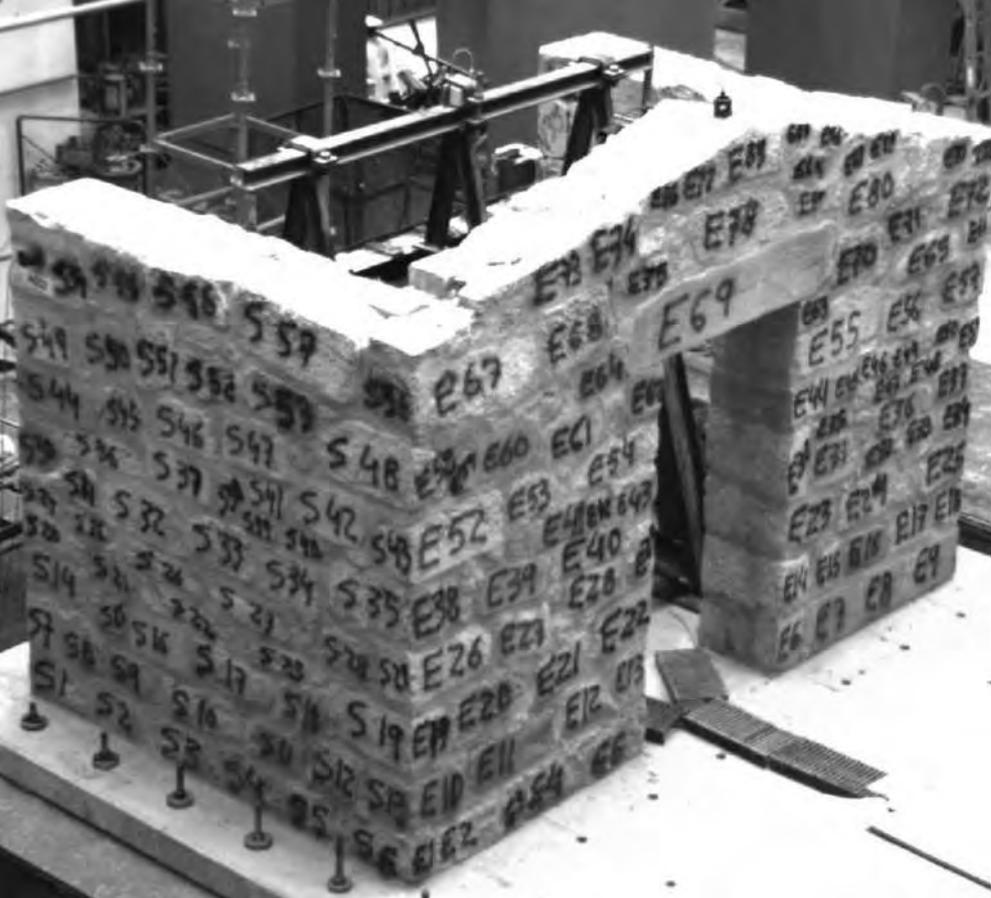






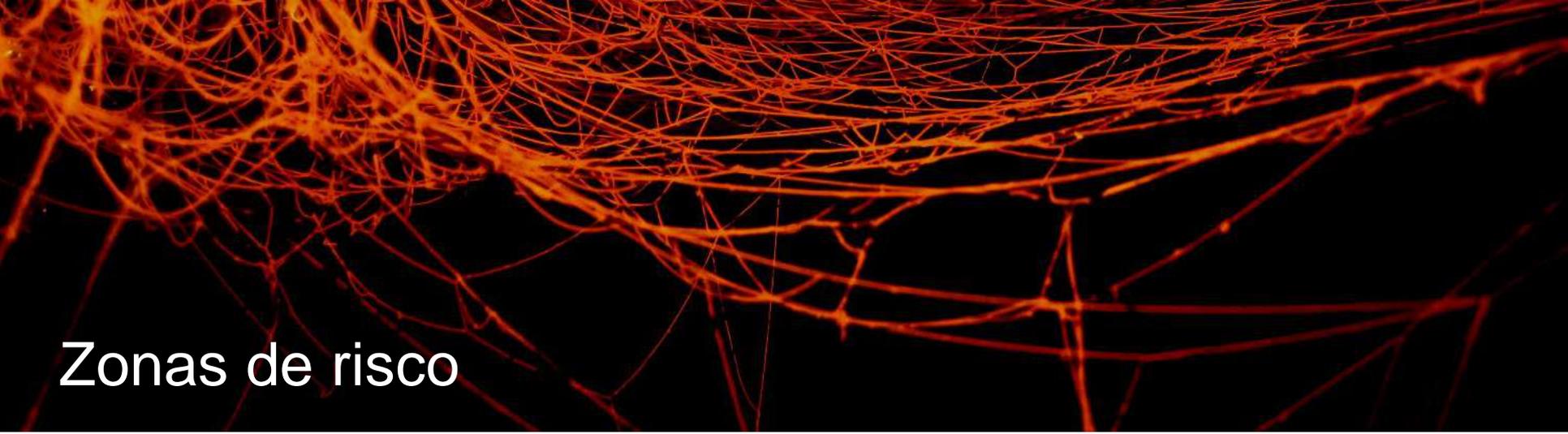


Açores, 1998



avaliação dos danos
existentes

A close-up photograph of a tree trunk showing severe damage from root rot. The lower portion of the trunk is covered in a dense, tangled mass of bright orange-red fungal growth, which is characteristic of Fusarium. The upper part of the trunk shows the natural bark texture, which appears somewhat weathered and peeling. The background is dark and out of focus, emphasizing the texture and color of the rot.



Zonas de risco

- Madeira em mau estado de conservação: avaliar a extensão da inspeção detalhada ao edifício
- Madeira em bom estado de conservação: restante estrutura em bom estado.

Edifícios correntes:

- Peças em contacto ou próximas do solo; Caves
- Apoio de vigas (essencialmente paredes exteriores)
- Zonas húmidas
- Coberturas
- Carpintarias exteriores, janelas e varandas











- 1) Caracterização da geometria e do funcionamento estrutural
- 2) Avaliação do estado de conservação
- 3) Estimativa das características físicas e mecânicas (ensaios in situ + I&D...)



- 4) Avaliação da segurança estrutural



Intervenção com base nas pré-existências e reais necessidades do edifício

Inspeção e diagnóstico

Considerações finais

- Para uma avaliação sísmica de edifícios existente, I&D fundamental para uma caracterização completa do funcionamento estrutural
- Estado de conservação de elementos estruturais influencia os resultados obtidos em análise sísmica, particularmente dos elementos verticais
- Utilização de ensaios complementares de diagnóstico fundamentais para uma correta caracterização da estrutura e elementos estruturais

Inspeção e diagnóstico

Problemas principais

- Quantificação do grau de ligação entre paredes de alvenaria de fachada ortogonais
- Quantificação do grau de ligação entre paredes interiores e exteriores
- Quantificação do grau de ligação entre elementos horizontais e verticais
- Realização de ensaios experimentais na estruturas existente em elementos de “sacrifício”

Conteúdos

10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- Alvenarias existentes
- **Inspeção e diagnóstico (ensaios)**
- Danos provocados por sismos
- Análise e verificação: análise fora-do-plano

11 outubro:

- Verificação global: análise no plano
- Reforço sísmico: técnicas e abordagens
- Casos práticos

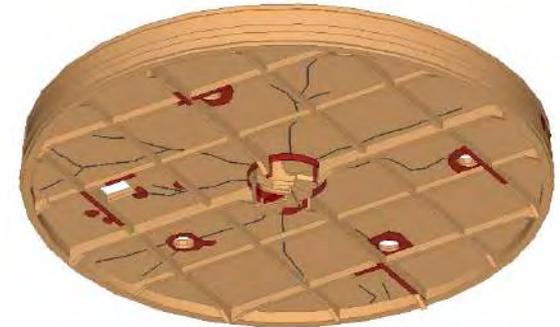
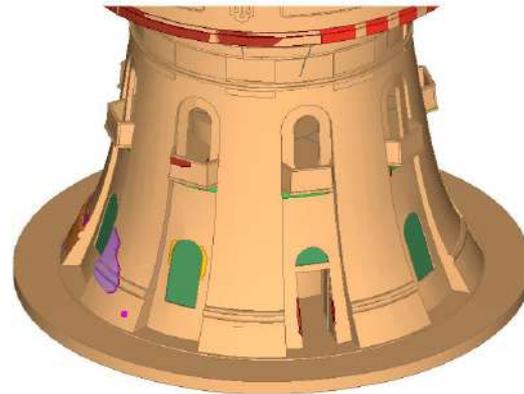
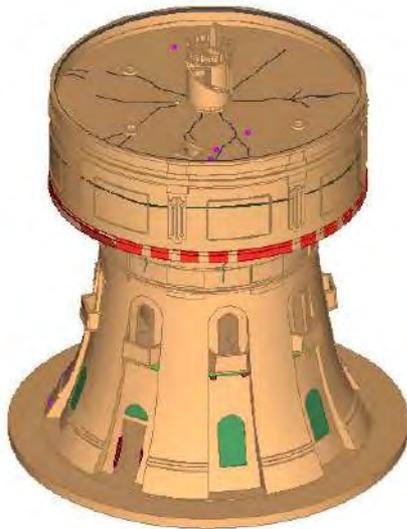
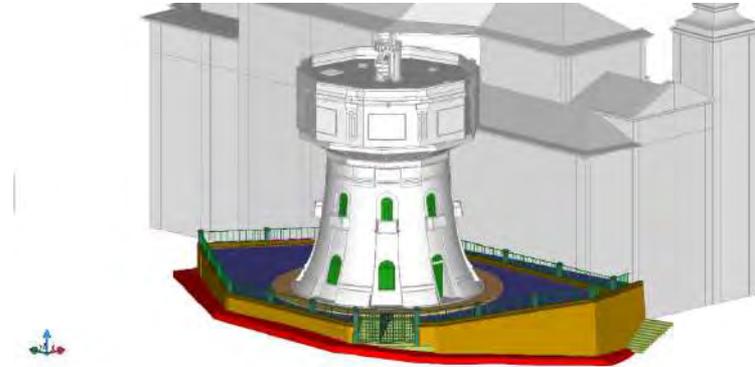
Tipos de ensaios

- Ensaaios não-destrutivos (NDT, non-destructive tests)
 - Identificação modal, sónicos, radar, termografia
- Ensaaios ligeiramente destrutivos (MDT, minor-destructive tests)
 - Macacos planos (simples e duplos), carotes
- Ensaaios destrutivos (DT, destructive tests)
 - Ensaaios in-situ de compressão, compressão diagonal ou corte-compressão
- Métodos complementares para levantamento geométrico
 - Topografia, fotogrametria e laserscanning.

Laserscanning



Laserscanning

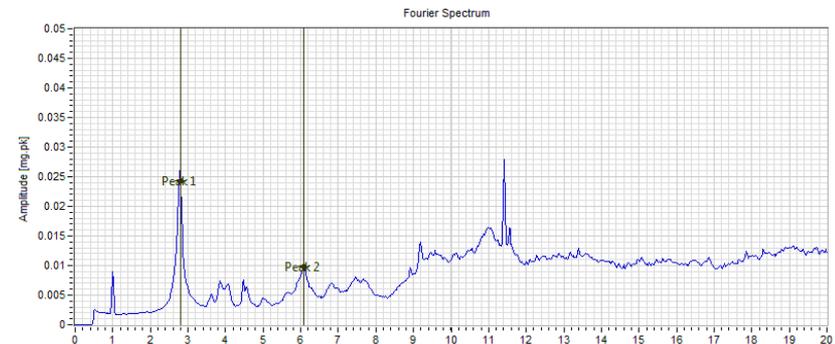
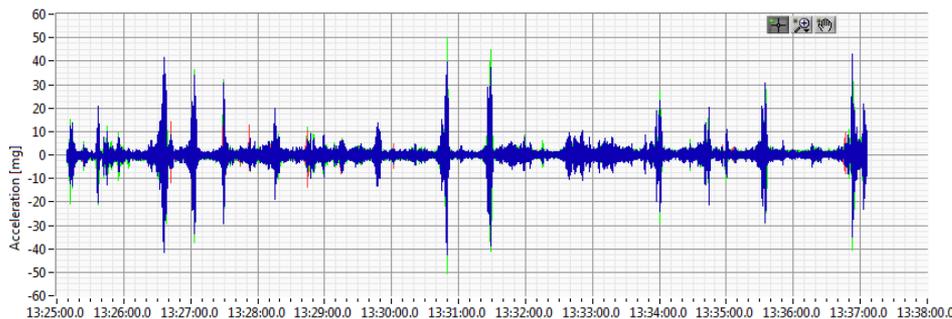


Identificação modal

- Caracterização das frequências principais e modos de vibração do edifício
- Permitem identificar a interligação entre os diferentes elementos (horizontais e verticais), assim como estimar o módulo de elasticidade
- Compreende-se a forma como a construção está actualmente a funcionar
- Mais-valia na calibração de modelos numéricos: influência de condições fronteira (ligações a edifícios vizinhos, ligações entre elementos estruturais, etc...), propriedades do material (módulo de elasticidade, densidade);
- Deve ser sempre utilizado quando possível (referido no NA do EC8-3)
- Possibilidade de identificar modos locais (muitos sensores = muito tempo)

Identificação modal

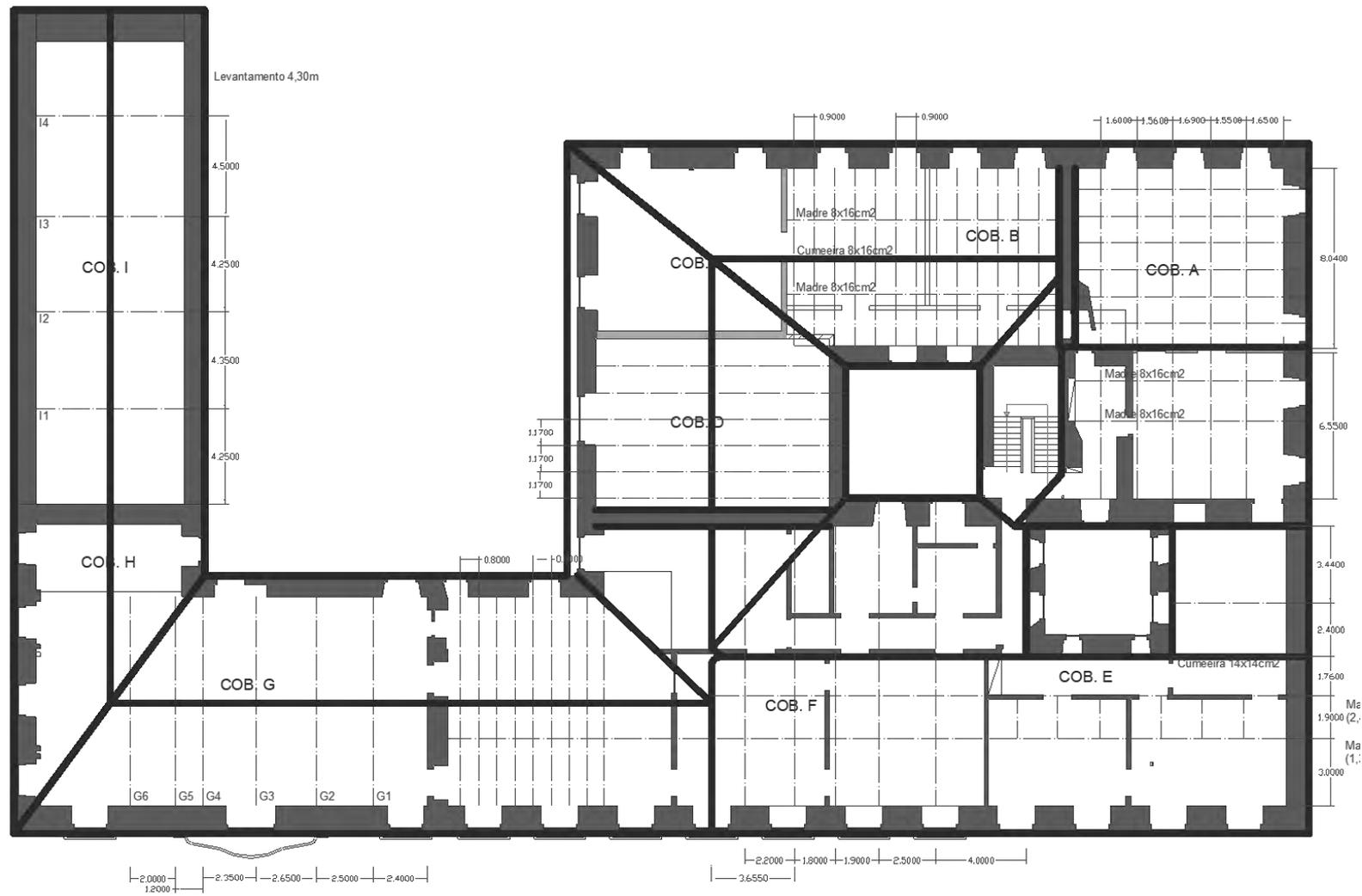
- Excitação forçada e identificação de **frequências** fundamentais de vibração:
 - reduzido tempo de aquisição (p. ex., 1 minuto), reduzida quantidade de material (1 sismógrafo) e pós-processamento de resultados simples e rápido (FFT, Fast-Fourier Transform) – **fácil e rápida aplicação**;
- Excitação ambiental (baixa amplitude) com identificação de **frequências** fundamentais e **modos de vibração**:
 - tempo de aquisição elevado (normalmente por volta de 10 minutos para edifícios de alvenaria de vários pisos), alguma complexidade de material (n-sismógrafos ou acelerómetros), vários setups de ensaio e pós-processamento mais complexo – **complexo e nem sempre justificável**;



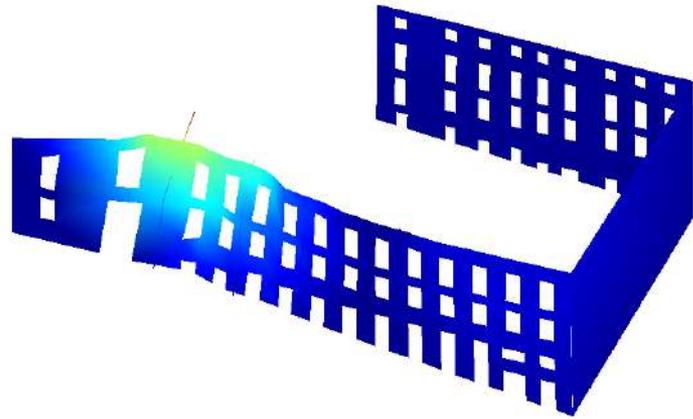


Palácio Valadares, Lisboa

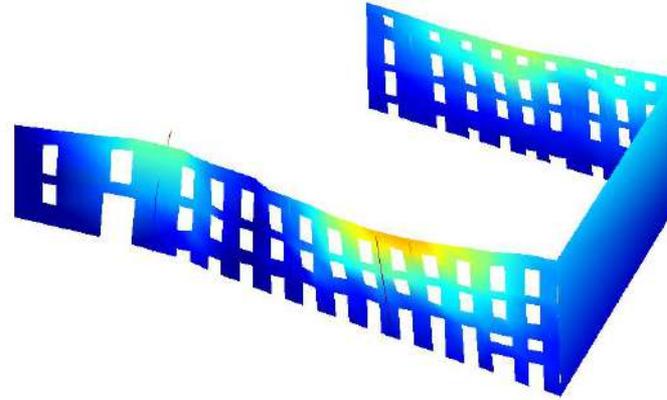
Ensaaios não-destrutivos (NDT)



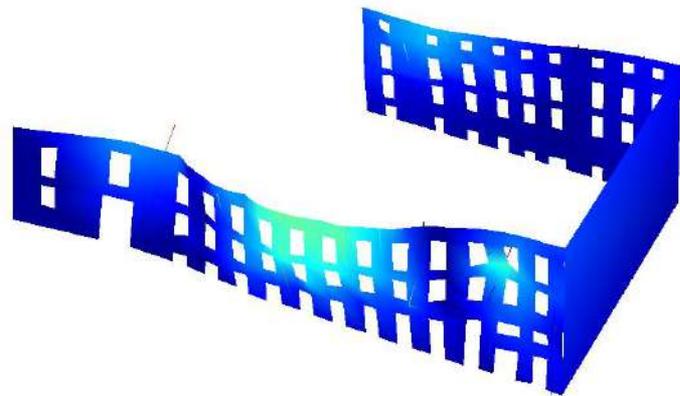




F2 (3.51 Hz)



F3 (3.81 Hz)

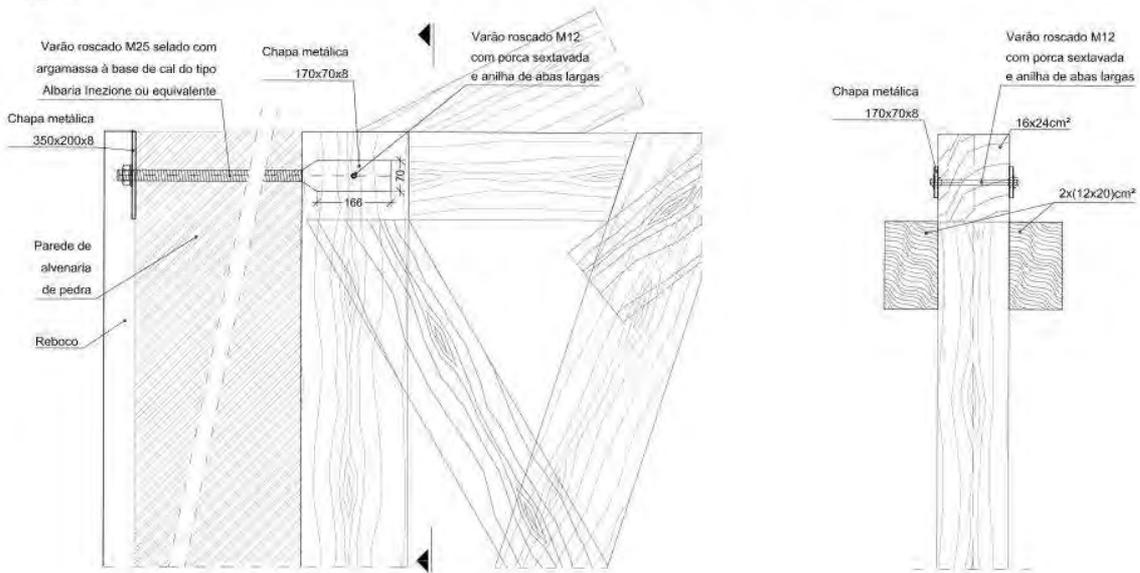


F13 (9.7 Hz)

- Permitted to observe the vulnerability of the old gymnasium area
- Joint movement of the walls: efficient connection to the roof level
- Local modes on the main facade show that it was necessary to improve this facade: lack of connection to the floor level

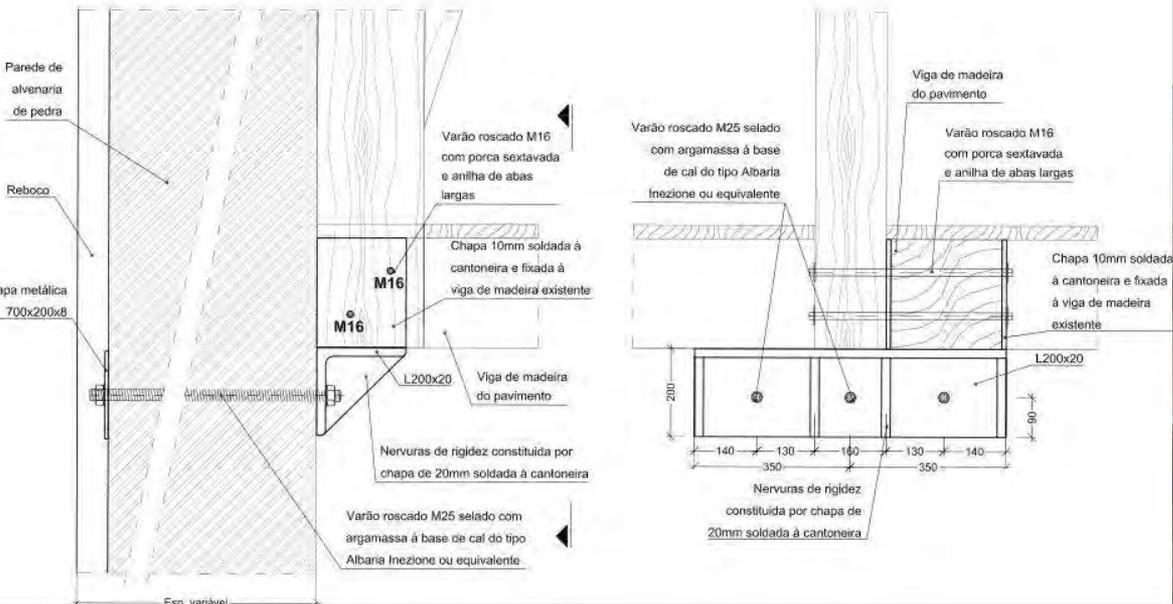
Pormenor de ligação entre as asnas A1a, A1b, A2a e A2b e as paredes de alvenaria de pedra

Esc. 1:10



Pormenor de ligação entre as asnas A1a, A1b, A2a e A2b e o pavimento de madeira do piso 2 - Alçado

Esc. 1:10

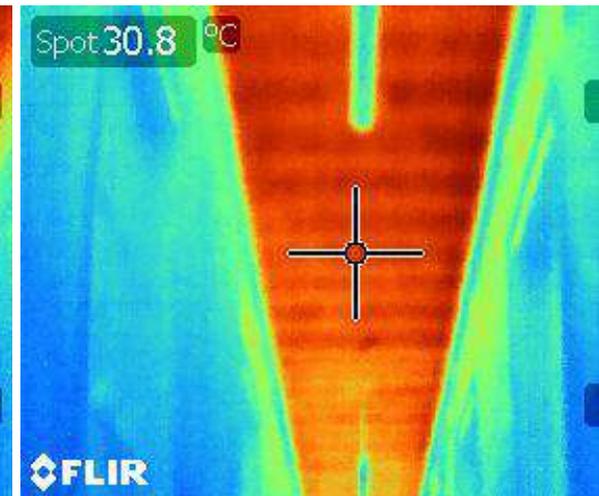
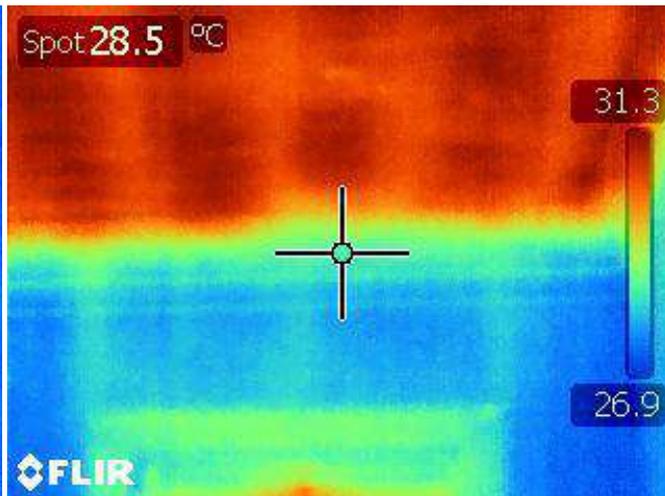


Termografia

- Utilizada para identificação de componentes estruturais embebidos na estrutura (p. ex. elementos metálicos), homogeneidade da parede (p. ex. vazios) ou mesmo elementos estruturais (p. ex. paredes de frontal).
- A grande dificuldade consiste no aquecimento do elemento estrutural para posterior arrefecimento. Este pode ser natural (passivo) ou artificial (activo).
- Recomendável realizar ao amanhecer ou entardecer em testes passivos.



Termografia



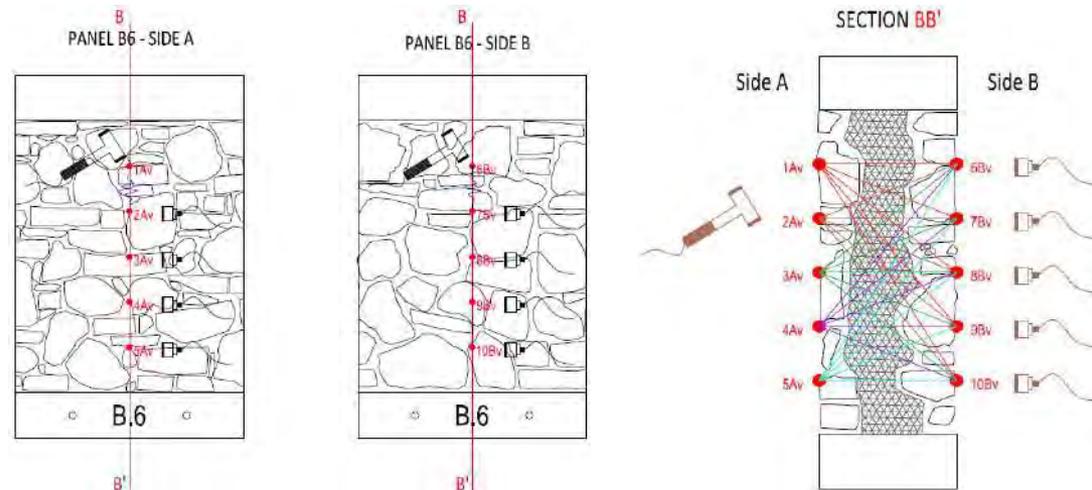
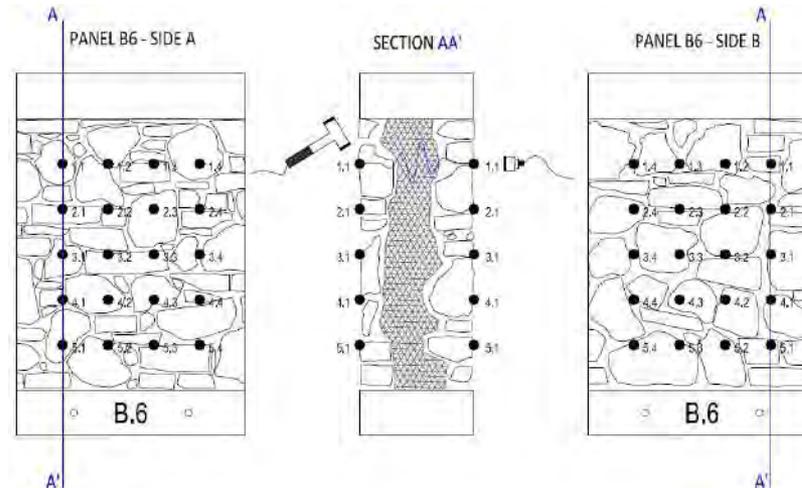
Ensaaios sónicos

- Tipos

- Ensaaios directos,
- Ensaaios indirectos;
- Tomografia.

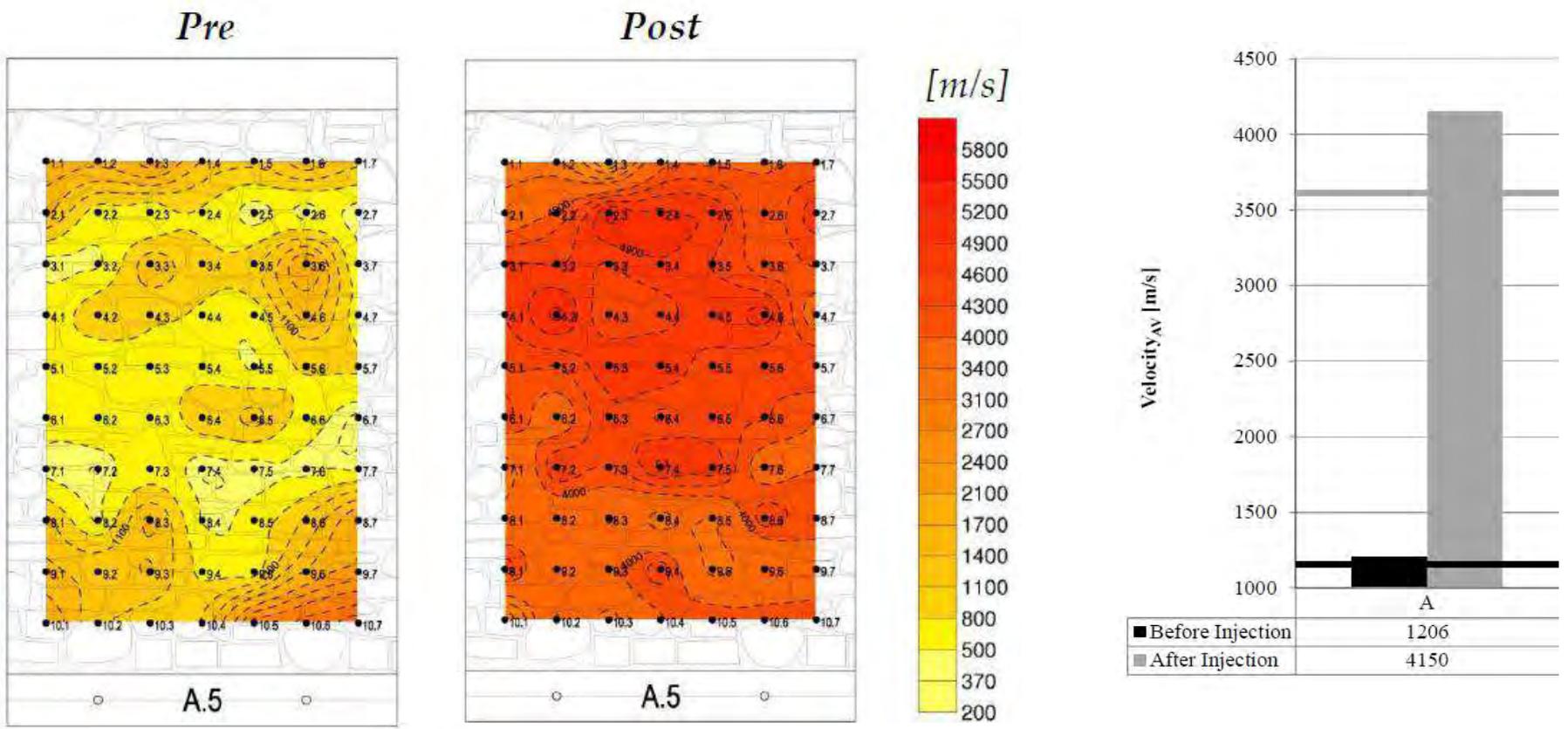
- Objectivos:

- Detecção de vazios, danos, homogeneidade material, controlo da eficiência de injeções de paredes, detecção de elementos estruturais escondidos, etc.



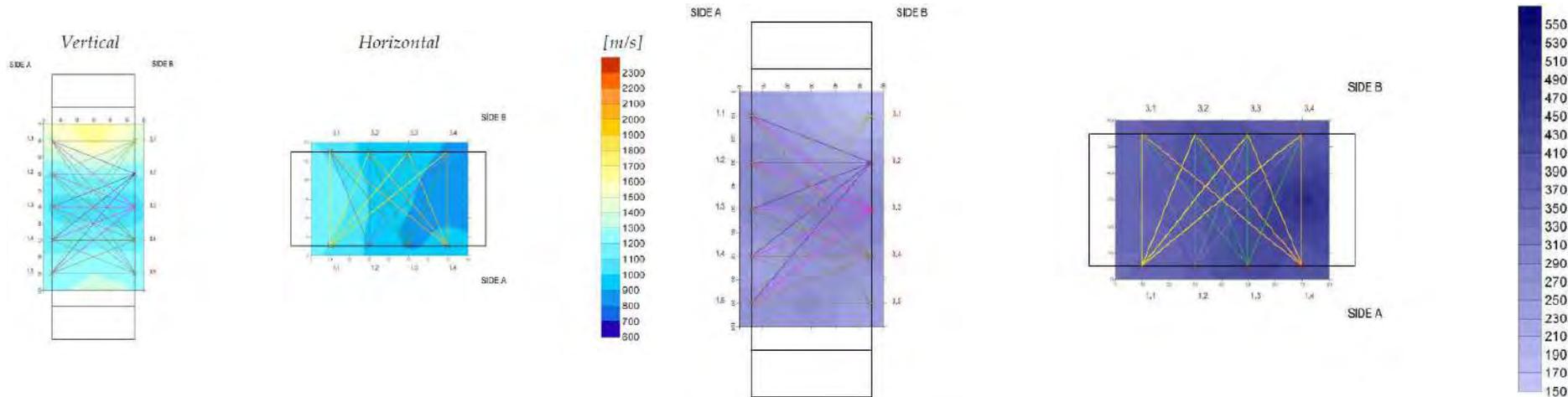
Ensaaios sónicos

- Ensaaios directos: exemplo para detecção da eficiência da uma injeção em parede de folha múltipla (3 folhas)



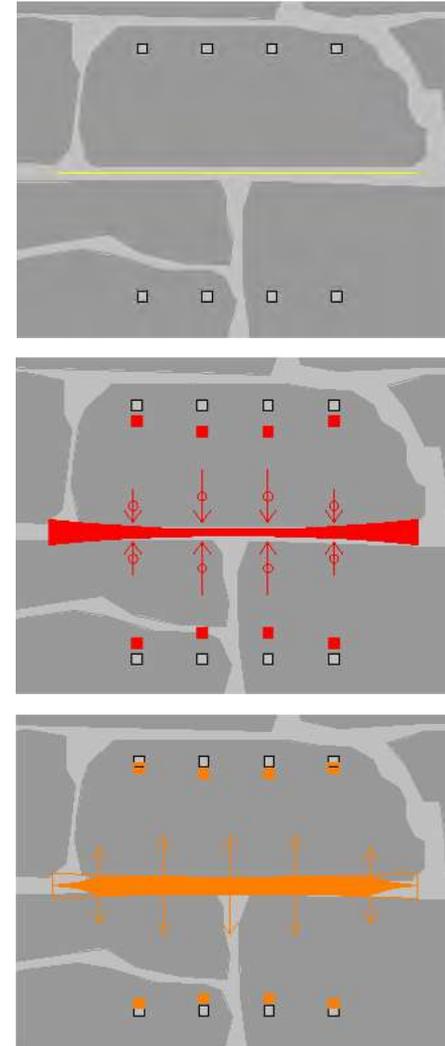
Ensaaios sónicos

- Tomografia:
 - exemplo para detecção da eficiência da uma injeção em parede de folha múltipla (3 folhas)
- Conclusões tiradas:
 - Aumento das velocidades também no interior da parede (enchimento), mostrando a eficiência da injeção, melhoria das propriedades mecânicas e maior homogeneidade.



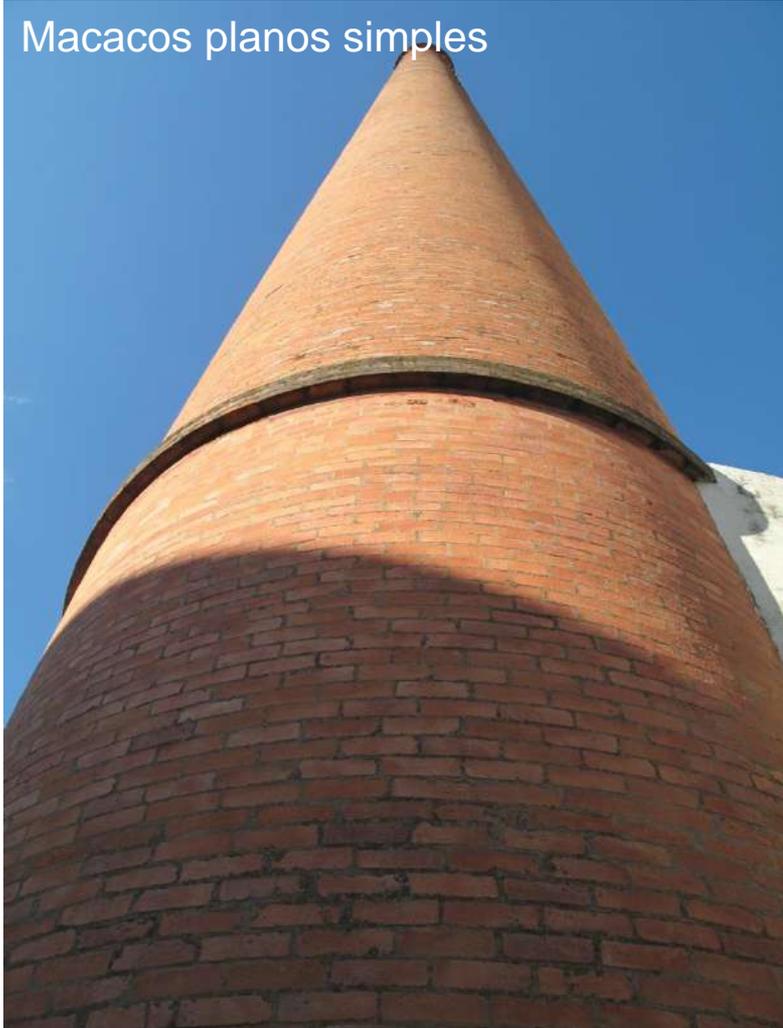
Macacos planos simples

- Permitem estimar o estado de tensão em que se encontra uma zona da estrutura. Permite também estimar (não quantitativamente), o módulo de elasticidade.
- É realizado um corte na alvenaria e, através da aproximação dos pontos de medida, que é posteriormente recolocado na sua posição inicial através da pressurização do macaco plano, é lida a pressão necessária. Esta pressão corresponde à tensão instalada na estrutura nesse ponto de leitura.
- Deve ser aplicado com bastante ponderação, especialmente na análise de resultados.
- Regulamentado pela normas ASTM (1991) e ASTM (1997) e RILEM (1990).

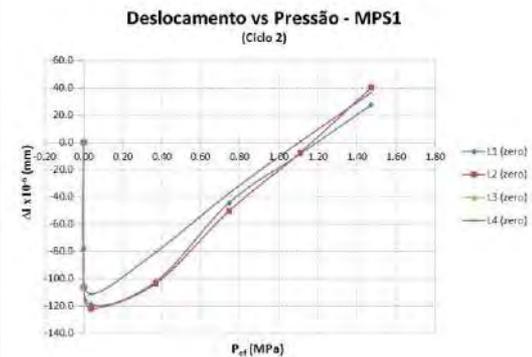


Miranda (2011)

Ensaio semi-destrutivos (MDT)

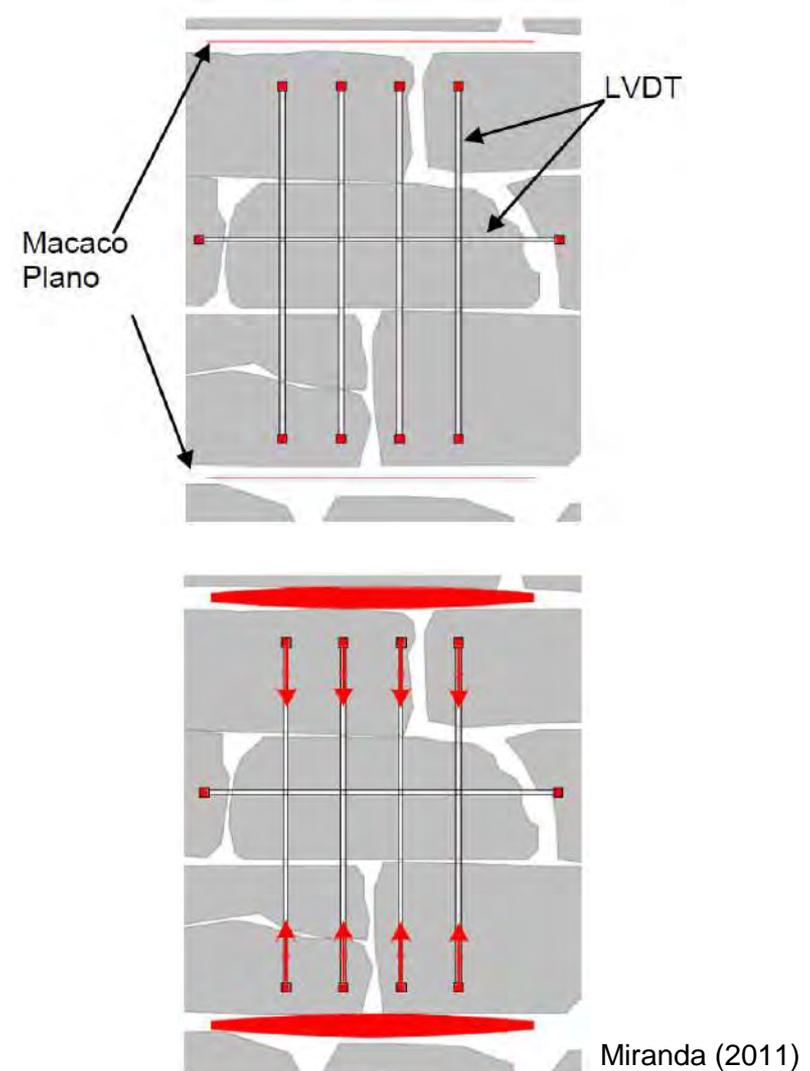


Macacos planos simples



Macacos planos duplos

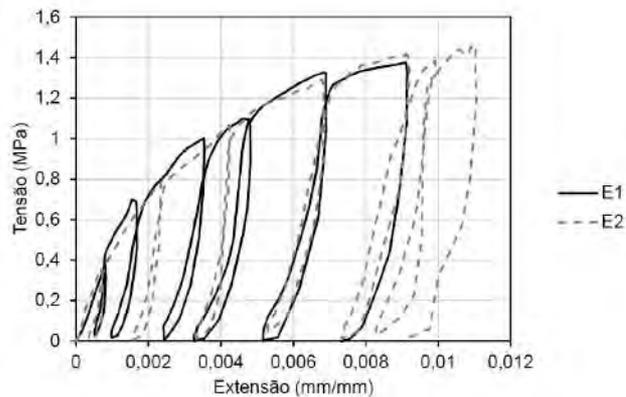
- São realizados em seguida ao ensaio de macaco plano simples
- Permite estimar as características de deformabilidade da alvenaria, nomeadamente módulo de elasticidade (tangente e secante), comportamento não linear e resistência à compressão
- A interpretação dos resultados é feita tendo em conta a experiência do operador: não é linear a quantificação do E
- Não existe correlação forte, para alvenaria de pedra, para o valor de E com sónicos e macacos planos.



Macacos planos duplos



Rua dos Fanqueiros



Ponto de Ensaio	Ensaio Duplo		σ_{max}	$\epsilon_{max,med}$	E_0	$E_{sec,20\%}$	$E_{sec,38-60\%}$	$E_{sec,ruptura}$	$E_{tan,ruptura}$	$1000 \sigma_{ult}$
	Ka	Km	(MPa)	(mm/mm)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
E1	0.772	0.902	1.38	0.00911	300	527	237	151	51	1376
E2	0.804	0.902	1.46	0.01105	344	448	209	132	33	1463
Média	0.788	0.902	1.42	0.01008	322	488	223	142	42	1419
Desvio padrão	0.022	0	0.061	0.00137	31	56	20	13	13	51
COV (%)	3	0	4	14	10	11	9	9	31	4

Alvenaria ordinária de pedra irregular de calcário (era pós-sismo de 1755); elementos de pequenas dimensões; possibilidade de presença de elementos cerâmicos no seu enchimento; juntas horizontais e verticais não claramente definidas; muitos pontos de interface entre os elementos constituintes, com alguns vazios. (Elemento de madeira no segundo ponto de ensaio)

Carotagem

- Permite a extracção de provetes representativos da alvenaria;
- Facilmente aplicável a alvenaria regular e de folha única;
- Em alvenaria irregular, a aplicação desta técnica leva à desagregação da própria alvenaria;
- A utilização de carotagem com coroa diamantada arrefecida a água destrói parcialmente a alvenaria do enchimento;
- Utilizada com boroscopia, permite analisar qualitativamente a alvenaria e caracterizá-la.

Extracção de carotes em elementos verticais Código do carote: Car. 03

Localização:
Nembo de parede entre o pavimento do Piso -1 e do Piso 0 (planta estrutural do Piso 0).
Parede interior no encontro dos alinhamentos B e 5 (sob pilar P2)

Observações:

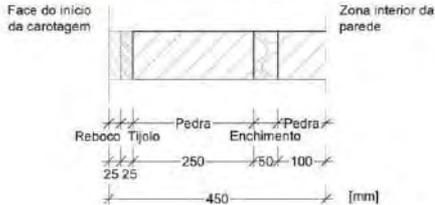
- Foi executada uma carotagem com profundidade correspondente ao comprimento total da coroadora (cerca de 45cm);
- Reboco com 2,5cm e forra de tijolo com 2,5cm
- Pano de alvenaria de pedra de folha múltipla, com 25cm de espessura de folha exterior, seguido de enchimento com cerca de 5cm, após o qual segue nova camada de alvenaria de pedra.



Imagem da localização do carote



Imagem do carote extraído



Representação esquemática do carote

Face do início da carotagem Zona interior da parede

Reboco Tijolo Pedra Enchimento Pedra

25 25 250 50 100 450 [mm]

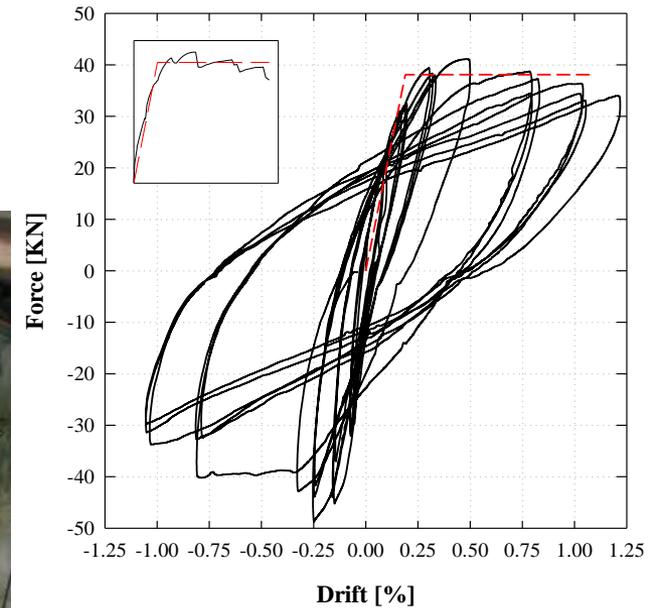
Principais tipos de ensaio

- **Compressão diagonal:** “simples” de realizar. Importante para análise sísmica
- **Compressão:** cargas verticais. Medianamente complexo
- **Corte-compressão:** mais importante para análise sísmica. Complexo
 - Raramente utilizados pois envolvem uma logística pesada e custos excessivos para o output que providenciam em estruturas correntes. No entanto, é uma mais-valia em obras de reabilitação de grande escala onde os custos se diluem.
 - Permitem caracterizar completamente o material através de “zonas de sacrifício”, otimizando posteriormente a intervenção pois o projetista já tem o material caracterizado.

Exemplo de ensaio corte-compressão

E , G e resistência ao corte (f_v)

Utiliza “elementos de sacrifício” para os ensaios



Exemplo de ensaio corte-compressão



Exemplo de ensaio corte-compressão

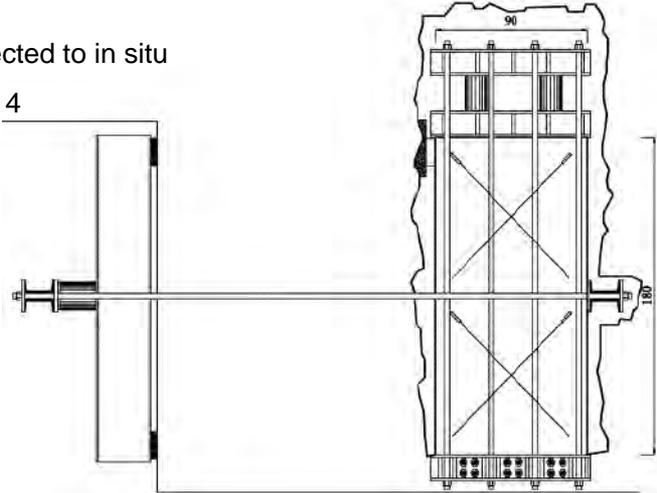
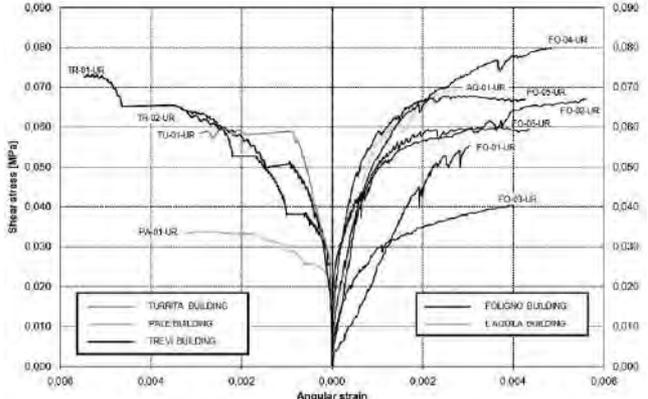


Corte-diagonal



(Vignoli, 1994, 1998)

Borri *et al.* (2011) Shear behaviour of unreinforced and reinforced masonry panels subjected to in situ diagonal compression tests, *Construction and Buildings Materials*, 25(12), pp: 4403-4414



Monitorização

- Compreensão da possível evolução de danos existentes
- Tipos de monitorização:
 - Estática
 - Dinâmica
- Monitorização dinâmica:
 - Permite identificar comportamento da estrutura ao longo do tempo
 - Calibração de modelos numéricos
 - Detecção de dano por sismo devido à modificação de frequências e/ou modos de vibração
 - Possibilidade de retomar atividade mais rapidamente após o sismo



Monitorização



Conteúdos

10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- Alvenarias existentes
- Inspeção e diagnóstico
- **Danos provocados por sismos**
- Análise e verificação: análise fora-do-plano

11 outubro:

- Verificação global: análise no plano
- Reforço sísmico: técnicas e abordagens
- Casos práticos

Alguns danos provocados por sismos



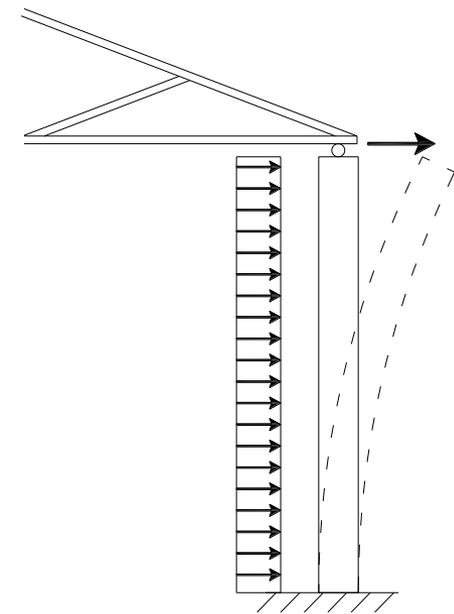
Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos

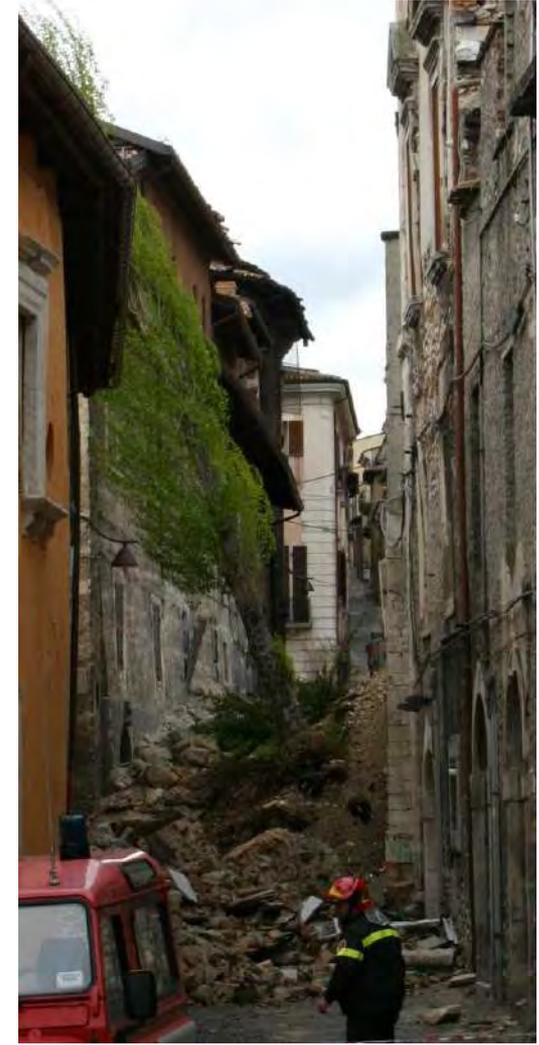


Alguns danos provocados por sismos



Onna, 29 Abril 2009

Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



Alguns danos provocados por sismos



10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- Alvenarias existentes
- Inspeção e diagnóstico
- Danos provocados por sismos
- **Análise e verificação: análise fora-do-plano**

11 outubro:

- Verificação global: análise no plano
- Reforço sísmico: técnicas e abordagens
- Casos práticos

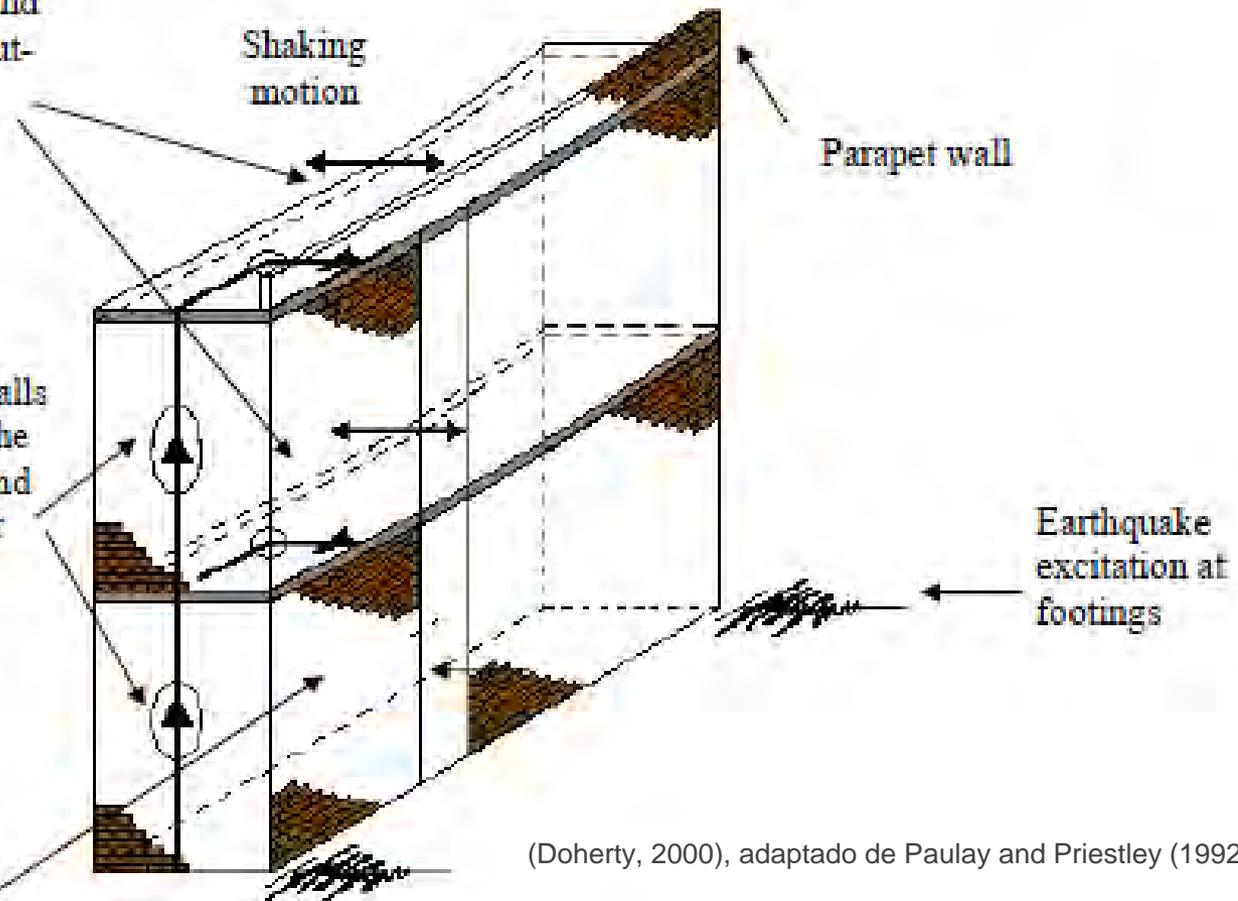
Introdução

- Acção sísmica em estruturas de alvenaria existentes

Floor diaphragm response amplifies accelerations and transmits excitation to out-of-plane walls

In-plane shear walls response filters the ground motion and transmits to floor diaphragms

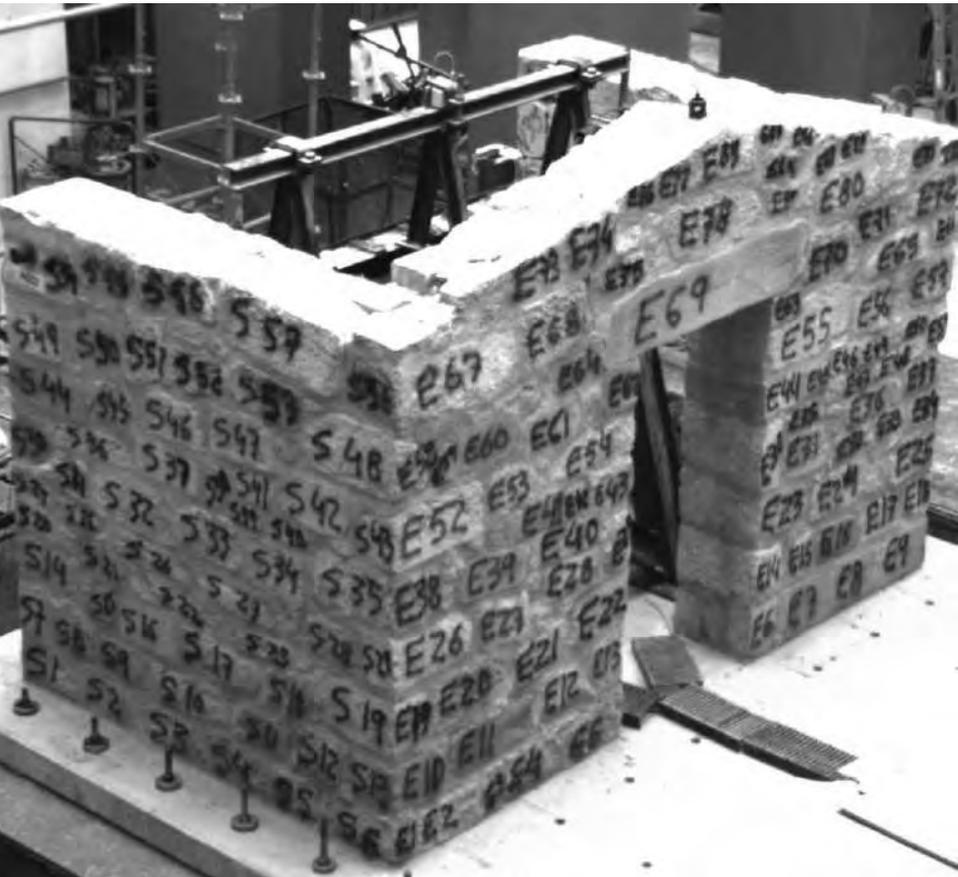
Out-of-plane wall

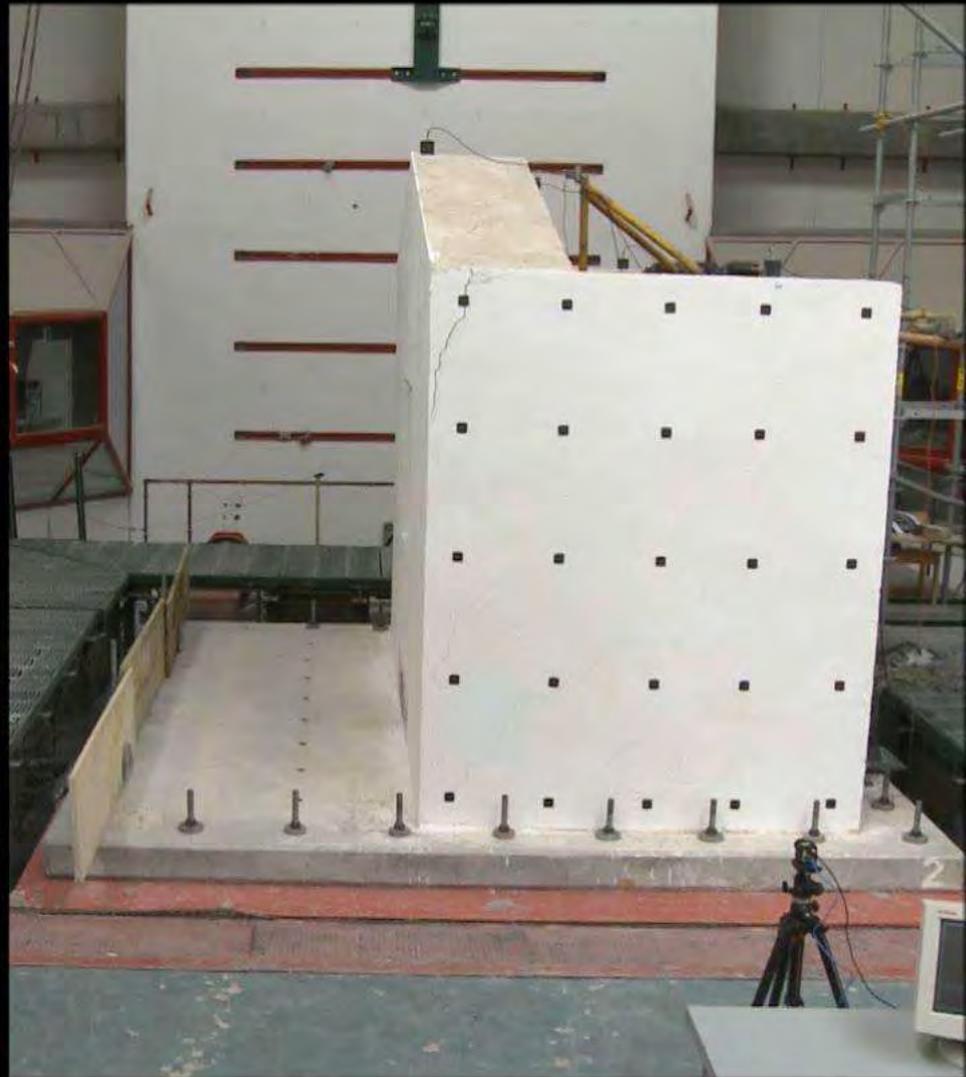


(Doherty, 2000), adaptado de Paulay and Priestley (1992)

Introdução

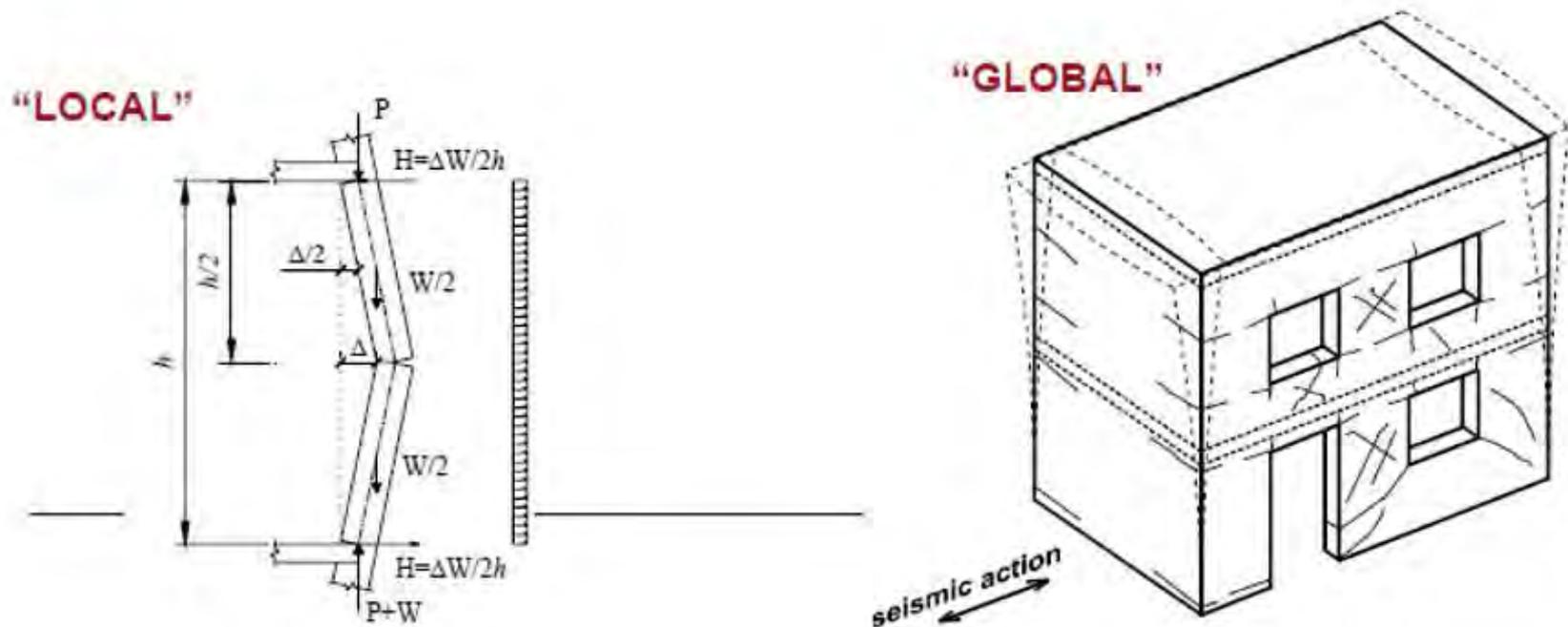
- 1º objetivo: evitar colapso fora-do-plano
 - Definição de mecanismos locais





Conceitos base

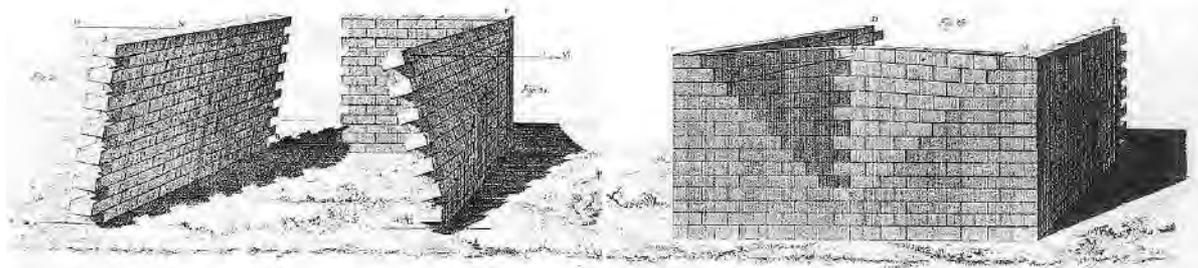
- A experiência adquirida em eventos sísmicos passados mostra que:
 - 1º modo de rotura: falhas **fora-do-plano** são propensas a ocorrer nas construções de alvenaria não reforçadas
 - 2º modo de rotura: comportamento no **plano** “pode ser controlado”



(Magenes e Griffith, 2007)

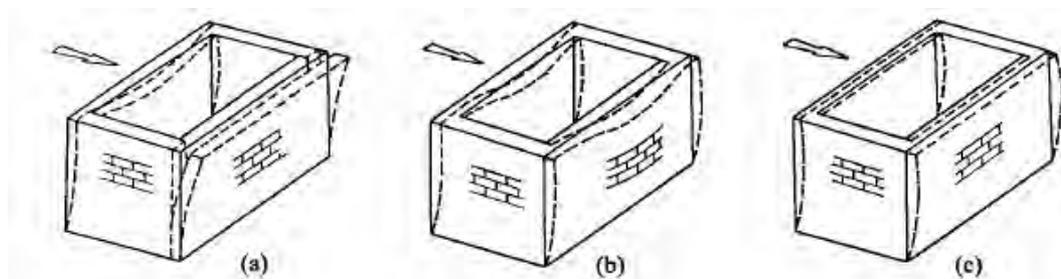
Conceitos base

- É novo?



Mecanismos de colapso fora do plano (Rondelet, 1802)

- Como evitar mecanismos locais (fora-do-plano)?



Mecanismo de colapso fora-do-plano

Prevenção de colapso fora-do-plano através de viga de coroamento (diafragma flexível)

Prevenção de colapso fora-do-plano com comportamento de diafragma rígido

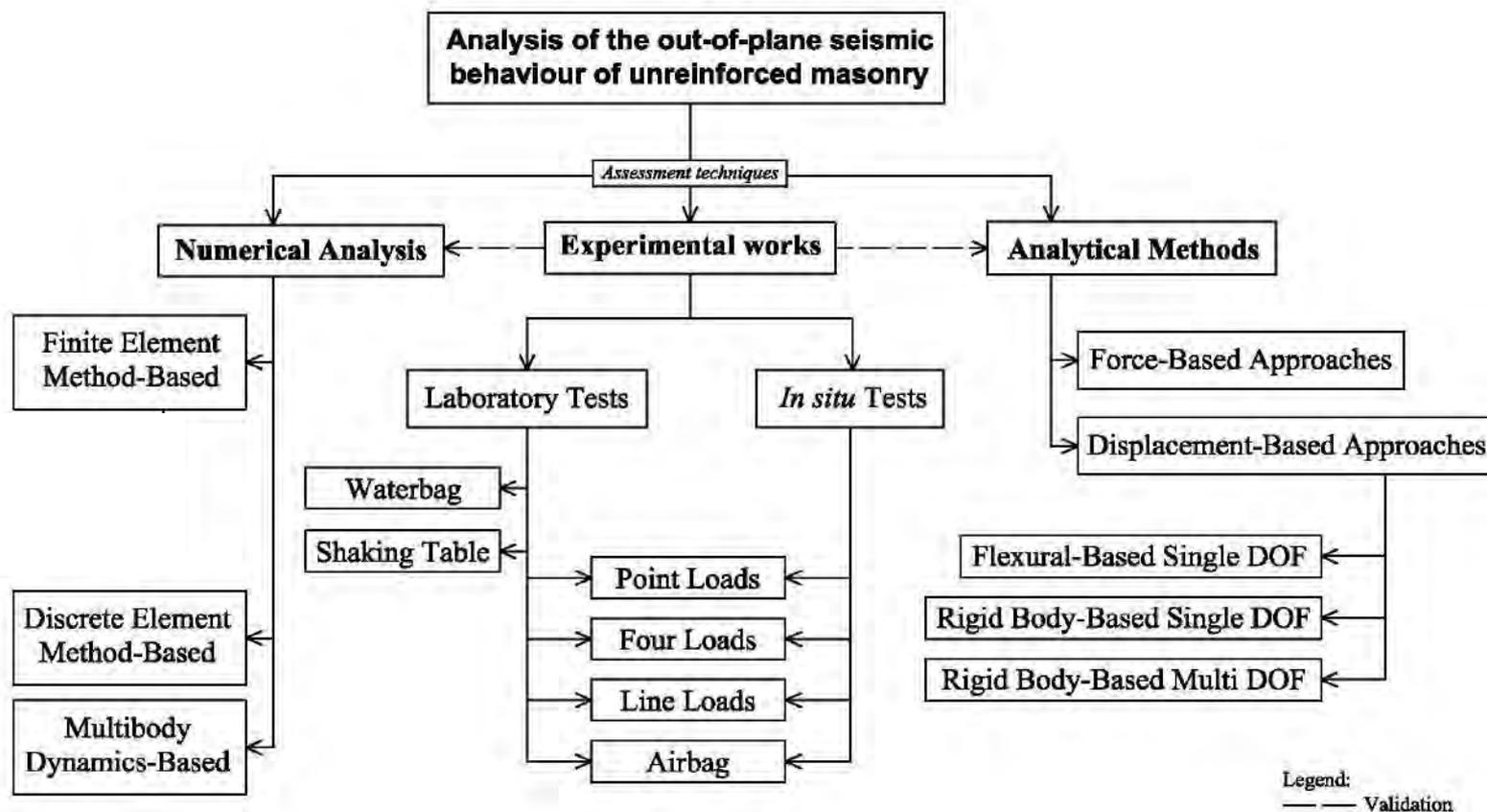
(Magenes e Griffith, 2007)

- Para novos edifícios em alvenaria, assume-se que a formação de mecanismos locais é mitigada através de ligações rígidas entre elementos resistentes verticais e horizontais (pavimentos, telhado, etc.)

Conceitos base

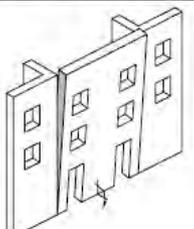
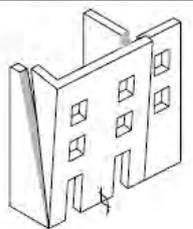
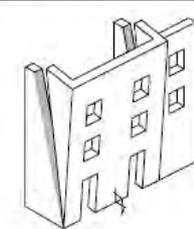
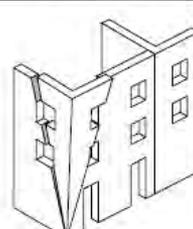
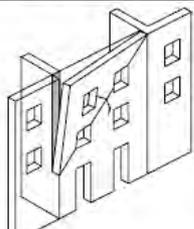
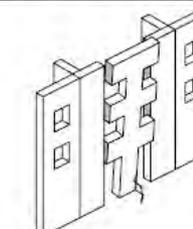
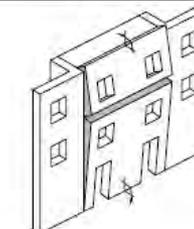
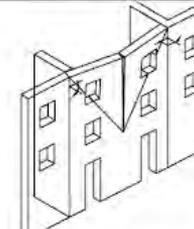
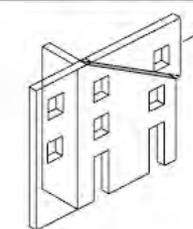
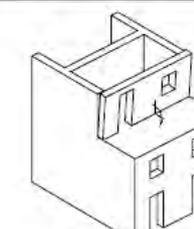
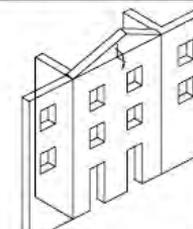
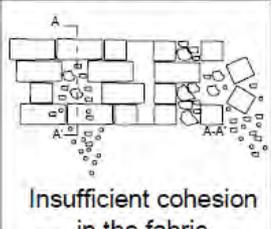
- Porque motivos a análise de estruturas em alvenaria é diferente de outras tipologias construtivas (edifícios em betão armado, aço, etc.)?
 - A massa distribui-se ao longo das paredes e não se concentra no nível dos pavimentos
 - Todos os elementos verticais (paredes) contribuem para a resistência sísmica
 - As paredes de alvenaria contribuem para a inércia e resistência do edifício
- Para edifícios existentes em alvenaria:
 - 1ª verificação: mecanismos locais
 - 2ª verificação: usar procedimentos do EC8 para análise ao comportamento global (análises lineares requerem cuidados)
- Para edifícios novos em alvenaria:
 - Usar procedimentos do EC8 para análise ao comportamento global

Conceitos base

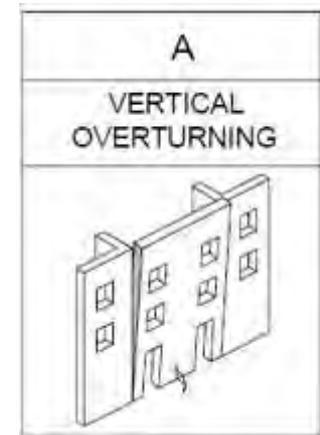


Mecanismos locais

- Definido com base nos colapsos de sismos passados e.g., D'Ayala e Speranza (2002)

A	B1	B2	C	D	E	F
VERTICAL OVERTURNING	OVERTURNING WITH 1 SIDE WING	OVERTURNING WITH 2 SIDE WINGS	CORNER FAILURE	PARTIAL OVERTURNING	VERTICAL STRIP OVERTURNING	VERTICAL ARCH
						
		FURTHER PARTIAL FAILURES		ASSOCIATED FAILURES		
G	H	I	L			
HORIZONTAL ARCH	IN PLANE FAILURE	VERTICAL ADDITION	GABLE OVERTURNING	ROOF/FLOORS COLLAPSE	MASONRY FAILURE	
						Insufficient cohesion in the fabric

Mecanismos locais

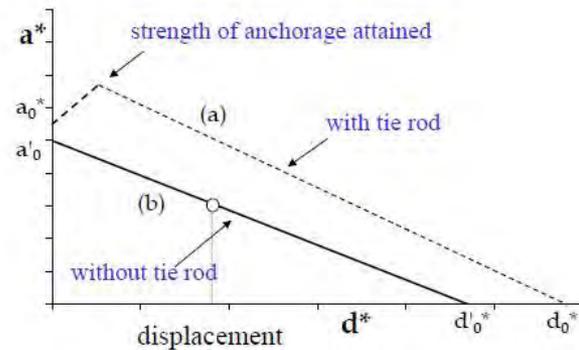
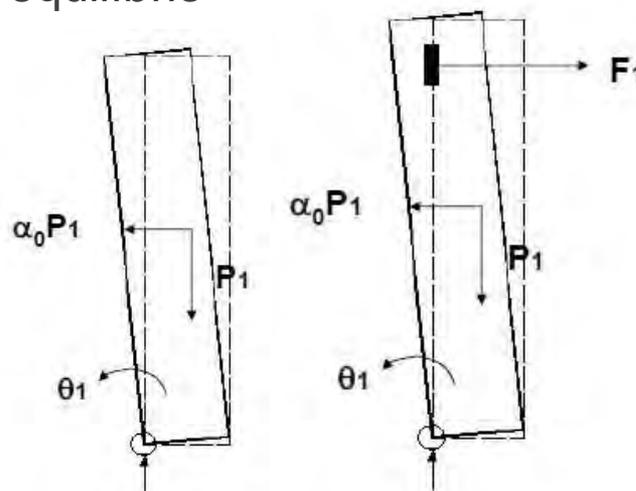


Mecanismos locais

- Grande parte dos mecanismos de colapso estão relacionados com a perda de equilíbrio
- A tipologia das paredes influencia o mecanismo de colapso (folha simples, folha dupla, etc.)
- Pode-se efectuar uma análise para definir a resistência limite estática, mas não de colapso (sem considerar a capacidade de deslocamento fora-do-plano). O cálculo pode ser obtido através do Princípio dos Trabalhos Virtuais (PTV) ou directamente de equações de equilíbrio (para mecanismos simples)
- Maior problema: definição dos mecanismos locais (geometricamente)

Mecanismos locais

- Origem do primeiro coeficiente sísmico (depois do sismo de Messina de 1908)
- Simples equação de equilíbrio



(Magenes e Griffith, 2007)

$$M_{est} \geq M_{der}$$

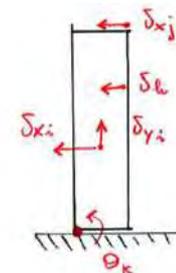
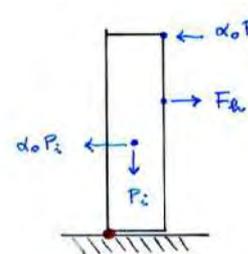
$$P_1 \frac{b}{2} \geq \alpha_0 P_1 \frac{h}{2}$$

$$\alpha_0 \leq \frac{b}{h}$$

Mecanismos locais

- Em mecanismos mais complexos (geometria complexa ou mais do que 1 bloco rígido), utilização do Princípio dos Trabalhos Virtuais (PTV)

$$\alpha_0 \left(\sum_{i=1}^n P_i \delta_{x,i} + \sum_{j=n+1}^{n+m} P_j \delta_{x,j} \right) - \sum_{i=1}^n P_i \delta_{y,i} - \sum_{h=1}^o F_h \delta_h = L_{fi}$$



P_i – força relativa ao peso próprio dos blocos aplicada ao seu centro de gravidade

P_j – força relativa ao peso de corpos não intervenientes no mecanismo mas que a sua massa é capaz de gerar forças de inércia intervenientes no sismo (ex.: cobertura)

$\delta_{x,i}$ – deslocamento virtual horizontal do ponto de aplicação de P_i

$\delta_{x,j}$ – deslocamento virtual horizontal do ponto de aplicação P_j

$\delta_{y,i}$ – deslocamento virtual vertical do ponto de aplicação de P_i

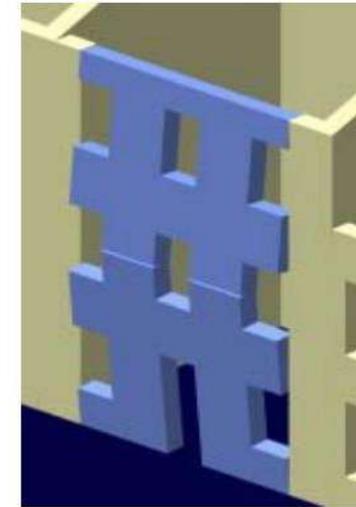
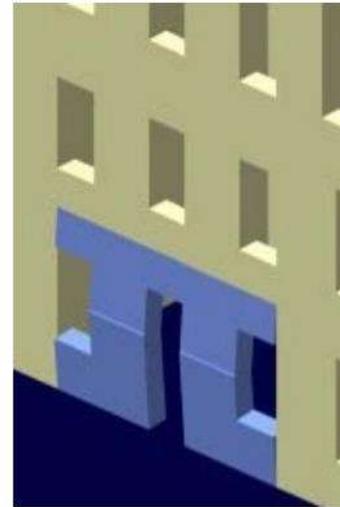
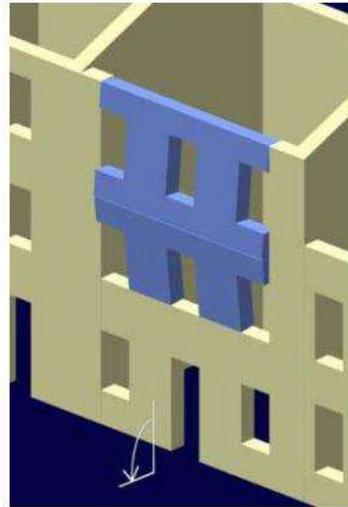
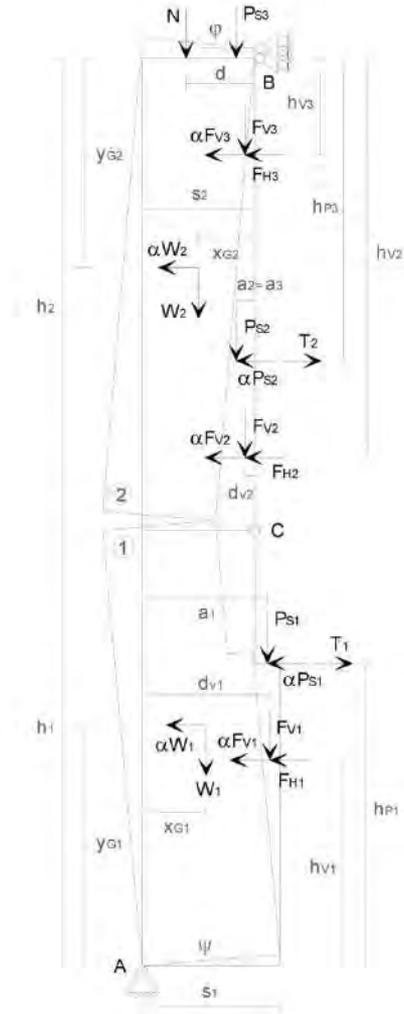
$\delta_{y,j}$ – deslocamento virtual vertical do ponto de aplicação de P_j

F_h – força horizontal externa ao mecanismo e não influenciada pela ação sísmica (ex.: tirante)

D_h – deslocamento virtual do ponto de aplicação de F_h

L_{fi} – trabalho total das forças internas

Mecanismos locais



Adaptado de Beolchini *et al.* (2007)

Mecanismos locais

- Definição do mecanismo feito com base em modelação específica (FEM ou elementos discretos) ou diretamente pelo projetista, com base no conhecimento do edifício e comportamento sísmico de estruturas semelhantes
- Deverá ser considerada a fissuração já existente e não só aquela potencialmente provocada pela ação sísmica
- Válido se não há potencial de desagregação da parede
- Hipóteses tradicionalmente consideradas nos modelos:
 - Ausência de resistência à tração dos blocos
 - Não há deslizamento entre blocos
 - Resistência à compressão infinita dos blocos

Mecanismos locais

- Análise cinemática linear (útil em mecanismos complexos):
 - Avaliação da ação horizontal que ativa o mecanismo
 - Comparação entre esse valor e a máxima aceleração do solo correspondente ao estado-limite, no caso de danos severos afetado de coeficiente de comportamento ($q = 2$)
 - Transformação em sistema 1 g.d.l. (peso em n blocos, m forças de inércia mobilizadas de outras partes da estruturas, p. ex., pavimento)

$$M^* = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i} \right)^2}{g \sum_{i=1}^{n+m} P_i \delta_{x,i}^2}$$

Massa participativa

$$a_0^* = \frac{\alpha_0 \sum_{i=1}^{n+m} P_i}{M^*} = \frac{\alpha_0 g}{e^* C F_{KL1}}$$

Limite de
resistência estática

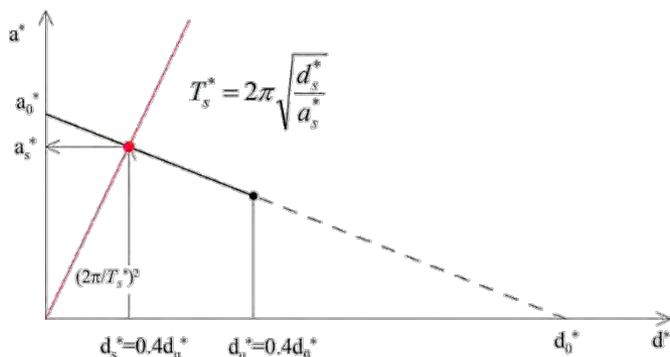
$$e^* = g M^* / \sum_{i=1}^{n+m} P_i$$

% participação massa

- Verificação de segurança: $a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q}$

Mecanismos locais

- Análise cinemática não-linear:
 - Definição da curva de comportamento do mecanismo, em formato aceleração vs. deslocamento
 - Transformação em sistema equivalente 1 g.d.l. e obtenção da capacidade de deslocamento último
 - Verificação do deslocamento-alvo com o deslocamento último
 - Tira partido da capacidade de deslocamento, sendo menos conservativa mas mais realista. Versão mais recente com atualizações



$$T_s < 1.5T_1$$

$$1.5T_1 \leq T_s < T_D$$

$$T_D \leq T_s$$

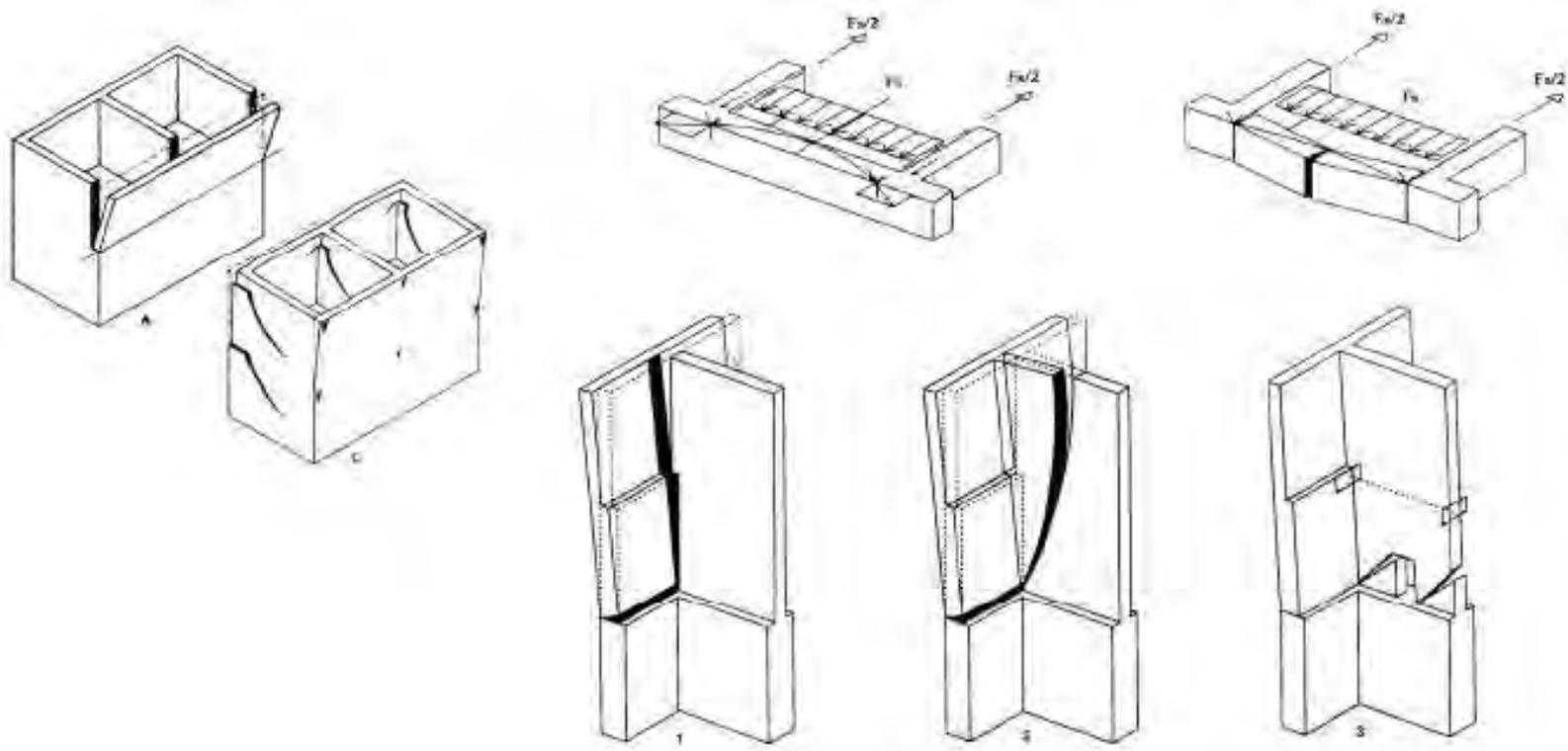
$$\Delta_d(T_s) = a_g S \frac{T_s^2}{4\pi^2} \left(\frac{3(1+Z/H)}{1+(1-T_s/T_1)^2} - 0.5 \right)$$

$$\Delta_d(T_s) = a_g S \frac{1.5T_1 T_s}{4\pi^2} \left(1.9 + 2.4 \frac{Z}{H} \right)$$

$$\Delta_d(T_s) = a_g S \frac{1.5T_1 T_D}{4\pi^2} \left(1.9 + 2.4 \frac{Z}{H} \right)$$

Mecanismos locais: factores que influenciam o limite estático

- Geometria e dispositivos de restrição (e.g. tirantes)
- Cargas verticais (do peso próprio, pisos, etc.)
- Forças de atrito (mobilização das paredes perpendiculares)
- Resistência à compressão da alvenaria



(Magenes and Griffith, 2007)

Slide 18 / Alexandre A. Costa, 2022

Mecanismos locais: como prevenir?

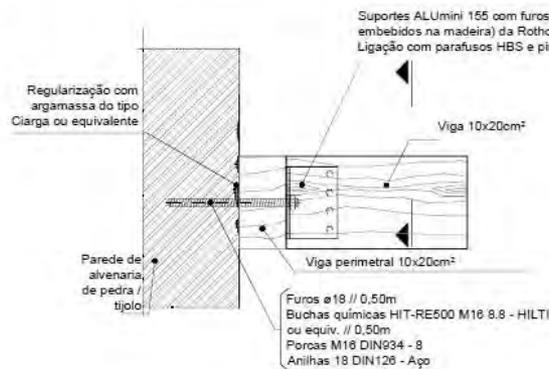


connections

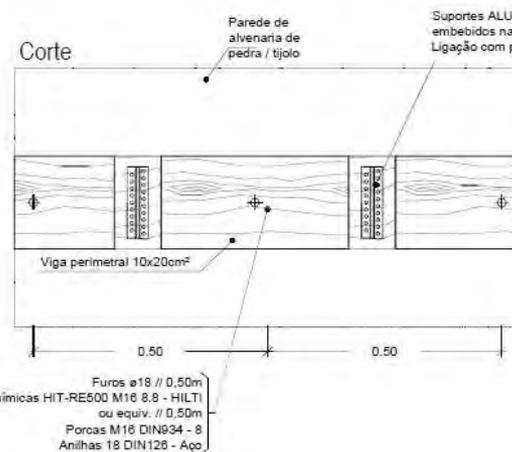
connections

Apoio vigas de madeira perimetrais nas paredes de alvenaria de pedra (pisos 1, 2 e 3)

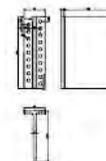
Esc. 1:10



NOTA : Deverá se feita a consolidação da alvenaria de pedra e de tijolo nas zonas de fixação das buchas químicas (a definir em obra)



Pormenor de suporte ALU MINI 155 com furos (aparafusagem total)





connections

Mecanismos locais: como prevenir?

80 BIBLIOTECA DE INSTRUÇÃO PROFISSIONAL

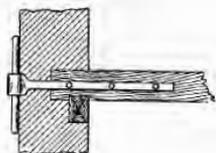


Fig. 152 - Ferrólho de chaveta

formas muito variadas, mas consistindo essencialmente em barras chatas de ferro, com furos para pregar ou aparafusar às pontas das vigas, e terminando do lado oposto num olhal em que se enfla um pedaço de varão ou vergalhão, chamado *chavêta*. É esta *chavêta* que freqüentemente se vê na parte exterior das paredes, umas vezes direita, outras em forma de S. A *fig. 152* representa um *ferrólho de chavêta* deste género.

Às vezes a *chavêta* é substituída por ornatos de ferro, em forma de flor de lis e outras, aparentes

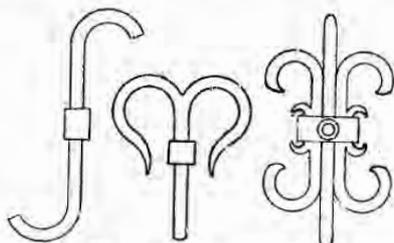


Fig. 153 - Ferrólhos ornamentais

nas paredes, representando a *fig. 153* três tipos diversos.

Quando se não pode ou quere deixar as *chavêtas* dos *ferrólhos* aparentes, faz-se uso de *ferrólhos*

TRABALHOS DE CARPINTARIA CIVIL 81

de esquadro, *fig. 154*, que diferem dos anteriores em a barra ser dobrada em ângulo recto ficando o ramo vertical metido na parede.

Para ligar os *frechais* de madeira a paredes, usam-se *cavilhas* chumbadas à alvenaria, em que repousam os *frechais*; outras vezes são os próprios *frechais* atravessados por estas *cavilhas*, cujo extremo que mete na parede é rachado em forma de unha e, no outro extremo, tem rêsca onde entra uma porca para apertar a madeira. Podem ainda ser constituídas por duas *cavilhas* chumbadas, uma por baixo, outra por cima da viga, e abraçados os dois extremos por uma barra, sobre a qual apertam as porcas.

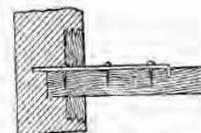
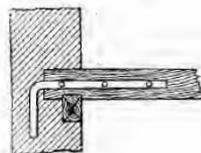


Fig. 154 - Ferrólho de esquadro

A propósito do *vigamento* dos *sobrados* daremos alguns exemplos de *ferrólhos* deste género.

34 - Esquadros e outras ferragens.

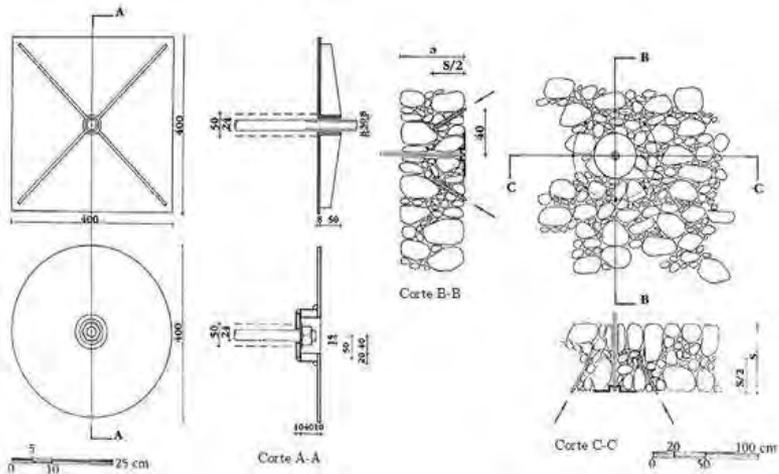
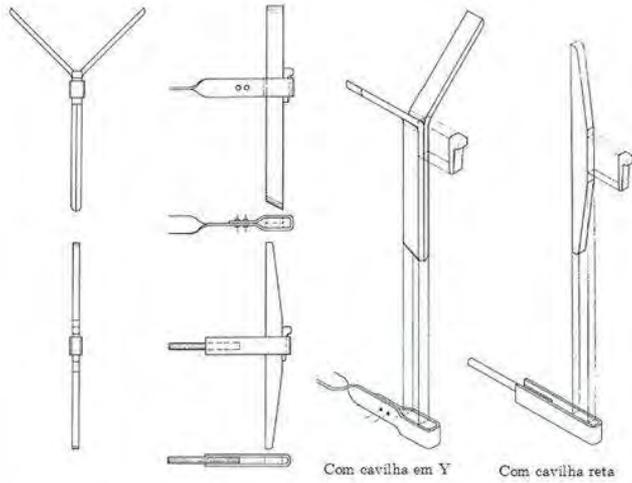
— Para reforçar as ligações de vigas a tampo, por meio de *sambladuras*, empregam-se barras chatas largas com furos onde se metem pregos ou parafusos. Quando são duplas, de um e outro lado da viga, apertam-se as barras por meio de parafusos com porcas.

A ligação de duas vigas em ângulo recto reforça-se por meio de *esquadros* de barra de ferro, com o aspecto da *fig. 155*, com furos abertos para a colocação de pregos ou parafusos.

Outras vezes o *esquadro* tem a forma de um T, *fig. 156*, aplicável quando se queira reforçar a li-

Segurado, J. E. S. e Pinheiro, Thomaz Bordallo. *Trabalhos de carpintaria civil*, Biblioteca de instrução profissional, Aillaud (Lisboa)

Análise fora-do-plano





Lisboa, 2017

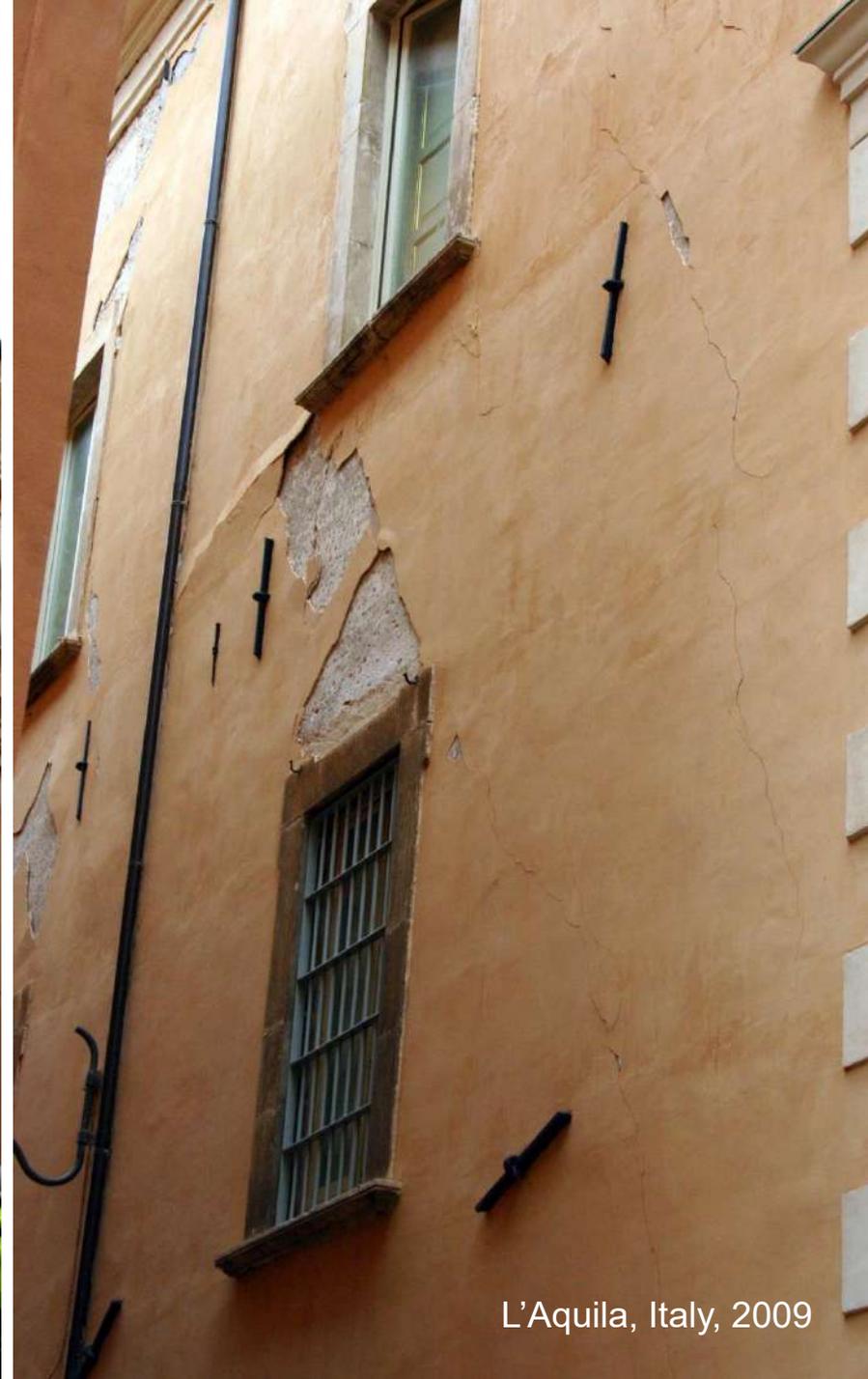


Universidade Granada, 2019

Análise fora-do-plano



Brugges, Belgium, 2020



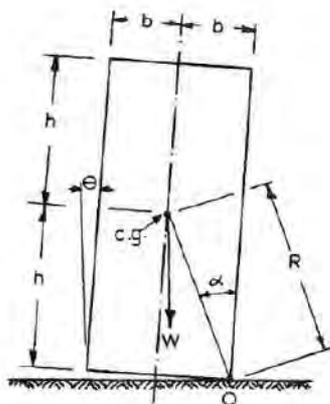
L'Aquila, Italy, 2009

Mecanismos locais: análise

- Dinâmica não-linear (baseada em energia)
 - Apresentado pela primeira vez por Housner (1963) que observou reservatórios de água após sismo no Chile sem danos: oscilação governada por dois parâmetros principais. Energia dissipada em impactos (coeficiente de restituição)
 - Estudos mais interessantes de Makris e Roussos (2000) para ação sísmica próxima com pulsos de velocidade



Sichuan earthquake, 2008



Housner (1963)

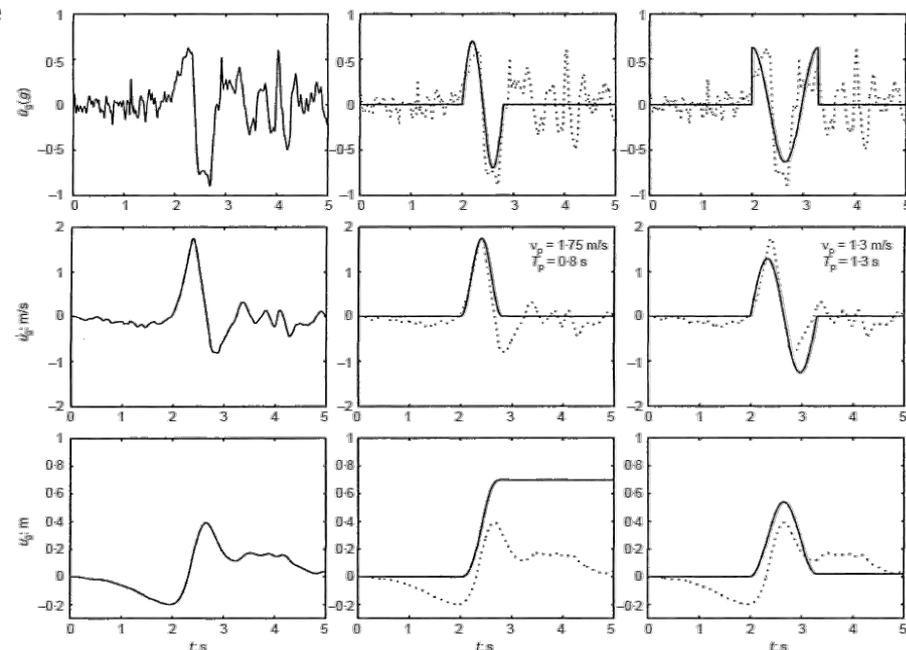
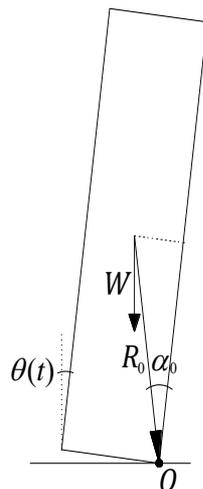


Fig. 6. Fault normal components of the acceleration, velocity and displacement time histories recorded at the Rinaldi station during the 17 January 1994 Northridge, California earthquake (left), a cycloidal type A pulse (centre) and a cycloidal type B pulse (right)

Makris e Roussos (2000)

Mecanismos locais: análise

- Dinâmica não-linear (baseada em energia)
 - Oscilação governada por dois parâmetros principais
 - Se um "bloco equivalente" tiver valores semelhantes, este bloco pode ser capaz de simular o comportamento da estrutura original

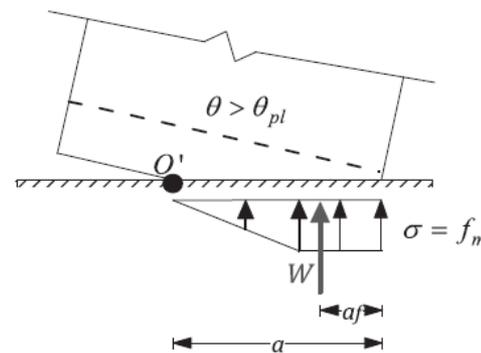
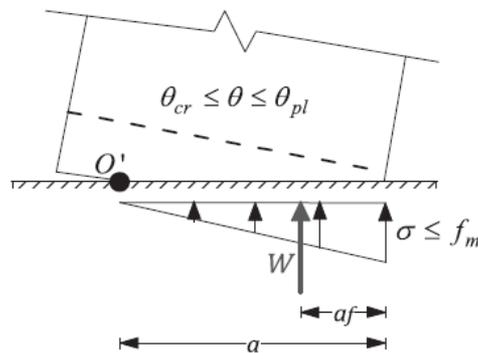
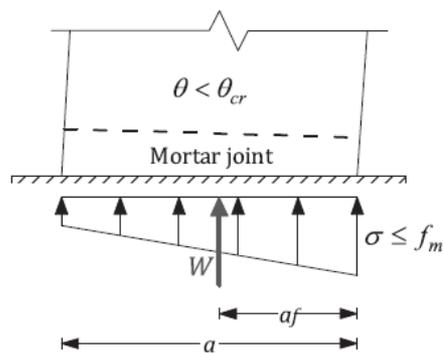
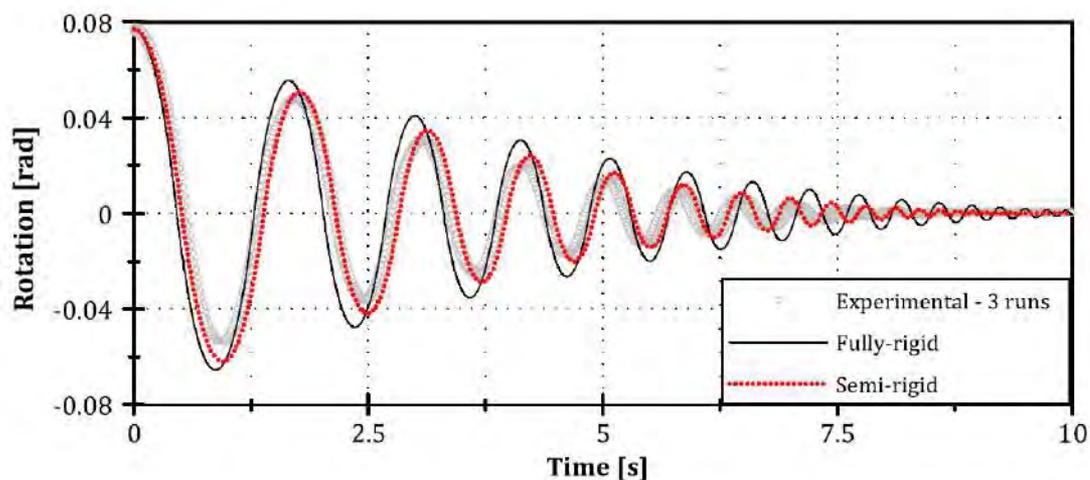


$$\ddot{\theta}(t) = -p_0^2 \left[\sin(\alpha_0 - \theta(t)) \right]$$



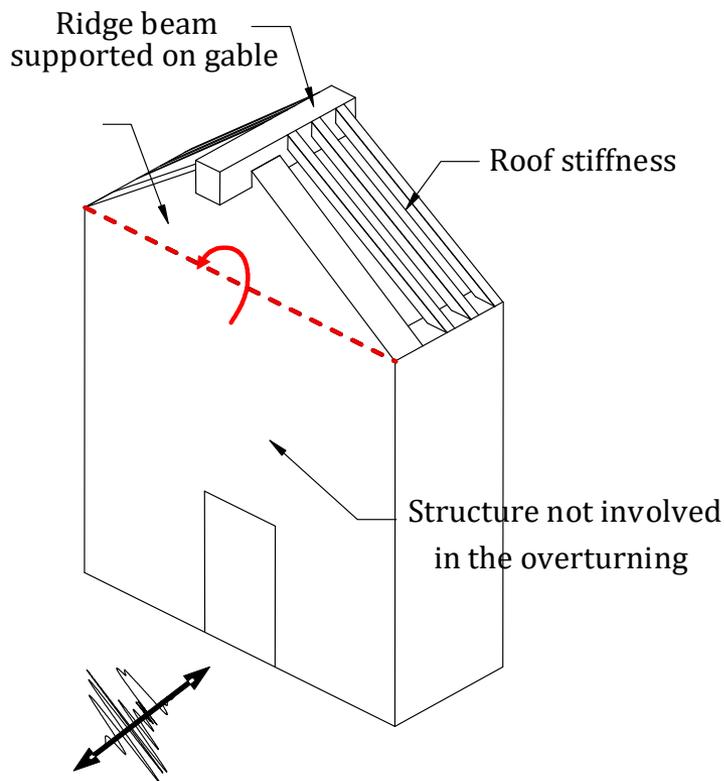
Mecanismos locais: análise

- Simulação do comportamento dinâmico

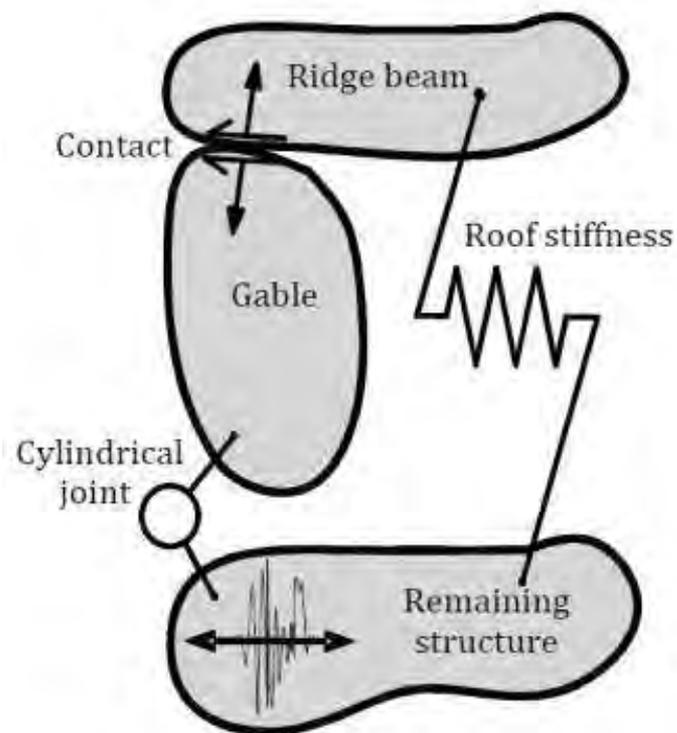


Mecanismos locais: sistema equivalente multicorpo

Local mechanism

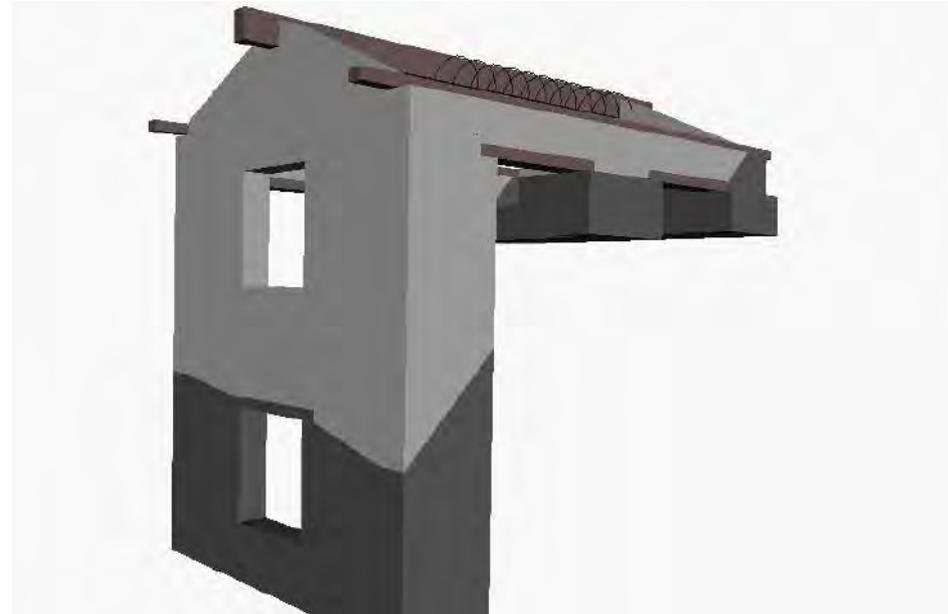


Equivalent multibody system



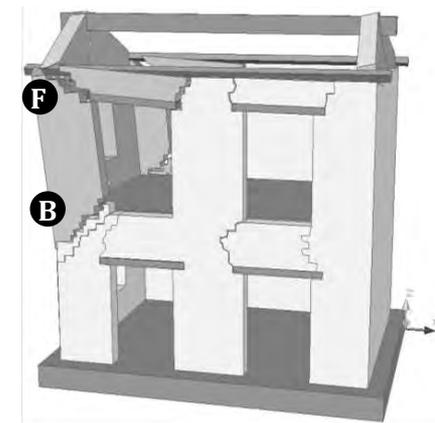
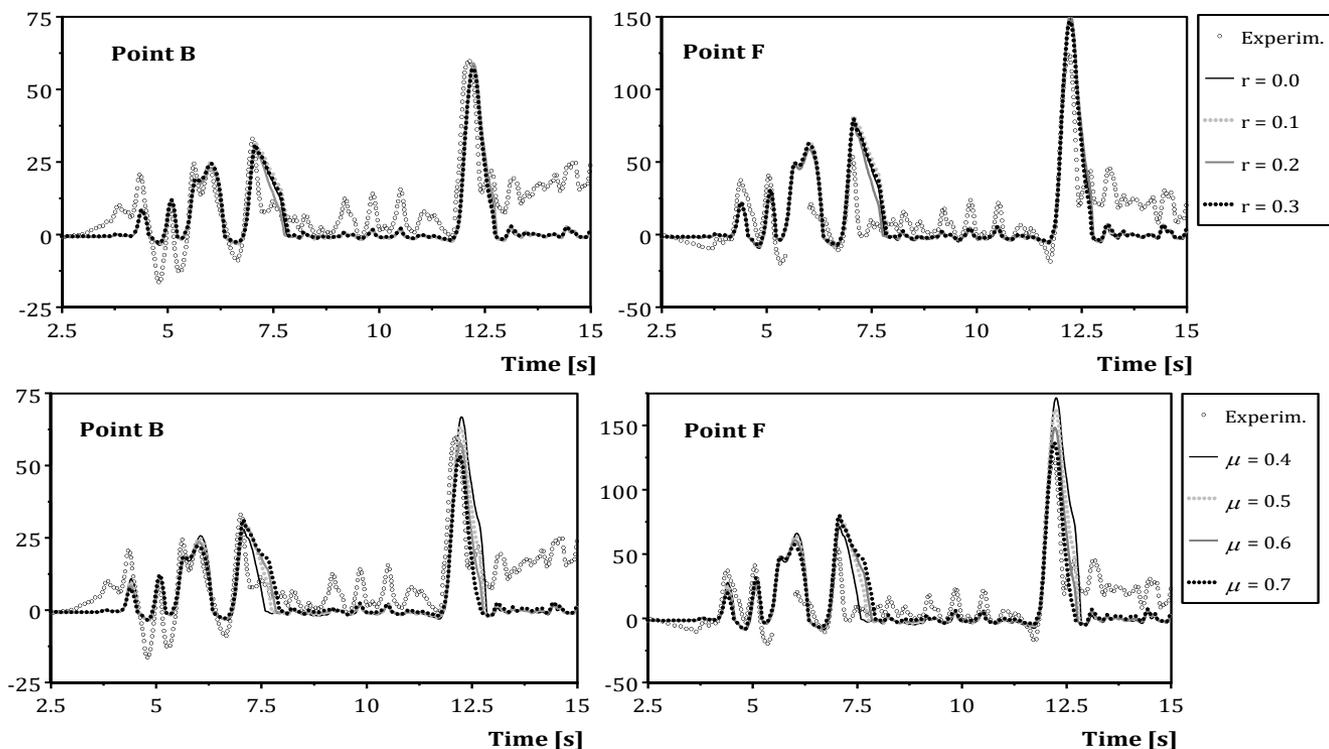
Mecanismos locais: sistema equivalente multicorpo

- Simulação de mecanismos locais complexos (definido *a priori*)

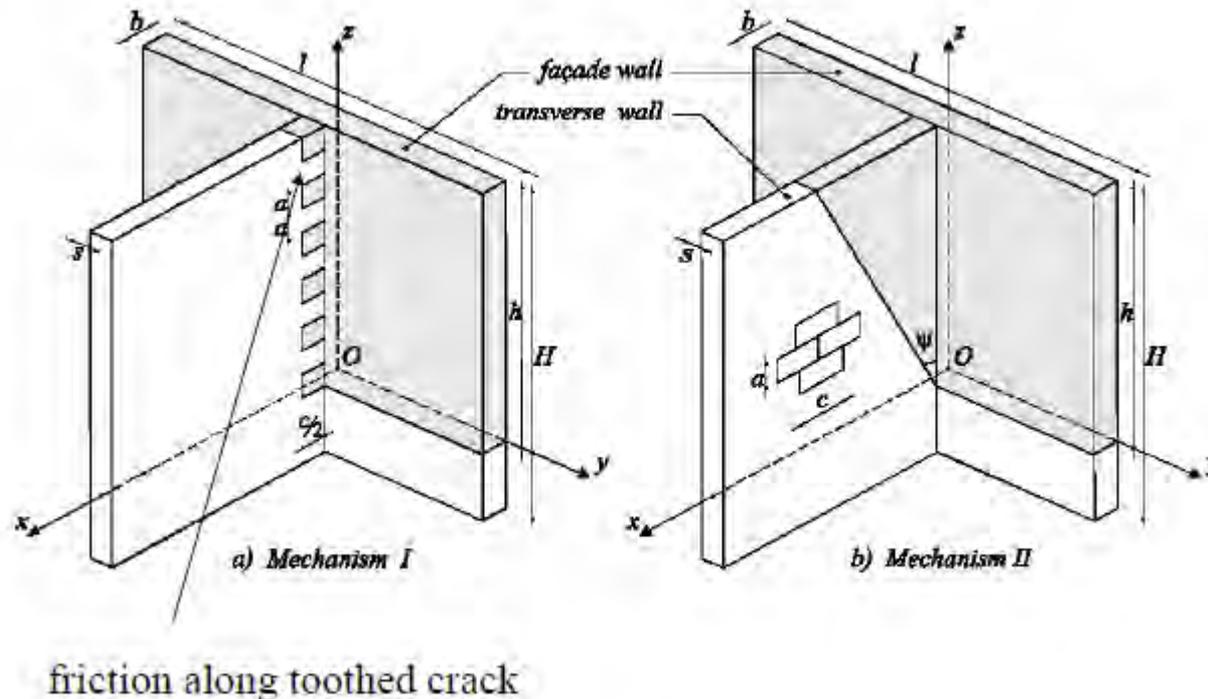


Mecanismos locais: sistema equivalente multicorpo

- Objectivo principal: simular o deslocamento máximo atingido e não o histórico temporal

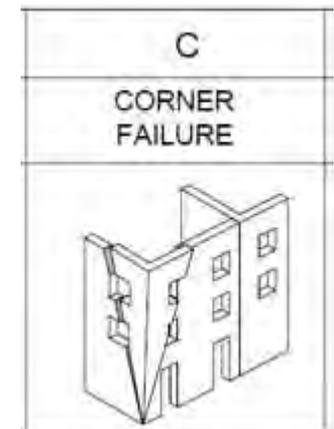


Mecanismos locais: efeitos de ligação e impulso da cobertura



(De Felice and Giannini, 2001)

Mecanismos locais: efeitos de ligação e impulso da cobertura



Mecanismos locais evitados -> comportamento no plano



Mecanismos locais evitados -> comportamento no plano



10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- Alvenarias existentes
- Inspeção e diagnóstico
- Danos provocados por sismos
- Análise e verificação: análise fora-do-plano

11 outubro:

- **Verificação global: análise no plano**
- Reforço sísmico: técnicas e abordagens
- Casos práticos

Leitura obrigatória



Aspetos gerais da aplicação em Portugal do Eurocódigo 8 – Parte 3 – Anexo C (Informativo) – Edifícios de alvenaria

General aspects of the application in Portugal of Eurocode 8 –
Part 3 – Annex C (Informative) – Masonry Buildings

Paulo Candeias, António Correia
Alfredo Campos Costa, José Manuel Catarino
Manuel Pipa, Helena Cruz
Eduardo Cansado Carvalho, Anibal Costa

Resumo

Procuram-se sintetizar neste artigo os principais aspetos relacionados com a avaliação e a reabilitação sísmica de edifícios existentes de alvenaria, compatibilizando a NP EN 1998-3:2017 com os respetivos Anexo C, específico para edifícios de alvenaria, e Anexo Nacional, específico para Portugal.

A avaliação sísmica é um procedimento quantitativo através do qual se verifica se um edifício existente, danificado ou não, satisfaz os requisitos de desempenho, definidos por uma combinação de um estado limite com um nível de ação sísmica, através de critérios de conformidade. Neste procedimento estão envolvidos a definição da ação sísmica, a modelação da estrutura, os métodos de análise para determinação dos efeitos das ações e as verificações de segurança.

São abordados os métodos de análise, dois lineares e dois não lineares, aplicáveis a edifícios existentes de alvenaria, bem como as recomendações específicas do Anexo C e as informações complementares do Anexo Nacional.

Abstract

This article seeks to summarize the main aspects related to the seismic assessment and rehabilitation of existing masonry buildings, combining the NP EN 1998-3:2017 with the respective Annex C, specific for masonry buildings, and National Annex, specific to Portugal.

Seismic assessment is a quantitative procedure whereby it is verified whether an existing building, damaged or not, meets the performance requirements, defined by a combination of a limit state with a seismic action level, using compliance criteria. This procedure involves the definition of the seismic action; the modelling of the structure, the methods of analysis to determine the effects of the actions, and the safety checks.

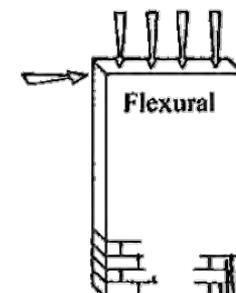
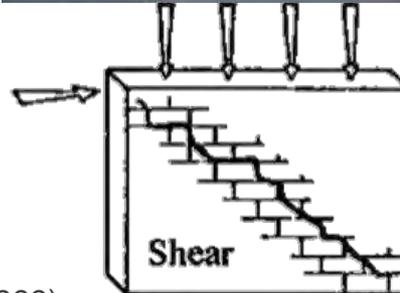
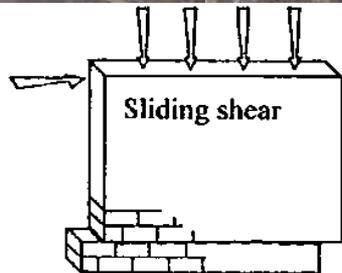
The analysis methods, two linear and two non-linear, applicable to existing masonry buildings are addressed, as well as the specific recommendations in Annex C and the complementary information in the National Annex.

Palavras-chave: Existing masonry buildings / Seismic assessment / Eurocode 8Keywords: Edifícios de alvenaria existentes / Avaliação sísmica / Eurocódigo 8

isep | Série III | N.º 12 | março de 202099

Comportamento no plano

- Carga axial importante para a definição do modo de comportamento
- 3 principais modos de comportamento
 - Corte/deslizamento
 - Compressão diagonal (principalmente em alvenaria existente)
 - Flexão



(Tomazevic, 1999)

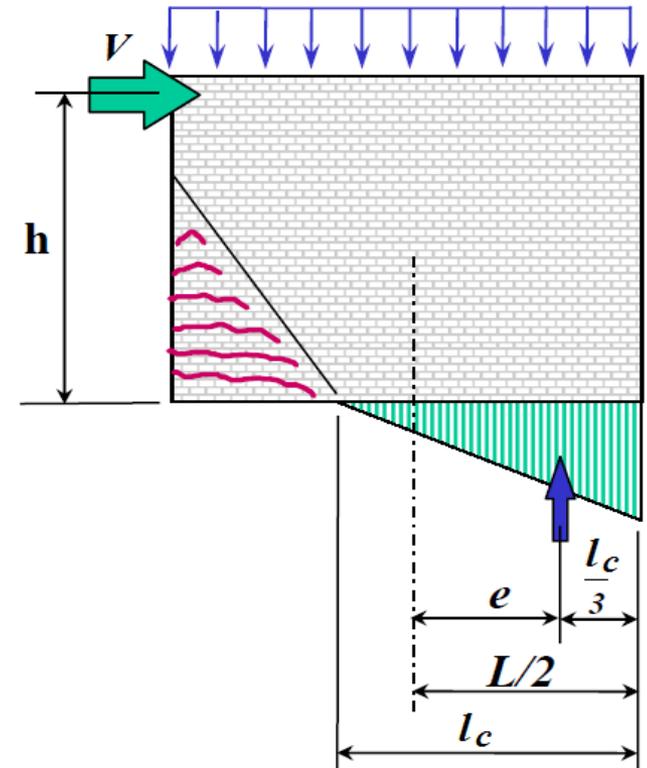
Slide 3 / Alexandre A. Costa, 2022

Corte/deslizamento

- Principalmente para baixas cargas verticais
- Alvenaria regular (unidade forte – argamassa fraca)
- Resistência dada pelo comprimento da parede sob compressão, l_c

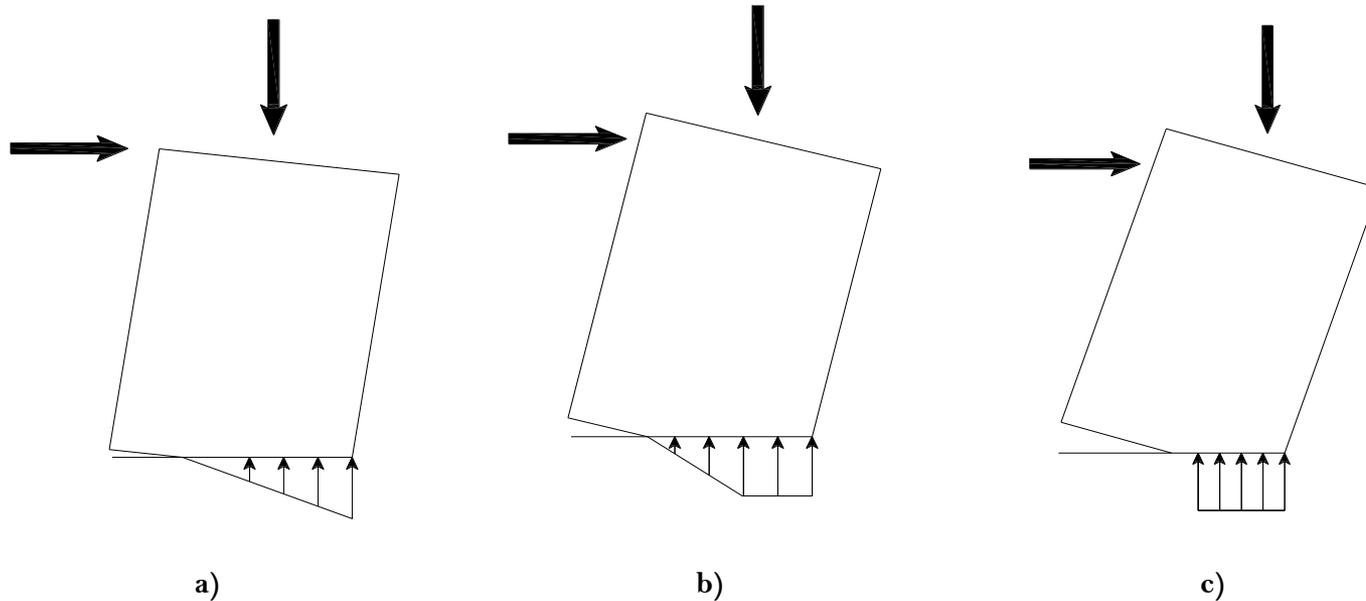
$$V_{clk} = f_{vk} t l_c$$
$$l_c = 3 \left(\frac{l}{2} - \frac{V h \alpha}{N} \right)$$

- Condições fronteira muito importantes
- Calculado na base do painel de alvenaria
- Valores considerados:
 - $\alpha = 0.5$ para bi-encastado
 - $\alpha = 1.0$ para consola



Corte/deslizamento

- Para cargas sísmicas (resistência máxima do painel de alvenaria), devem ser consideradas diferentes condições para a determinação do comprimento da parede sob compressão:

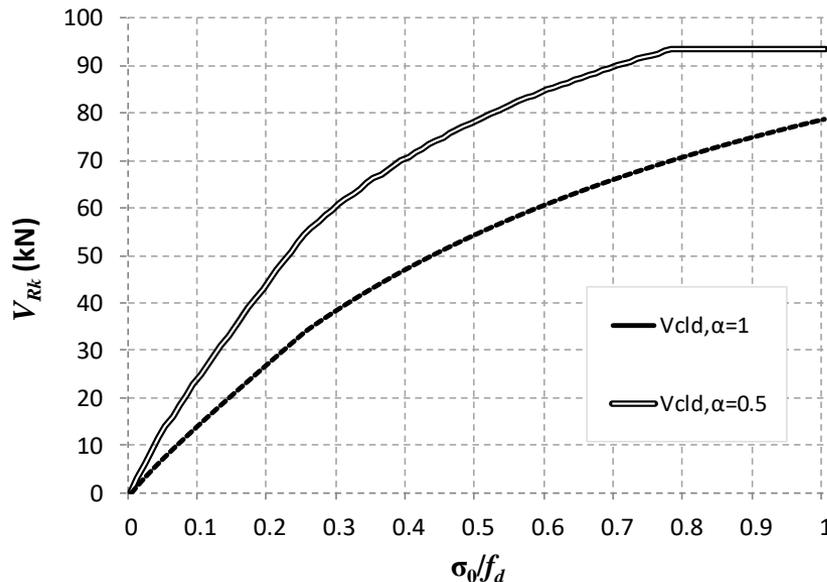


- a) Obtenção da tensão de compressão máxima;
- b) Plastificação;
- c) Estado limite último

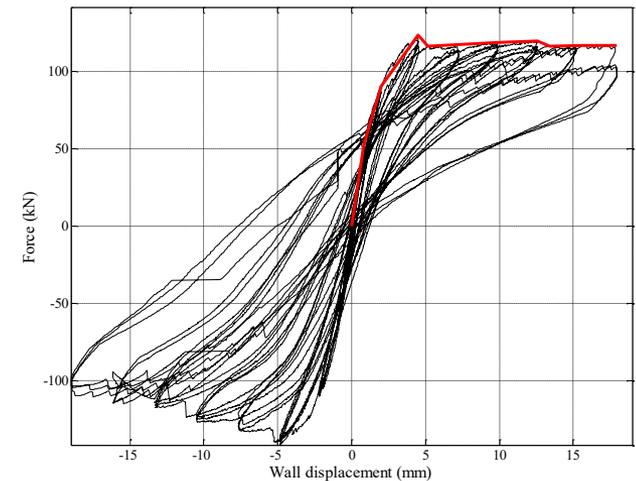
Corte/deslizamento

- Resistência da alvenaria ao corte:
- $f_b = 10$ MPa
- $f_{vk0} = 0.2$ MPa
- Dimensões: $0.24 \times 1.5 \times 2.7\text{m}^3$
- $\gamma_m = 2.5$

$$f_{vk} = \min(f_{vk0} + 0,4 \sigma_d; 0,065 f_b)$$

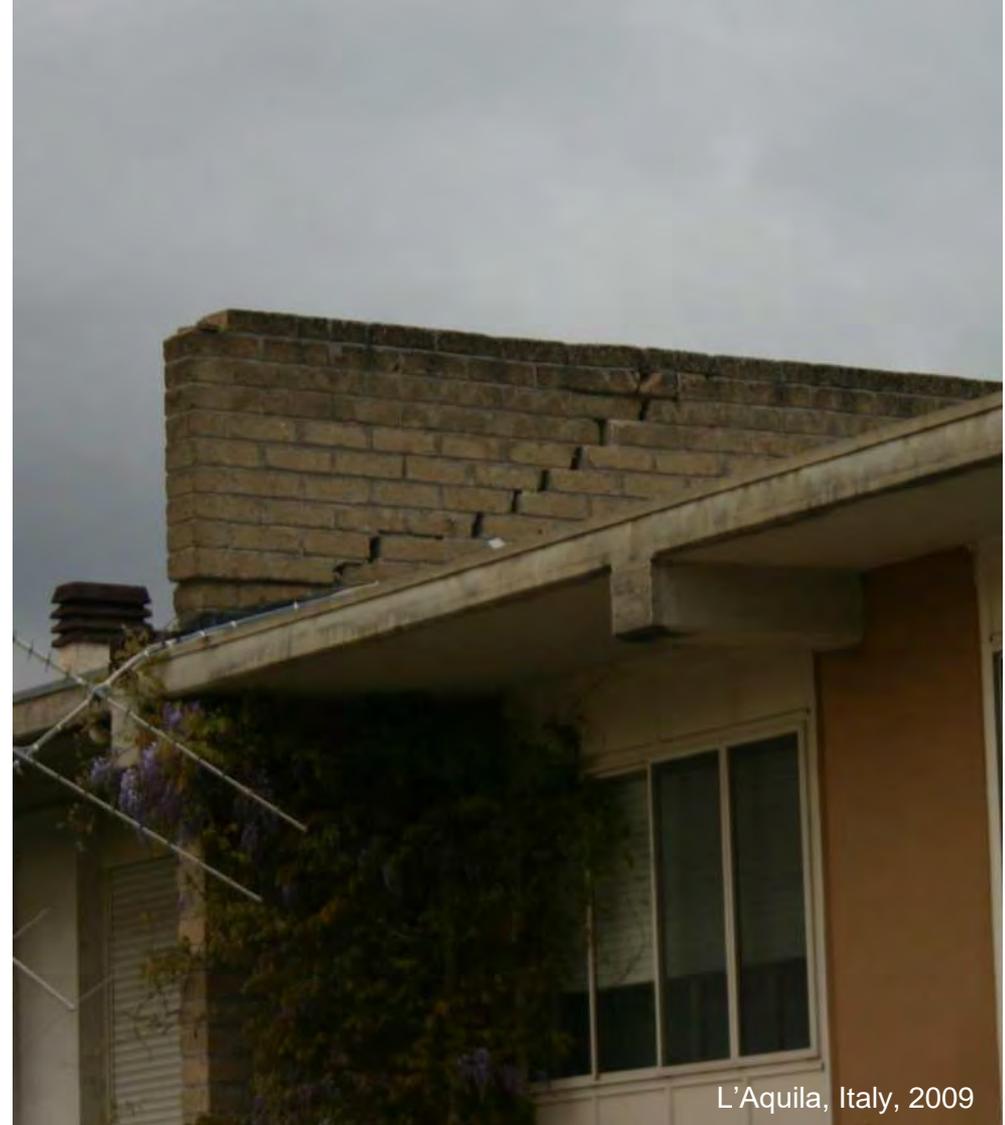


Exemplo do comportamento cíclico de um painel de alvenaria em rotura ao corte/deslizamento



Costa, A.A. (2007)

Corte/deslizamento



L'Aquila, Italy, 2009

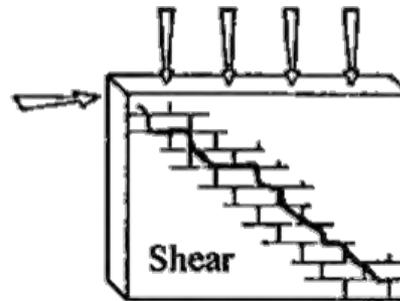
Fissuração diagonal



L'Aquila, Italy, 2009

Compressão diagonal

- Comportamento devido a diagonal comprimida
- “Forças de tracção” perpendiculares à escora de compressão
- Obtido a partir das tensões principais na secção central



- Maior força axial aumenta a resistência
- Aplicável às paredes existentes de alvenaria irregular (modo não apresentado no EC6 nem EC8-3 atual mas considerado nos métodos simplificados do LNEC)
- Também conhecido como critério Turnsek-Cacovic

Fissuração diagonal

- Máxima resistência $V_{cdk} = A \cdot \frac{f_{tk}}{b} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_0}{f_{tk}} + 1}$
 - A : área transversal
 - f_{tk} : resistência à tracção da alvenaria
 - σ_0 : tensão de compressão a meia altura
 - b : factor de distribuição de corte

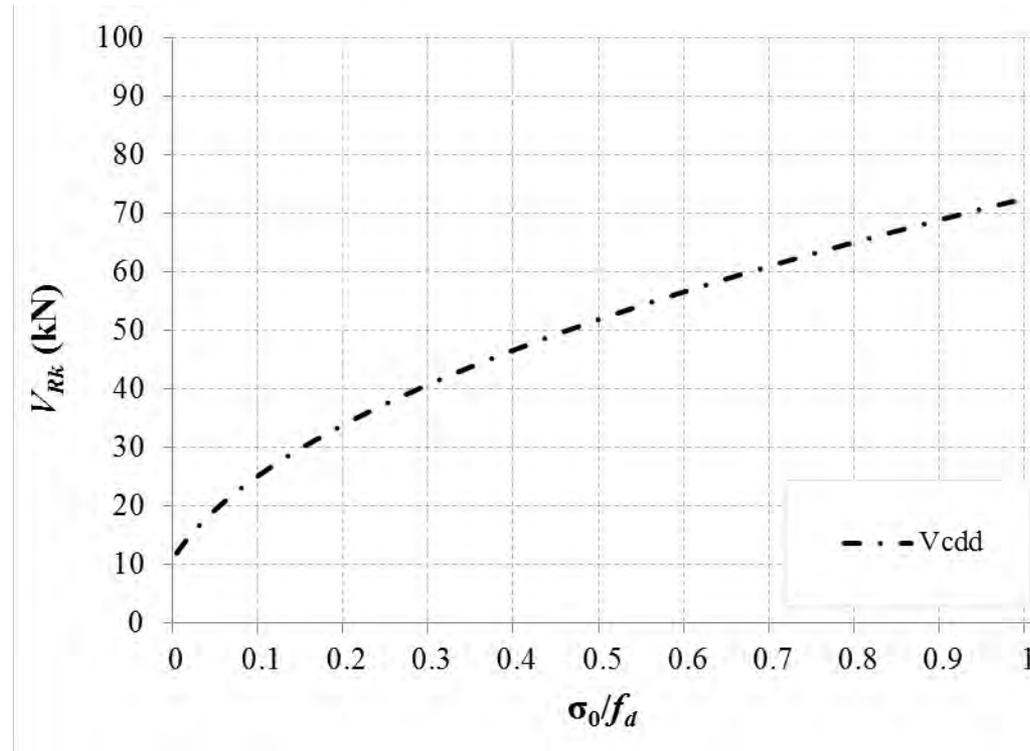
$$b = \begin{cases} 1,5 & , \quad \frac{h}{l} \geq 1,5 \\ 1,0 & , \quad \frac{h}{l} < 1,0 \\ \frac{h}{l} & , \quad 1,0 \leq \frac{h}{l} \leq 1,5 \end{cases}$$

(Benedeti e Tomazevic, 1984)

Fissuração diagonal

- $f_{td} = 0.05 \text{ MPa}$
- Dimensões: $0.24 \times 1.5 \times 2.7 \text{ m}^3$
- $\gamma_m = 2.5$

$$V_{cdk} = A \cdot \frac{f_{tk}}{b} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_0}{f_{tk}} + 1}$$



Flexão

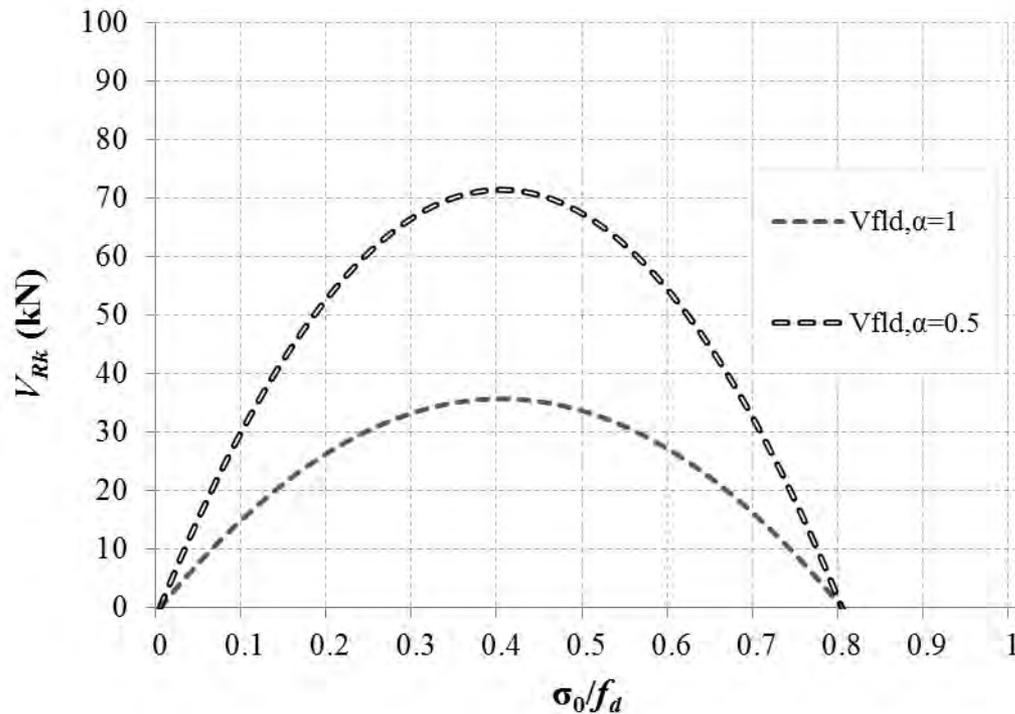
- Comportamento elásto-plástico
- Cargas axiais influenciam a resistência máxima
- A resistência à compressão é crítica para o comportamento para níveis de carga axiais mais elevados
- As condições de apoio influenciam a máxima resistência ao corte
- Resistência máxima obtida a partir do equilíbrio da secção

$$V_{flk} = \frac{1}{\alpha \cdot h} \frac{\sigma_0 \cdot t \cdot l^2}{2} \cdot \left(1 - \frac{\sigma_0}{k \cdot f_k} \right)$$

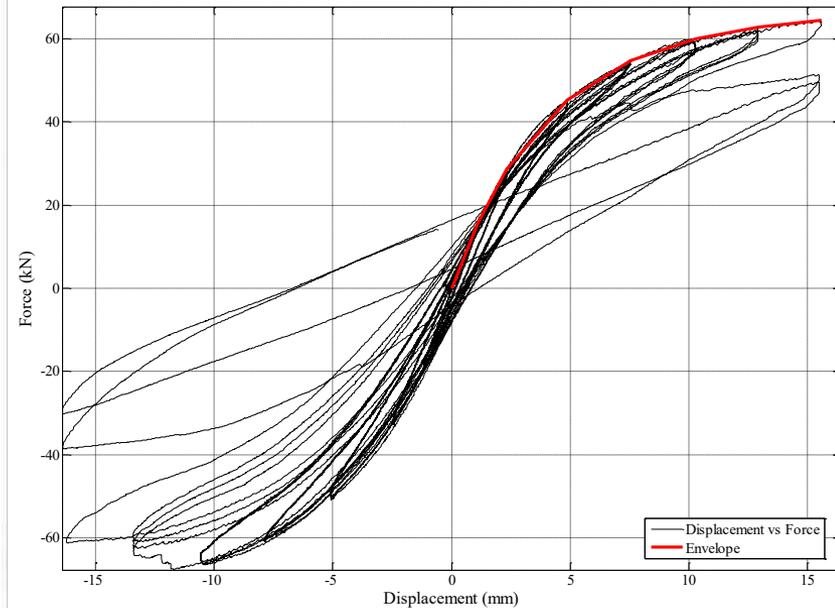
- Pode ser considerado um "comportamento de painel" e não um "modo de rotura do painel"

Flexão

- $f_d = 2 \text{ MPa}$
- Dimensões: $0.24 \times 1.5 \times 2.7 \text{ m}^3$
- $\gamma_m = 2.5$



Exemplo do comportamento cíclico de um painel de alvenaria sob flexão

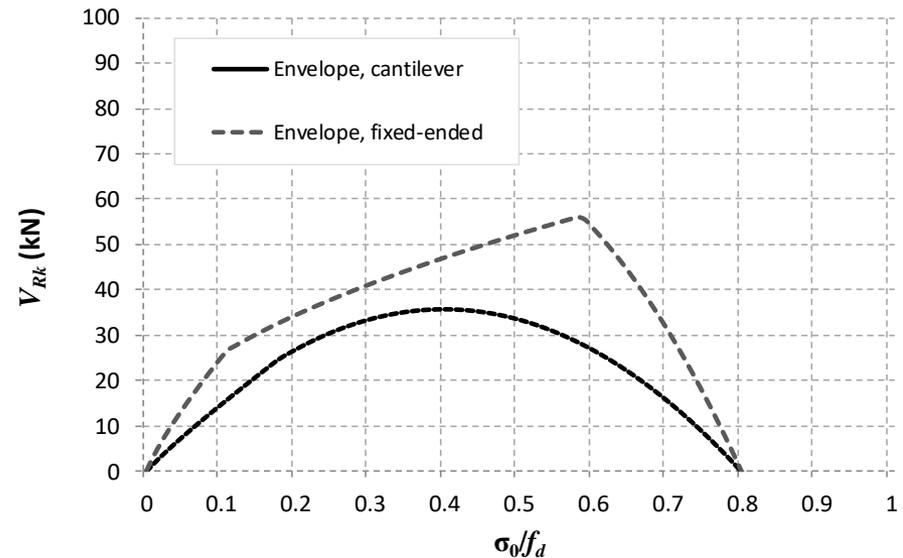
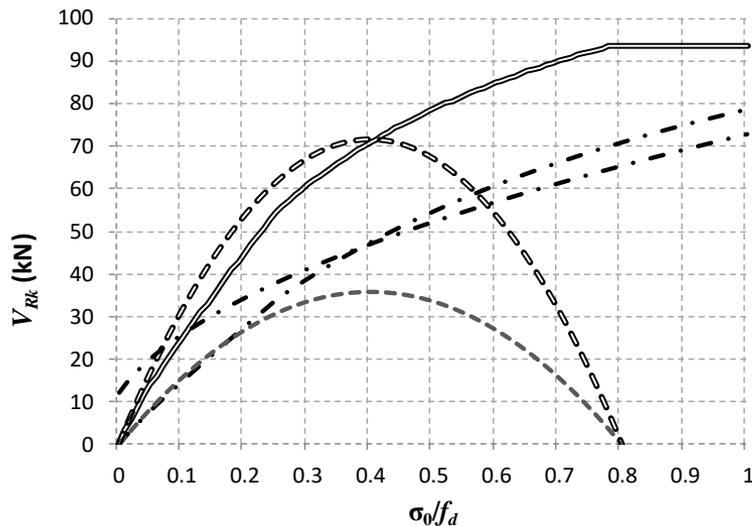


Costa, A.A. (2007)

Resistência ao corte do painel de alvenaria

- Obtido a partir do valor mais baixo entre os diferentes modos possíveis
- Variação da carga axial -> pode induzir diferentes modos de rotura
- Um exemplo é um edifício de alvenaria de dois andares com corte deslizamento nos elementos superiores e comportamento à flexão nos elementos inferiores

$$V_{Rk} = \min \{ V_{clk}, V_{cdk}, V_{flk} \}$$

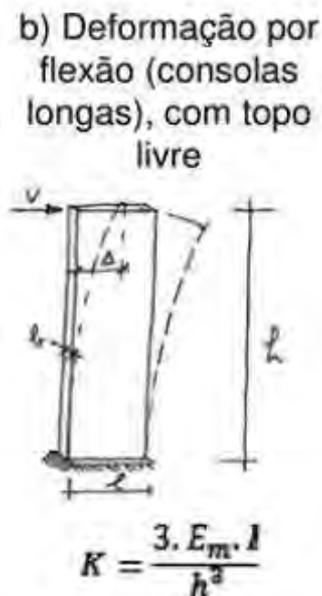
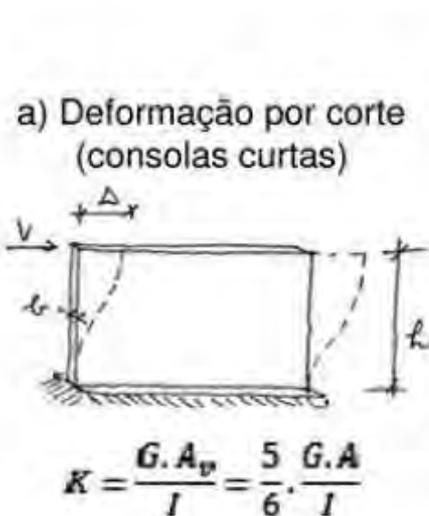


Análise estrutural

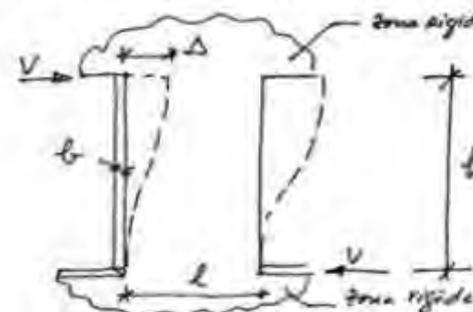
- Tipo de diafragma desempenha um papel importante no comportamento geral do edifício
 - Flexível: distribuição da força sísmica de acordo com a área de influência das paredes. Exemplos de diafragma flexível: pavimentos de madeira. Aumenta a deformação fora-do-plano das paredes externas.
 - Rígido: distribuição da força sísmica de acordo com a rigidez das paredes. Exemplos de diafragma rígido: pavimentos de madeira reforçados com camada de compressão em betão armado (pavimento misto madeira-betão), pavimentos de madeira de soalho duplo, pavimentos de madeira reforçados com OSB, pavimentos em betão armado.
 - Reforço de um diafragma flexível: aumenta a redundância e redistribuição das forças sísmicas.
- Efeitos torsionais semelhantes a outros tipos de estruturas.

Análise estrutural

- Rigidez dos painéis de alvenaria é definida a partir do comportamento à flexão e ao corte



- c) Deformação por associação de corte e flexão em pórticos ou paredes com aberturas, com topo restringido



(cBloco, Lourenço *et al.*, 2008)

Rigidez elástica é dada por:

$$K = \frac{G A}{1,2h \left[1 + \alpha \frac{G}{E} \left(\frac{h}{l} \right)^2 \right]}$$

$\alpha = 0,83$, bi-encastado
 $\alpha = 3,33$, consola

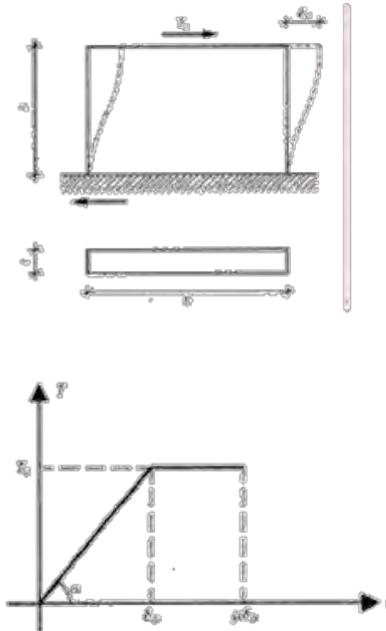
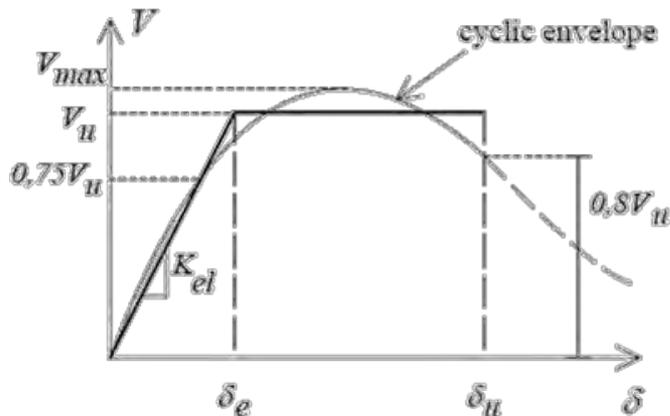
Para análise sísmica com métodos lineares: $K_{cr} = 50\% K$

Análise estrutural

- As primeiras análises estáticas não lineares foram desenvolvidas para estruturas de alvenaria e ficaram conhecidas como "mecanismo de piso", em 1970. O colapso de uma estrutura completa foi definido a partir do nível "crítico" de rotura
- O método baseou-se no comportamento individual de diferentes painéis de alvenaria, sendo que o comportamento global foi obtido a partir da contribuição directa de todos os painéis
- Para cada painel de alvenaria, obtido a partir da definição do modelo numérico, obteve-se a resposta bilinear

Análise estrutural

Possible bi-linear idealization



Ultimate deflection capacity for masonry piers

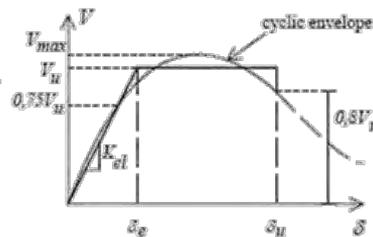
Earlier proposals based on ductility

($\delta_u = \mu_u \delta_u$) without reference to failure mode.

e.g. : $\mu_u = 2.0-3.0$ for urm

$\mu_u = 3.0-4.0$ for confined masonry

$\mu_u = 4.0-5.0$ for reinforced masonry



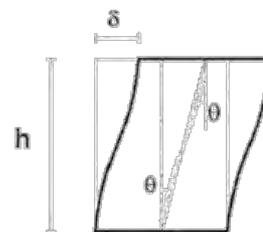
Eurocódigo 8-3:

- 0.4% corte
- 0.8% flexão

More recent proposals based on drift ($\theta = \delta/h$) limits:

e.g. : $\theta_u = 0.4-0.5\%$ for urm failing in shear

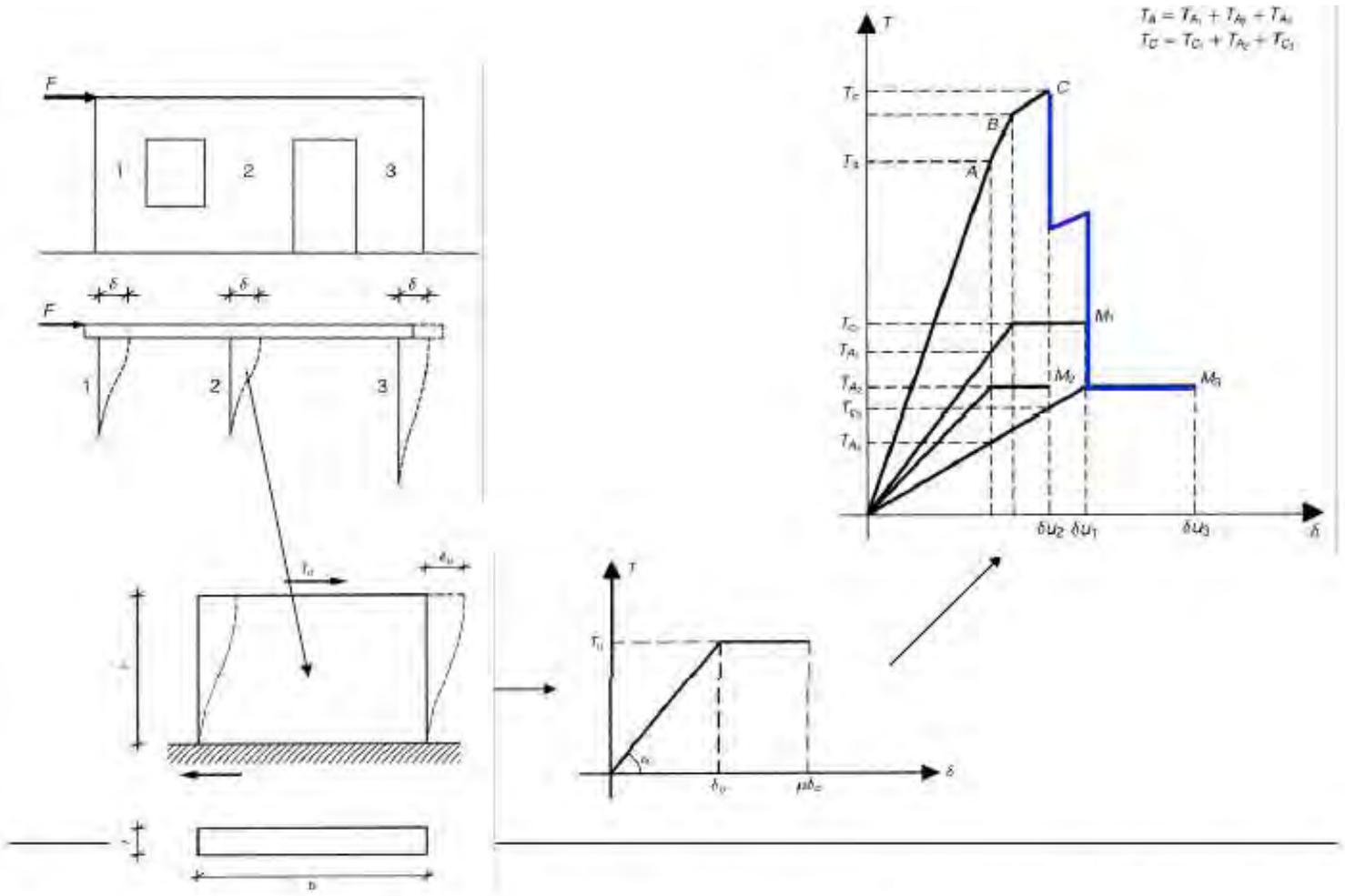
$\theta_u = 0.8-1.2\%$ for urm failing in flexure/rocking



Para alvenaria de pedra (Vanin et al. 2017):

- 0.6% corte;
- 0.85% flexão

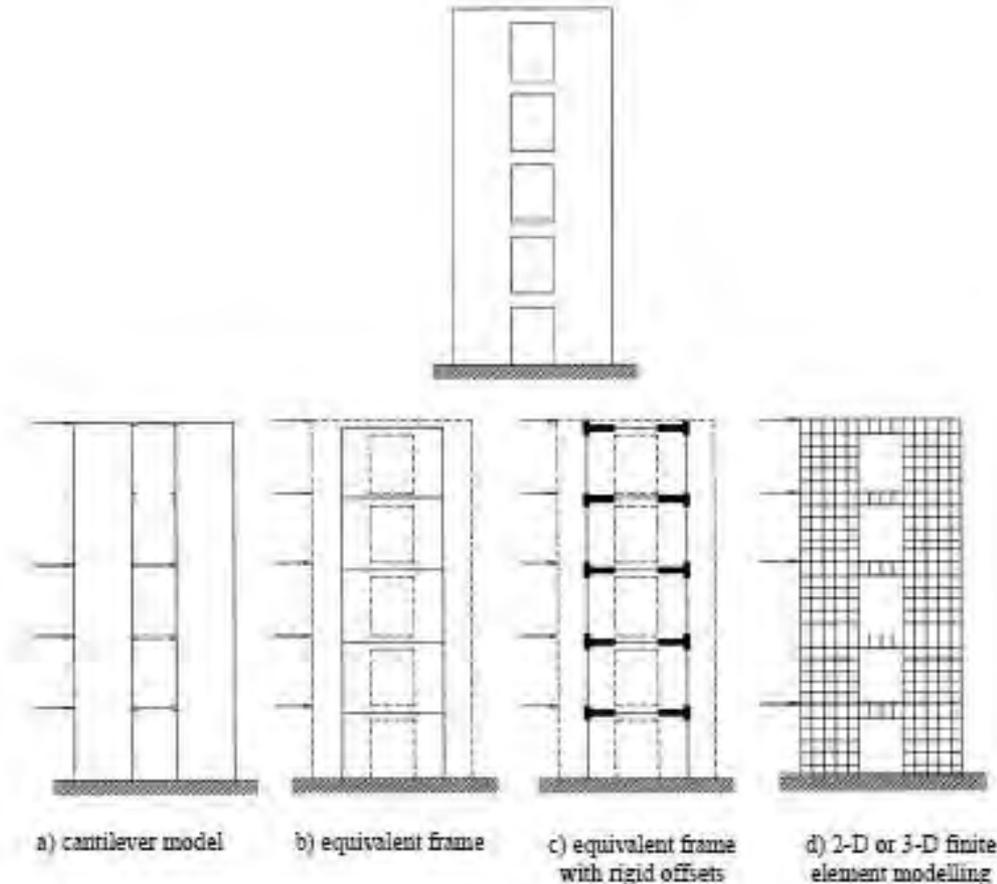
Análise estrutural – mecanismo de piso



(Magenes e Griffith, 2007)

Análise estrutural

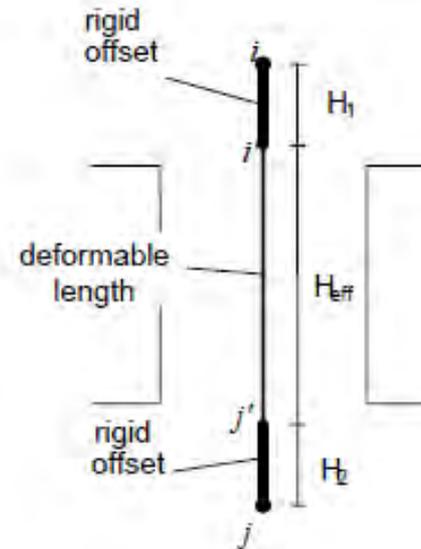
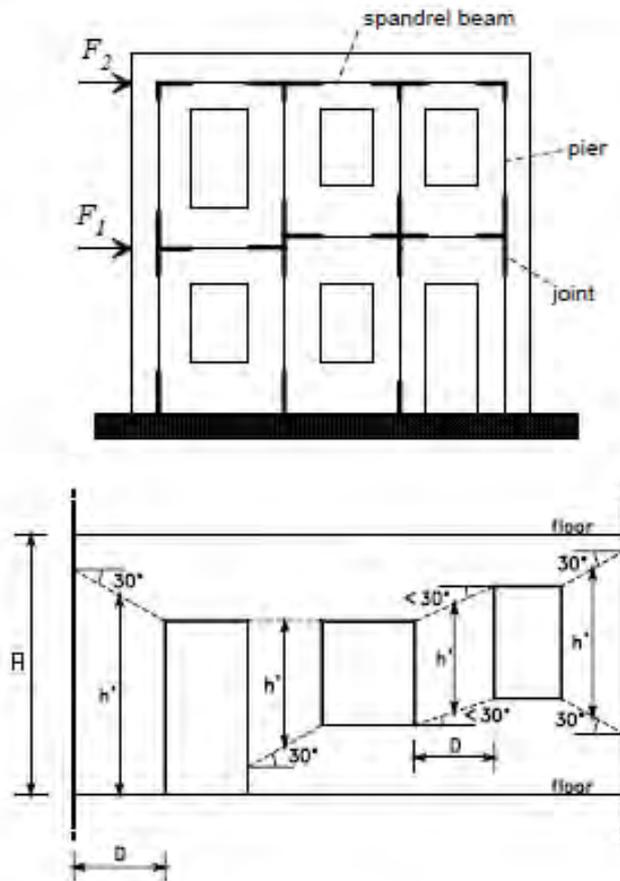
- Algumas possibilidades de modelação utilizando softwares comerciais de cálculo



(Magenes e Griffith, 2007)

Análise estrutural: pórtico equivalente

Equivalent frame with rigid offsets: example



$$H_{eff} = h' + \frac{1}{3} D (\bar{H} - h')$$

\bar{H} = free interstorey height

(Magenes e Griffith, 2007)

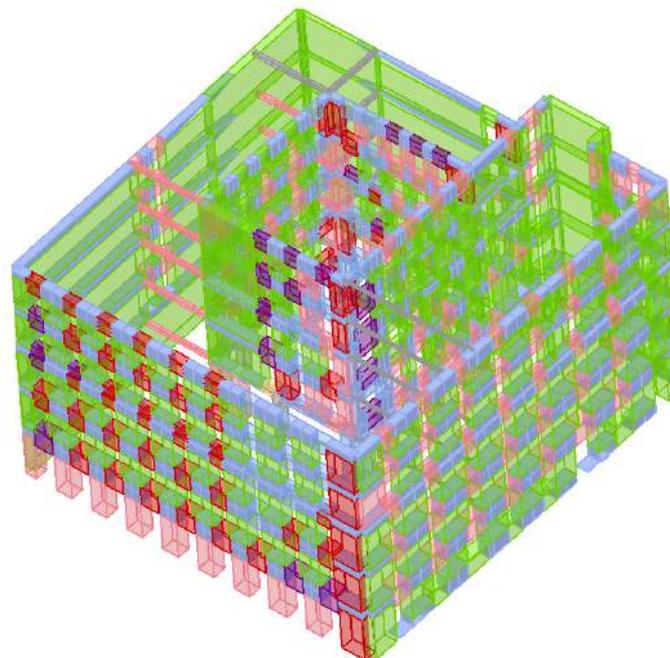
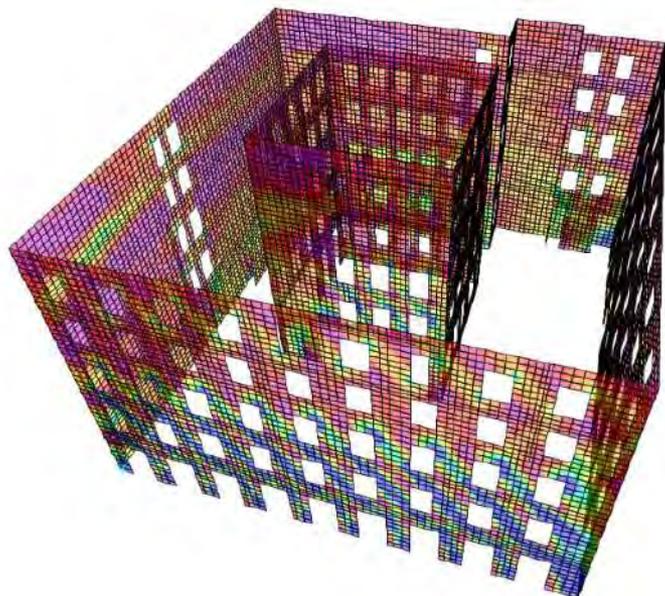
Análise estrutural: pórtico equivalente



Análise estrutural: pórtico equivalente



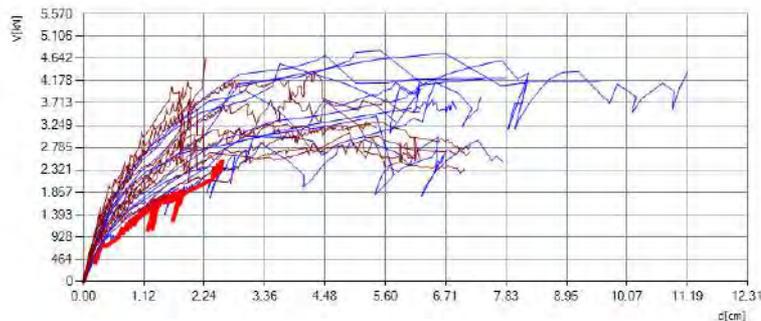
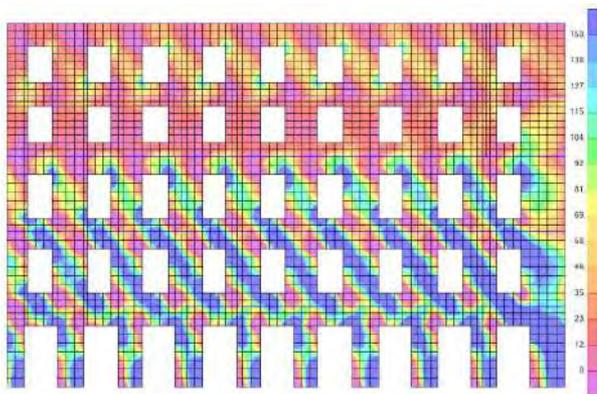
Análise estrutural: pórtico equivalente



Legend

Masonry	
<input checked="" type="checkbox"/>	Undamaged
<input checked="" type="checkbox"/>	Shear damage
<input checked="" type="checkbox"/>	Shear failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Bending damage
<input checked="" type="checkbox"/>	Bending failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Compression failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Tension failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Failure during elastic phase
R.C.	
<input checked="" type="checkbox"/>	Undamaged
<input checked="" type="checkbox"/>	Shear failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Bending damage
<input checked="" type="checkbox"/>	Bending failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Compression failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Tension failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Shear failure (insufficient d...
Steel	
<input checked="" type="checkbox"/>	Undamaged
<input checked="" type="checkbox"/>	Bending damage
<input checked="" type="checkbox"/>	Compressive damage
<input checked="" type="checkbox"/>	Tensile damage
<input checked="" type="checkbox"/>	Ineffective element
<input checked="" type="checkbox"/>	Back to elastic condition
Wood	
<input checked="" type="checkbox"/>	Undamaged
<input checked="" type="checkbox"/>	Bending failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Compression failure
<input checked="" type="checkbox"/>	Tension failure

FEM (linear elastic) – observation of stresses at the element level



Equivalent frame – for nonlinear seismic safety assessment

Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Qual é a tipologia construtiva do nosso caso? Onde estão os elementos estruturais?
- Quais são as propriedades materiais do edifício existente?
- Como ganhamos confiança que o nosso modelo simula o edifício existente?
- Como aumentar a confiança no nosso modelo?

Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Qual é a tipologia construtiva do nosso caso? Onde estão os elementos estruturais? R: Inspeção e diagnóstico com caracterização estrutural



tipologia construtiva



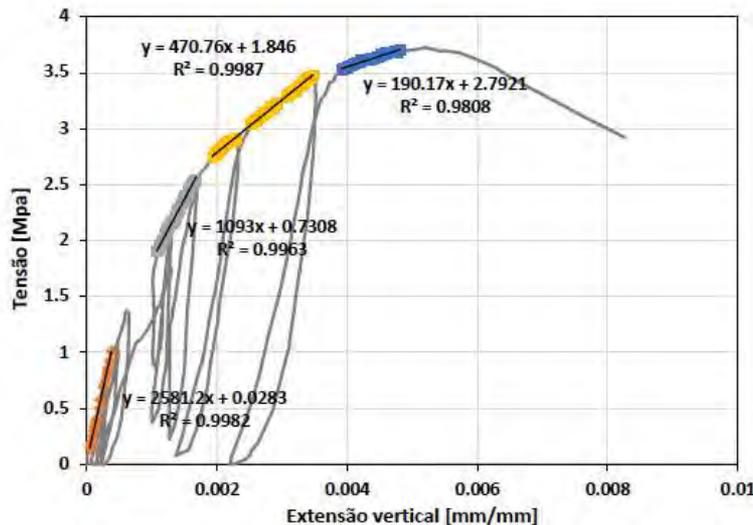
tipologia construtiva

Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Qual é a tipologia construtiva do nosso caso? Onde estão os elementos estruturais? **R: Inspeção e diagnóstico com caracterização estrutural**
- Quais são as propriedades materiais dos edifícios existentes?

Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Qual é a tipologia construtiva do nosso caso? Onde estão os elementos estruturais? R: Inspeção e diagnóstico com caracterização estrutural
- Quais são as propriedades materiais dos edifícios existentes? R: Ensaios *in situ* (por exemplo, ensaios de macacos planos), complementados com pesquisa histórica do edifício



Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Qual é a tipologia construtiva do nosso caso? Onde estão os elementos estruturais? R: **Inspeção e diagnóstico com caracterização estrutural**
- Quais são as propriedades materiais dos edifícios existentes? R: **Ensaio *in situ* (por exemplo, ensaios de macacos planos), complementados com pesquisa histórica do edifício**
- Como ganhamos confiança que o nosso modelo simula o edifício existente?

Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Qual é a tipologia construtiva do nosso caso? Onde estão os elementos estruturais? R: **Inspeção e diagnóstico com caracterização estrutural**
- Quais são as propriedades materiais dos edifícios existentes? R: **Ensaio *in situ* (por exemplo, ensaios de macacos planos), complementados com pesquisa histórica do edifício**
- Como ganhamos confiança que o nosso modelo simula o edifício existente? R: **Ensaio de identificação dinâmica**

Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Ensaios de identificação dinâmica
 - Identificação das principais frequências e modos de vibração (modos globais, menos pontos de leitura, maior rapidez)
 - Total de 22 pontos de leitura distribuídos em 2 pisos (piso 2 e piso 4). 4 setups
 - Identificação de modos locais com possíveis mecanismos locais exigia muita instrumentação tendo em conta a dimensão do edifício, e muito tempo...
 - Validação de modelação apenas do edifício sem quarteirão e apenas das paredes de alvenaria de pedra



Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

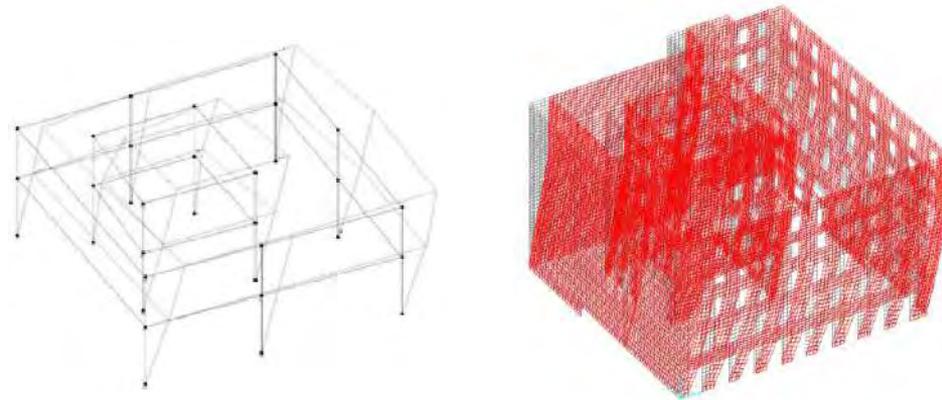
- Ensaios de identificação dinâmica

Comparação entre resultados experimentais e numéricos

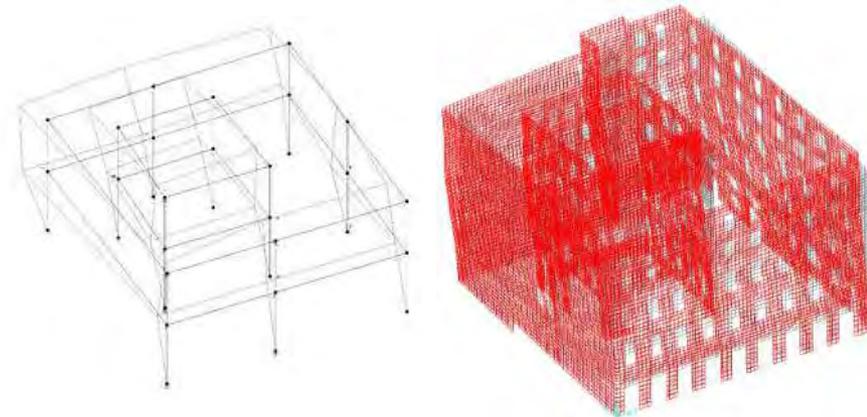
Number of mode	Modal deformation	Frequencies of vibration		
		Experimental results [Hz]	Numerical results [Hz]	Difference
Mode 1	Translation x	2,88	2,81	+2,3%
Mode 2	Translation y	3,21	3,43	+6,9%
Mode 3	Torsional	3,82	3,97	+4,0%
Mode 4	Torsional	4,38	4,23	-3,3%

Comparação entre deformadas modais experimentais e numéricas (Modal Assurance Criterion)

Mode of vibration	Frequency		MAC		
	Experimental [Hz]	Numerical [Hz]	Direction x	Direction y	Directions x e y
Mode 1	2,88	2,81	0,95	0,13	0,87
Mode 2	3,21	3,43	0,15	0,93	0,78



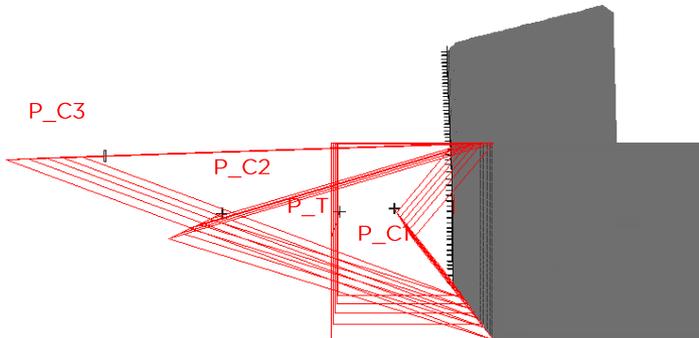
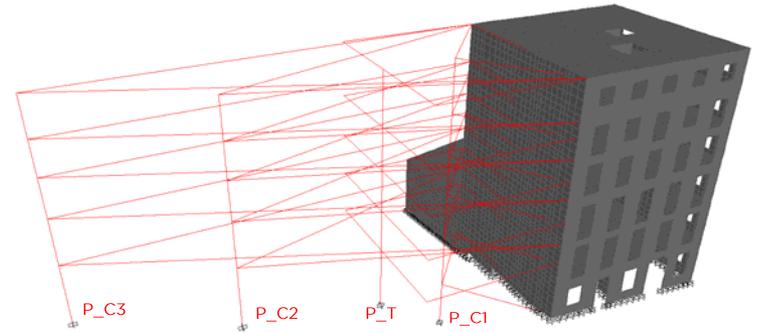
1º modo de vibração (esquerda: experimental; direita: numérico)



2º modo de vibração (esquerda: experimental; direito: numérico)

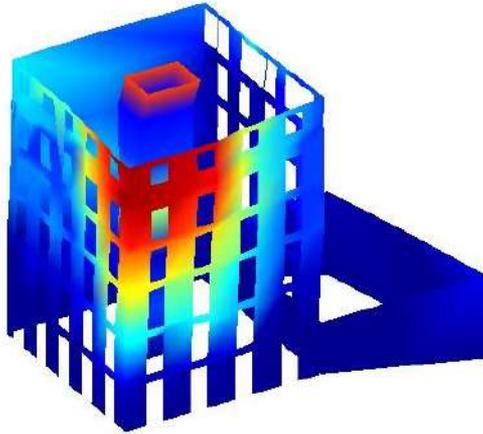
Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

- Ensaios de identificação dinâmica

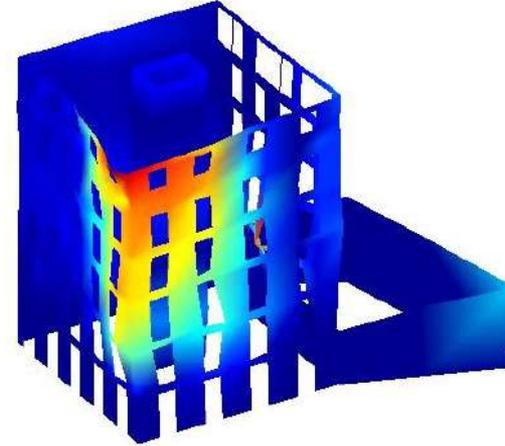


Análise estrutural: calibração de modelos de estruturas existentes

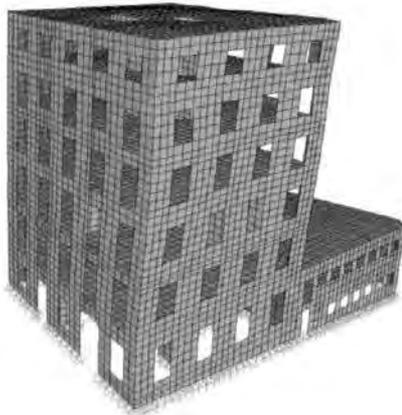
- Ensaios de identificação dinâmica



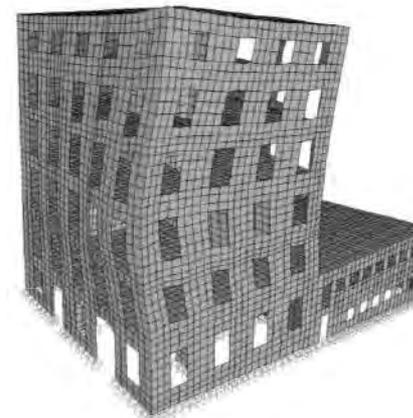
$$F_{1,exp} = 3.21\text{Hz}$$



$$F_{4,exp} = 6.45\text{Hz}$$

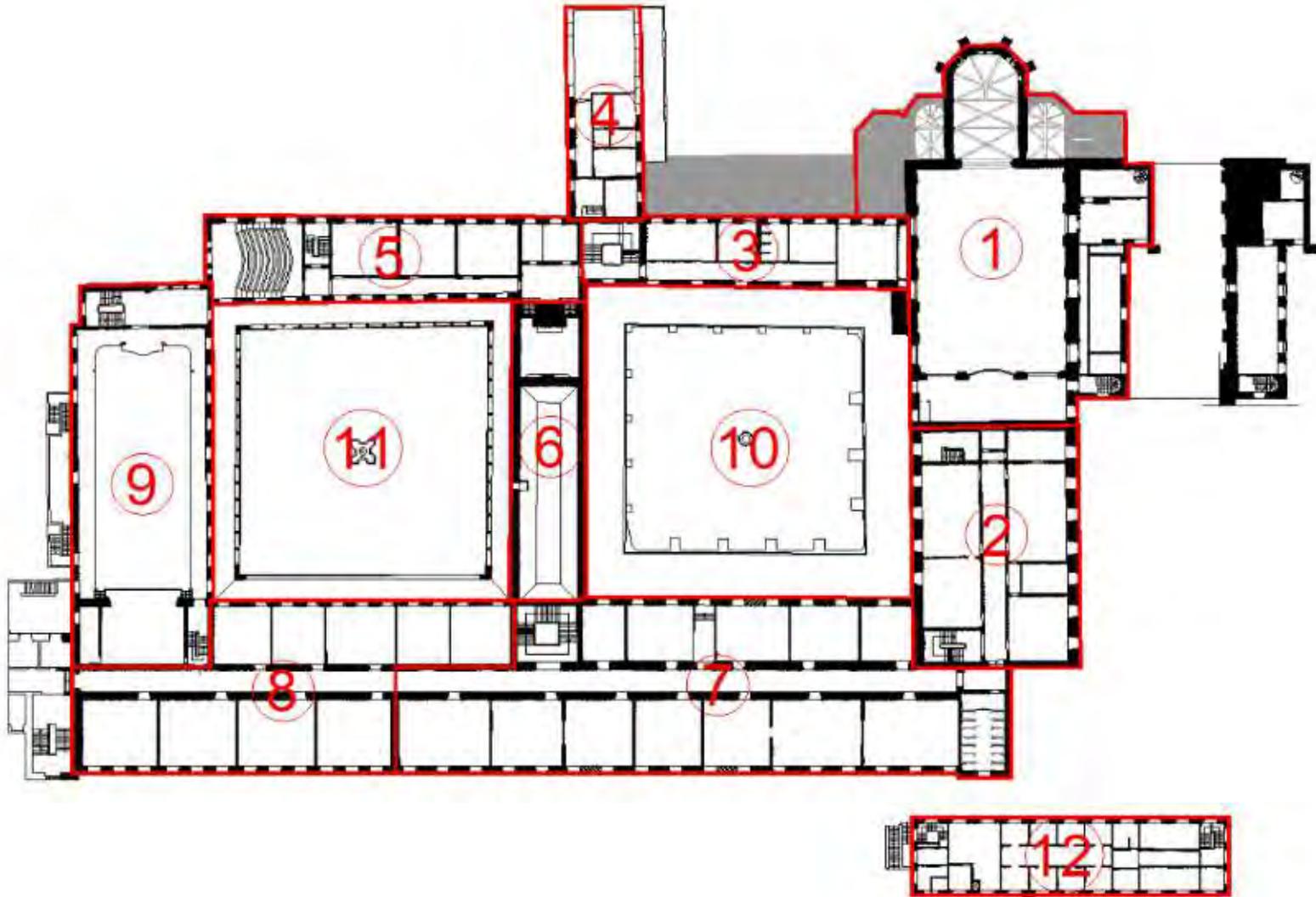


$$F_{1,num} = 3.3\text{Hz}$$



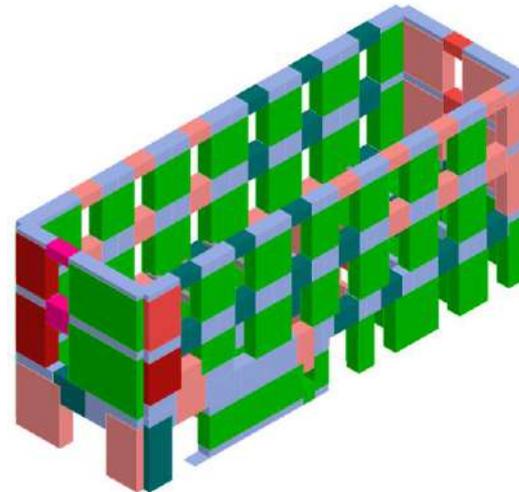
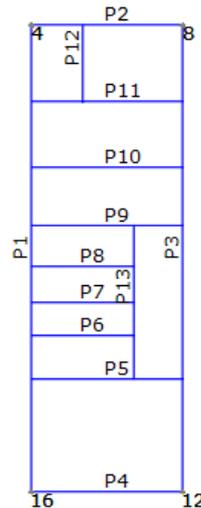
$$F_{4,num} = 6.03\text{Hz}$$

Exemplo de desenvolvimento e análise



Exemplo de desenvolvimento e análise

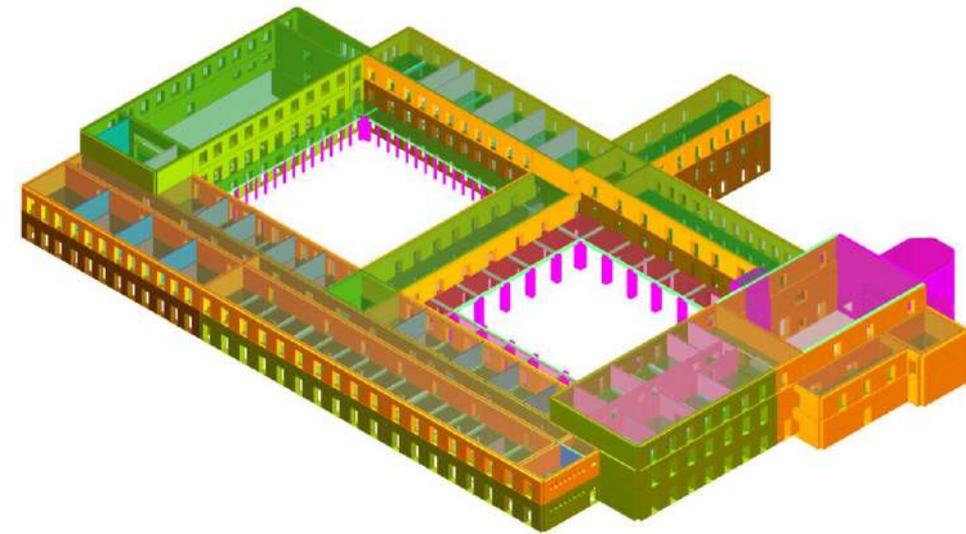
- Construção do modelo numérico
 - Geometria com base no levantamento arquitetónico fornecido
 - Modelação por pórticos equivalentes e macro-elementos (3Muri)
 - Cargas segundo Eurocódigo 1. Ação sísmica Eurocódigo 8-3 e portaria nº302/2019
 - 1ª tentativa: modelos parciais



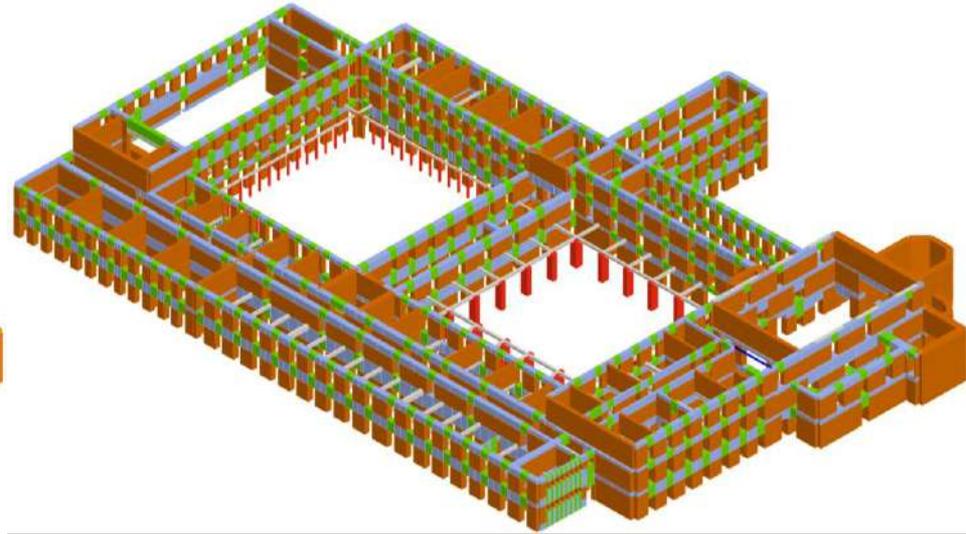
Modelo parcial edifício 4 com
concentração de dano

Exemplo de desenvolvimento e análise

- Construção do modelo numérico
 - Solução: modelo global com análises detalhadas dos corpos
 - Ajustes do modelo com base em ensaios dinâmicos nos diferentes corpos



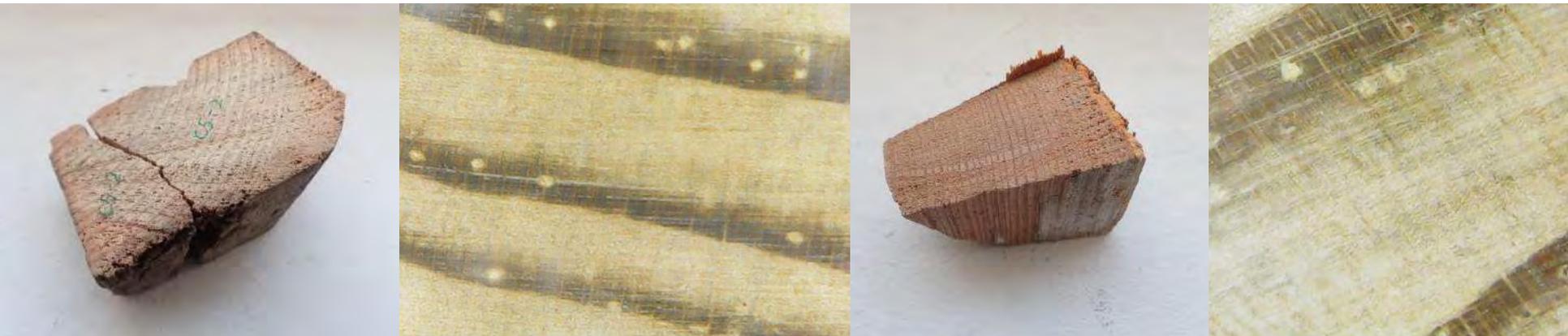
Modelo global com diferentes materiais



Modelo global com macro-elementos

Exemplo de desenvolvimento e análise

- Propriedades dos materiais
 - 121 janelas de sondagem em diferentes tipos de material
 - Definição das propriedades da madeira através de identificação de espécie



- Elementos de betão armado com base em ensaios destrutivos e NDTs

Exemplo de desenvolvimento e análise

- Propriedades dos materiais/alvenarias
 - Sondagens parietais para análise de aparelho da alvenaria
 - Ensaios de macacos planos
 - Enquadramento das alvenarias de pedra em 3 categorias
 - 2 tipos de alvenaria de tijolo (maciço e 2 furos horizontais)

Exemplo de desenvolvimento e análise

- Pontos-chave a discutir:
 - Monumento Nacional
 - Classe de importância III
 - (por ser monumento? pela ocupação? Faz sentido “pedir” tanto aos monumentos?)
 - Verificação ao estado-limite de danos severos (SD):

- Acção tipo 1, $a_g = a_{gr} \times 0.9 \times 0.75 \times 1.45 = 0.98 * a_{gr}$
- Acção tipo 2, $a_g = a_{gr} \times 0.9 \times 0.84 \times 1.25 = 0.945 * a_{gr}$

Faz sentido ter a mesma acção de um edifício novo classe importância II?

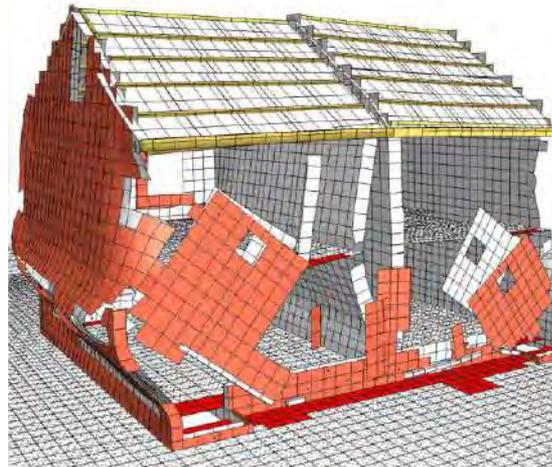
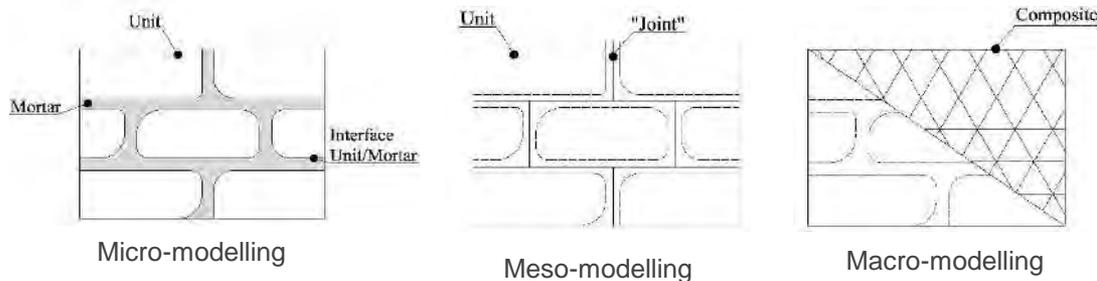
- Verificação ao estado-limite de não colapso (NC):

- Acção tipo 1, $a_g = a_{gr} \times 0.9 \times 1.62 \times 1.45 = 2.11 * a_{gr}$
- Acção tipo 2, $a_g = a_{gr} \times 0.9 \times 1.33 \times 1.25 = 1.496 * a_{gr}$

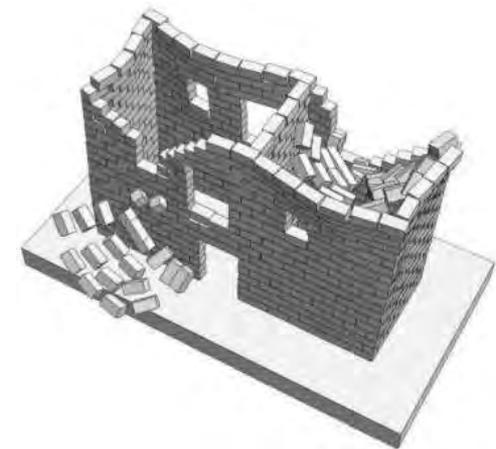
Faz sentido cumprir na íntegra, mesmo com intervenção demasiado intrusiva?

Análise estrutural: modelos globais

- Análises muito demoradas, mas com melhoria ano após ano
- Elementos finitos, elementos discretos, applied element method



Grant *et al.* (2019)
Nonlinear FEM



Alexandris *et al.* (2004)
DEM

10 outubro:

- Introdução e avaliação conhecimentos
- Conceitos gerais: sismicidade, risco e comportamento estrutural
- Alvenarias existentes
- Inspeção e diagnóstico
- Danos provocados por sismos
- Análise e verificação: análise fora-do-plano

11 outubro:

- Verificação global: análise no plano
- **Reforço sísmico: técnicas e abordagens**
- Casos práticos

Quiz

Go to

www.menti.com



Enter the code

4471 7704



Or use QR code



**Assegurar bom estado
de conservação**

Bibliografia

- João Appleton (2003) Reabilitação de Edifícios Antigos
- Antonino Giuffrè (1993) Sicurezza e conservazione dei centri storici: Il caso Ortigia.
- Vitor Córias (2008) Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos (2008)
- João Roque (2002) Reabilitação estrutural de paredes antigas de alvenaria, Escola de Engenharia da Universidade do Minho
- Gkournelos et al. (2022) Seismic upgrading of existing masonry structures: a state-of-art review, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 161.

Possibilidades de reforço

- Gkournelos et al. (2022)

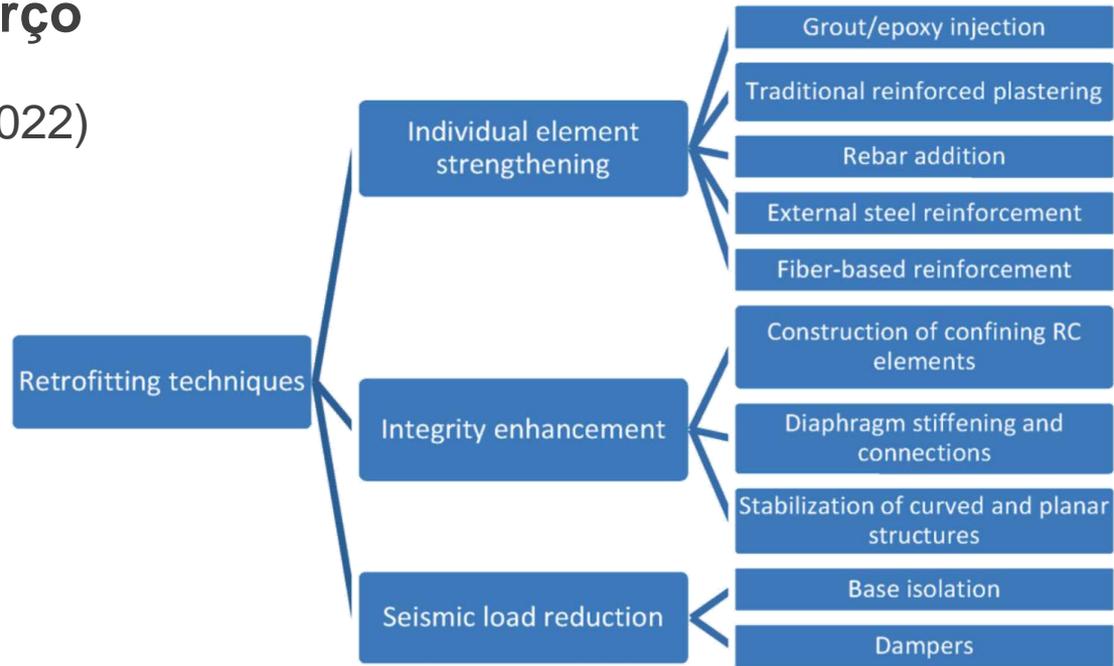


Fig. 4. Retrofitting strategies for URM structures.

Table 1
Effect of retrofit measures on building properties.

	Technique	Strength	Stiffness	Ductility	Irregularity	Force demand	Deformation demand
Individual element repair and strengthening	Grout and epoxy injection		+				
	Traditional reinforced plastering	+	+	+		-	
	Rebar addition	+	+	+		-	+
	External steel reinforcement	+	+	+		-	+
	Leaves Connection			+	+		
Integrity enhancement	Fiber-based reinforcement	+	+			-	+
	Construction of confining RC elements				+		
	Diaphragm stiffening and connections				+		
	Stabilization of curved masonry structures and planar systems				+		
Seismic load reduction	Base isolation					+	-
	Dampers					+	

Estratégias

- Soluções anteriores válidas para manter o atual sistema resistente
- Adição de novos elementos para sistema resistente
- Análise de rigidez entre sistema existente e novo sistema
- Perceção do comportamento global: boas práticas de comportamento sísmico
- Deformabilidade novos elementos vs. elementos existentes
- Validação do comportamento conjunto com avaliação de segurança (verificação do projeto de reforço sísmico)
- Controlar o comportamento através do dimensionamento

Estratégias

- Conceitos base de intervenção em estruturas existente
- Compatibilidade, intrusividade, reversibilidade (sempre que possível)
- Intervenções minimalistas
- Compatibilidade de massa e rigidez
- Na adição de novos elementos, fundamental ligação entre os elementos existentes e novos elementos (por exemplo, vigas de coroamento)

Estratégias



Reforço local



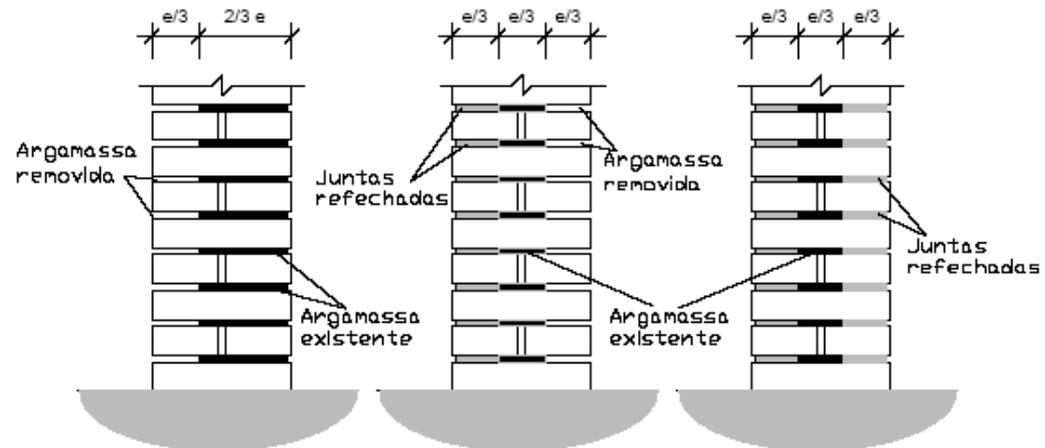
Refechamento de juntas

- Colmatação de fendas: destina-se a repor as condições de integridade da parede, assumindo que a capacidade resistente da parede é suficiente para as cargas actuantes. Esta reparação deverá ser realizada após compreensão e correcção das causas que originaram essa anomalia.
- Uma situação particular da colmatação de fendas ou juntas é o refechamento de juntas, com colmatação e substituição da argamassa degradada por argamassas de melhor qualidade, aumentando ligeiramente a resistência à compressão, aumentando consideravelmente a resistência à tracção e ao corte-deslizamento dos elementos estruturais. É facilmente aplicável em alvenarias de tipologia regular ou irregular.



Deep repointing

- Refechamento de juntas com argamassas de melhor qualidade (deep repointing)



Sem armaduras nas juntas (Roque, 2002), adaptado de (Tomazevic, 1999)

Sequência de trabalhos:

- Remoção parcial da argamassa e limpeza das juntas: extração e limpeza da argamassa existente nas juntas, numa profundidade de 5 a 7 cm
- Lavagem das juntas abertas com água (a baixa pressão)
- Reposição das juntas, com argamassa bem apertada.

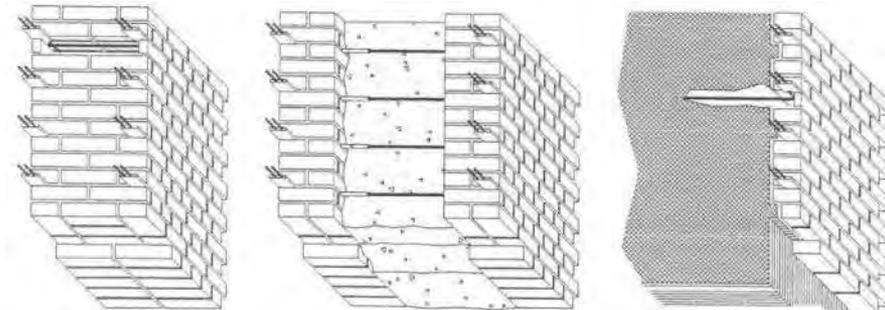
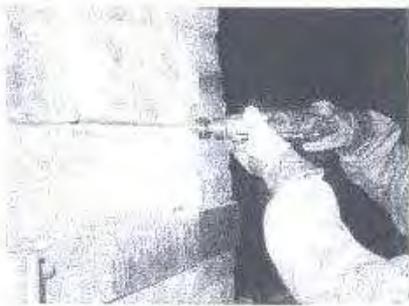
Deep repointing

- Refechamento de juntas com argamassas de melhor qualidade (deep repointing)



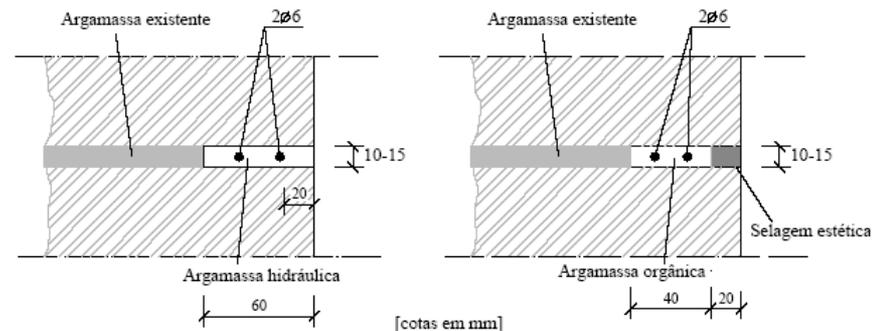
Armadura de reforço nas juntas horizontais

- Outra aplicação particular do refechamento de juntas com introdução de armadura de reforço nas juntas horizontais é utilizado para aumentar a resistência da alvenaria a esforços de corte (corte-deslizamento e corte-diagonal). Tem particular interesse em alvenarias regulares com juntas horizontais bem definidas, possibilitando a inserção de varões metálicos nas juntas, ficando protegidos pela argamassa de preenchimento das juntas.
- Método eficiente de reforço sísmico a esforços de corte para painéis de alvenaria



Sequência de trabalhos a realizar:

- Abertura de ranhuras na argamassa das juntas horizontais
- Remoção de elementos soltos de obstrução
- Aplicação da primeira camada de enchimento
- Colocação do material de reforço
- Aplicação do material de recobrimento dos reforços
- Selagem final das juntas:



Com armaduras nas juntas (Roque, 2002), adaptado de (Binda et al, 1999)

Injecção

- O objectivo da injecção para preenchimento de vazios recorrendo a caldas de injecção é uma melhoria das características mecânicas da alvenaria, sendo uma técnica aconselhada para alvenarias mal argamassadas, heterogéneas e com muitos vazios, ou que tenha perdido os seus finos e material aglutinante por lixiviação.
- Injecção deverá ser feita por gravidade ou a baixa pressão (0,1-0,2MPa), reduzindo introdução de pressões internas
- Deverá ser feita após refechamento das juntas da alvenaria
- Procedimento deve ser executado de baixo para cima, com intervalos de tempo que permitam alguma cura da calda

Injeção

- Sequência de trabalhos a realizar:
 - Remoção do reboco e limpeza da parede;
 - Refechamento de juntas e selagem das fissuras;
 - Posicionamento, execução e limpeza dos furos de injeção;
 - Colocação dos tubos de injeção;
 - Lavagem ou molhagem interior dos vazios;
 - Proceder à injeção



Injecção por gravidade (Costa, 1999)



Silva (2012)

Correcção de deformações

- A correcção de deformações fora-do-plano consiste na devolução da verticalidade ao elemento resistente, aumentando a sua capacidade resistente por diminuição de efeitos de instabilidade do(s) pano(s) (encurvadura) e aumento da capacidade de deformação à ação sísmica
- Esta correcção pode ser realizada por:
 - Desmonte parcial e/ou total do elemento estrutural para correcção da deformação;
 - Correção da deformação recorrendo a meios mecânicos (solução pouco comum), com forte complexidade técnica e de execução, nomeadamente pontos de amarração para ancoragem do sistema de reação.

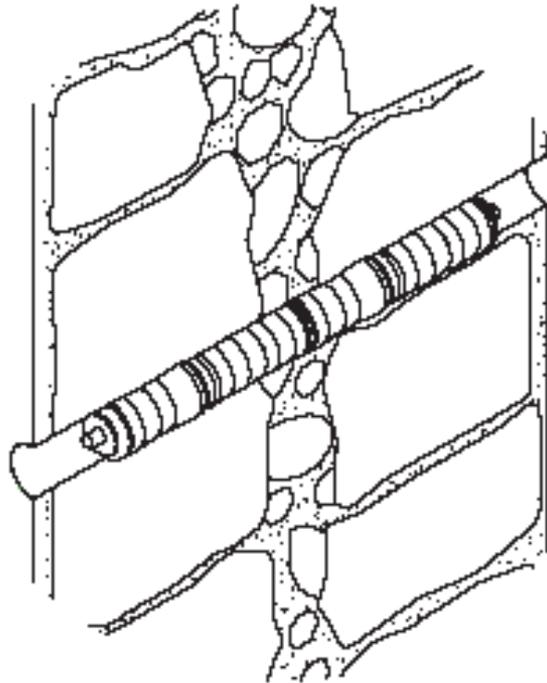
Correção de deformações



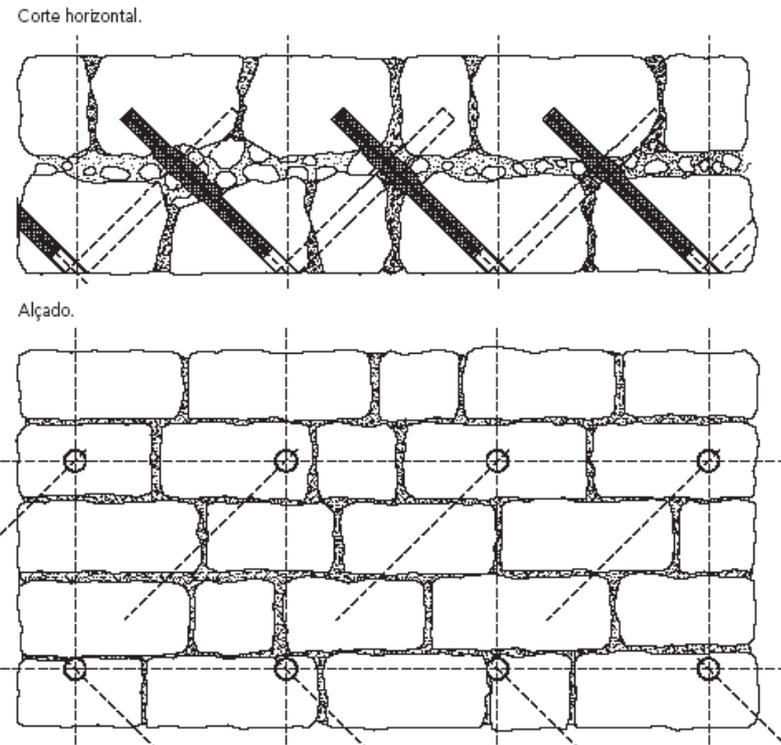
Mosteiro de Tibães - A. Costa *et al.* (2002) Novas possibilidades para o reforço estrutural

Pregagens

- Pregagens transversais, destinadas a ligar as diferentes folhas de uma parede composta, mediante tirantes ancorados nas faces opostas das paredes (com selagem por material ligante). Confinadores dotados de manga injetada;

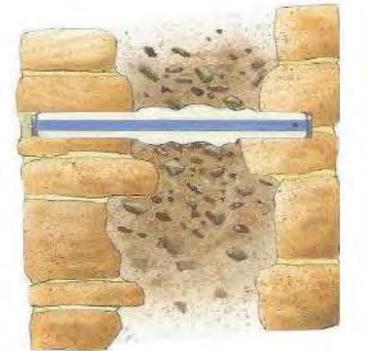


SISTEMA CINTEC (Vitor C6ias, 2007)



Pregagens

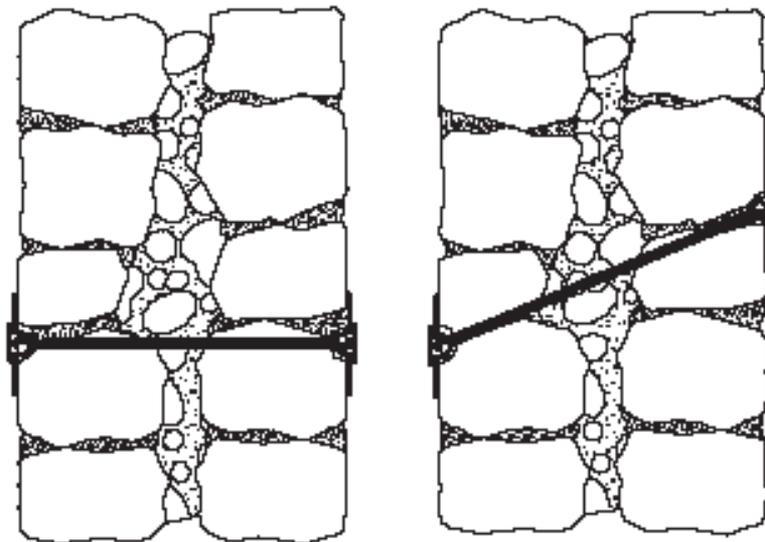
- Pregagens transversais, destinadas a ligar as diferentes folhas de uma parede composta, mediante tirantes ancorados nas faces opostas das paredes (com selagem por material ligante). Confinadores dotados de manga injetada;



SISTEMA CINTEC

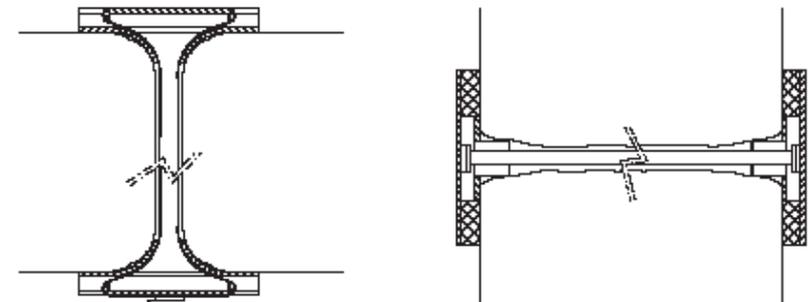
Pregagens

- Pregagens transversais, destinadas a ligar as diferentes folhas de uma parede composta, mediante tirantes ancorados nas faces opostas das paredes (sem selagem por material ligante). Confinadores apertados mecanicamente.



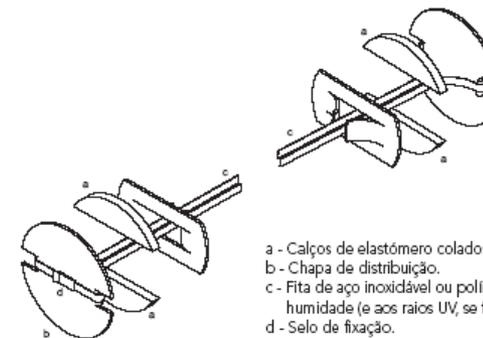
Cortes verticais.

LIGADORES RÍGIDOS (Vítor Cóias, 2007)



Corte horizontal.

Corte vertical.



- a - Calços de elastómero colados à chapa "b".
- b - Chapa de distribuição.
- c - Fita de aço inoxidável ou polímero reforçado resistente à humidade (e aos raios UV, se ficar exposto).
- d - Selo de fixação.

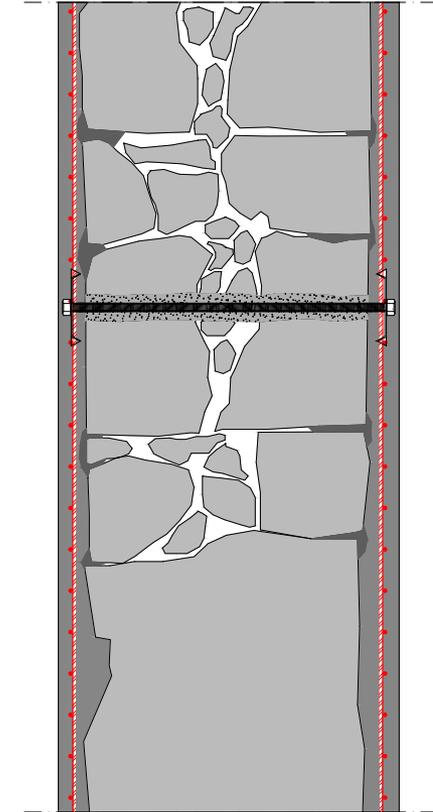
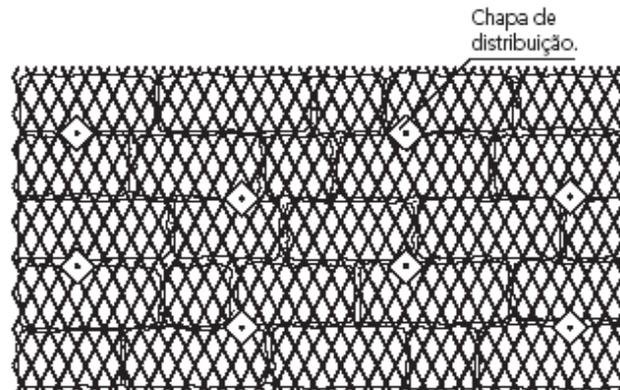
LIGADORES FLEXÍVEIS (Vítor Cóias, 2007)

Reboco armado

- Objetivo:
 - Garantir comportamento monolítico da alvenaria
 - Impedir abertura de paramentos
 - Manter a alvenaria no lugar
 - Conferir ductilidade
 - Aumentar capacidade resistente ao corte-deslizamento e corte-diagonal
 - Aumentar capacidade resistente no plano se ligado a vigas de fundação
 - Aumentar capacidade de deformação (principalmente) fora-do-plano
- Formas de executar:
 - Várias formas com diferentes tipos de material
 - Mais conhecida com argamassa de cimento e malha metálica. Problemas de compatibilidade química e impermeável

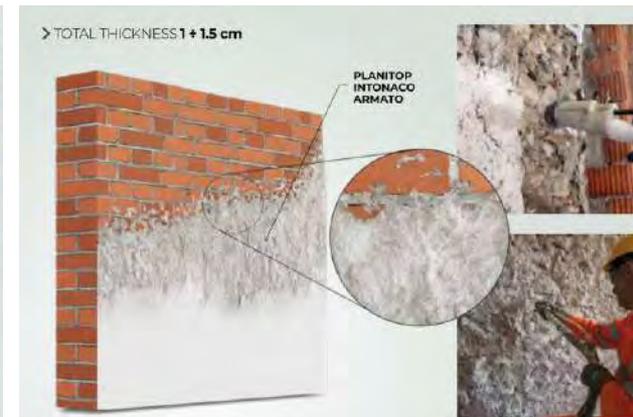
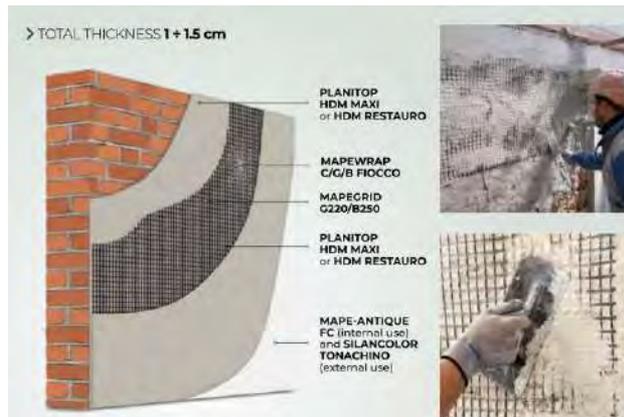
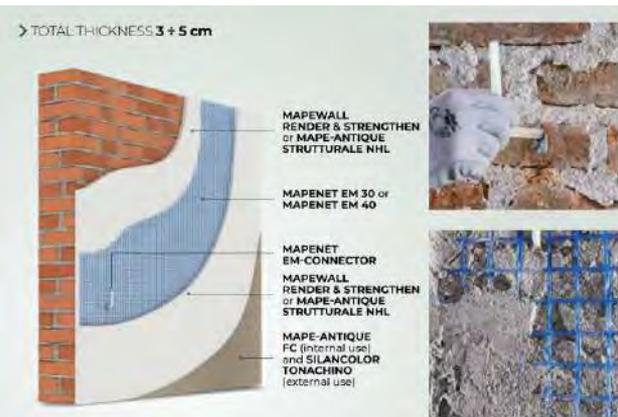
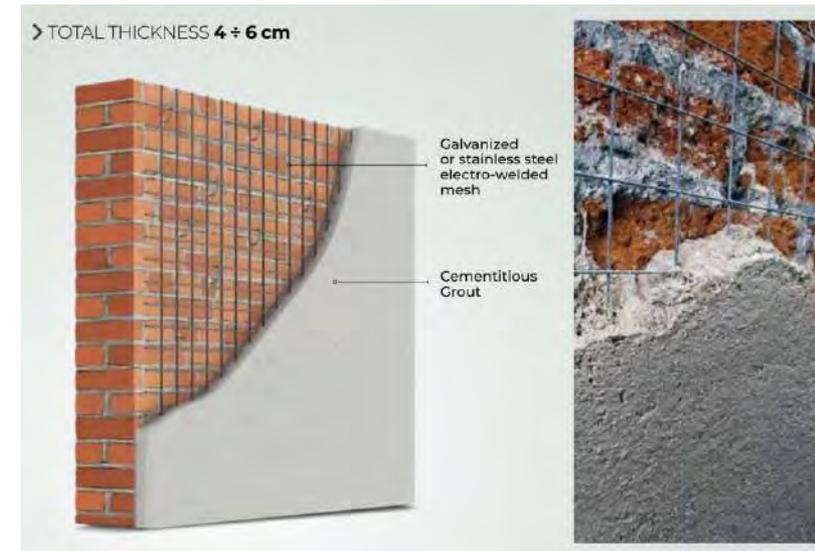
Reboco armado

- Sequência de trabalhos a realizar:
- Limpeza das superfícies;
- Refechamento de juntas com argamassa
- Emboço de regularização
- Colocação de uma malha (de aço inox ou outra) de cada lado da parede, possivelmente ligando-os através de ligadores metálicos
- Reboco de acabamento
- Espessura do reboco dependente da proteção da armadura



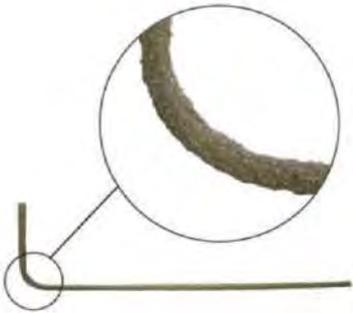
Reboco armado

- Substituição da malha de aço por FRP (vidro ou carbono)
- Substituição da argamassa de cimento por cal
- Substituição da malha por argamassa armada



Reboco armado

- Em qualquer solução, colocação de ligadores entre paramentos



Conector fibra vidro alcali-resistente e resina



Conector GFRP e CFRP

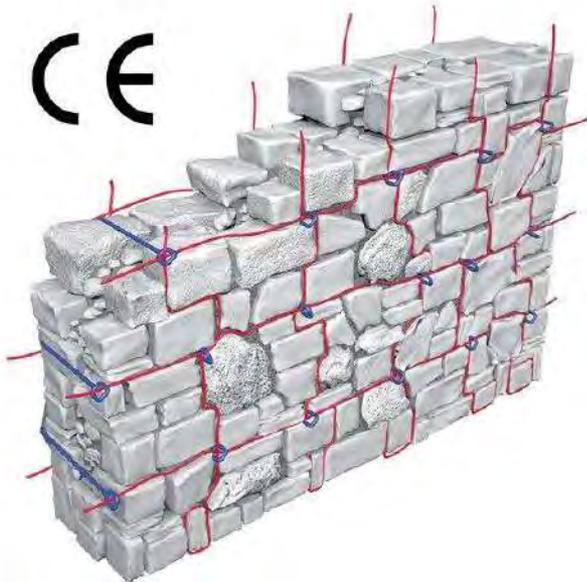


Reboco armado



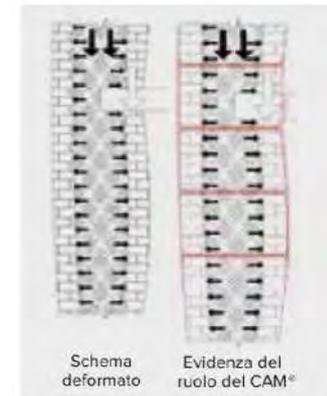
Reforços de superfície

- Sistema RETICOLA



Reforços de superfície

- Sistema CAM



Reforços de superfície

- A aplicação de lâminas de reforço, recorrendo a varões metálicos ou fibras FRPs, pode também ser uma solução em zonas específicas de uma estrutura com insuficiente capacidade resistente aos esforços actuantes. Deverá ser assegurada a aderência entre o reforço e a alvenaria, garantindo a eficácia da ligação (podem ser realizados ensaios de arrancamento).



J. Ingham (2012)

Reforços de superfície

- Resisto 5.9 (Progetto sisma)



ANCORAGGIO CHIMICO:

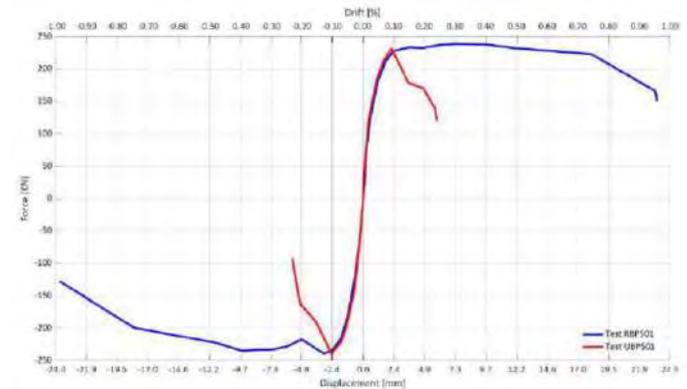
barra filetata M14
foro Ø16 mm di profondità 100/150 mm
iniettato con resina certificata

DADI DI FISSAGGIO:

n.2 dadi M12 con rondella per lato

BULLONI:

n. 2 bulloni M12 per lato
acciaio inox classe 8.8.



Manzini *et al.* (2022)

Melhoria de propriedades

- Código italiano - NTC2018, Capítulo 8
 - Valores não vinculativos (ler Norma...)

Tabella C8.5.I -Valori di riferimento dei parametri meccanici della muratura, da usarsi nei criteri di resistenza di seguito specificati (comportamento a tempi brevi), e peso specifico medio per diverse tipologie di muratura. I valori si riferiscono a: f = resistenza media a compressione, τ_0 = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), f_{v0} = resistenza media a taglio in assenza di tensioni normali (con riferimento alla formula riportata, a proposito dei modelli di capacità, nel §C8.7.1.3), E = valore medio del modulo di elasticità normale, G = valore medio del modulo di elasticità tangenziale, w = peso specifico medio.

Tipologia di muratura	f	τ_0	f_{v0}	E	G	w
	(N/mm ²)	(kN/m ³)				
	min-max	min-max		min-max	min-max	
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,0-2,0	0,018-0,032	- -	690-1050	230-350	19
Muratura a conci sbazzati, con paramenti di spessore disomogeneo (*)	2,0	0,035-0,051	- -	1020-1440	340-480	20
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	2,6-3,8	0,056-0,074	- -	1500-1980	500-660	21
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,4-2,2	0,028-0,042	- -	900-1260	300-420	13 ÷ 16(**)
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,) (**)	2,0-3,2	0,04-0,08	0,10-0,19	1200-1620	400-500	
Muratura a blocchi lapidei squadriati	5,8-8,2	0,09-0,12	0,18-0,28	2400-3300	800-1100	22
Muratura in mattoni pieni e malta di calce (***)	2,6-4,3	0,05-0,13	0,13-0,27	1200-1800	400-600	18
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	5,0-8,0	0,08-0,17	0,20-0,36	3500-5600	875-1400	15

(*) Nella muratura a conci sbazzati i valori di resistenza tabellati si possono incrementare se si riscontra la sistematica presenza di zeppe profonde in pietra che migliorano i contatti e aumentano l'ammorsamento tra gli elementi lapidei; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente pari a 1,2.

(**) Data la varietà litologica della pietra tenera, il peso specifico è molto variabile ma può essere facilmente stimato con prove dirette. Nel caso di muratura a conci regolari di pietra tenera, in presenza di una caratterizzazione diretta della resistenza a compressione degli elementi costituenti, la resistenza a compressione può essere valutata attraverso le indicazioni del § 11.10 delle NTC.

(***) Nella muratura a mattoni pieni è opportuno ridurre i valori tabellati nel caso di giunti con spessore superiore a 13 mm; in assenza di valutazioni più precise, si utilizzi un coefficiente riduttivo pari a 0,7 per le resistenze e 0,8 per i moduli elastici.

Melhoria de propriedades

- Código italiano - NTC2018, Capítulo 8
 - Melhorias em função do tipo de reforço (ler Norma...); Cumulativo
 - Nem sempre aplicável a todas as características (resistência **R** ou rigidez **K**)

Tabella C8.5.II -Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	50%	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Melhoria de propriedades

- Código italiano - NTC2018, Capítulo 8

In tal caso non si applicano i coefficienti relativi alla connessione trasversale della muratura non consolidata e alla ristilatura armata. Si rileva che il consolidamento con intonaco armato non ha alcuna efficacia in assenza di sistematiche connessioni trasversali e la sua efficacia è ridotta quando realizzato su un solo paramento.

Tabella C8.5.II -Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(****)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Melhoria de propriedades

- Código italiano - NTC2018, Capítulo 8

Questa tecnica (con i relativi coefficienti migliorativi) può essere applicata anche sostituendo, su uno dei paramenti, la ristilatura armata con un intonaco armato di limitato spessore, realizzato con malta a base calce, purché siano posti in opera gli elementi di connessione trasversale.

Tabella C8.5.II -Coefficienti correttivi massimi da applicarsi in presenza di: malta di caratteristiche buone; ricorsi o listature; sistematiche connessioni trasversali; consolidamento con iniezioni di malta; consolidamento con intonaco armato; ristilatura armata con connessione dei paramenti.

Tipologia di muratura	Stato di fatto			Interventi di consolidamento			
	Malta buona	Ricorsi o listature	Connessione trasversale	Iniezione di miscele leganti (*)	Intonacoarmato (**)	Ristilatura armata con connessione dei paramenti (**)	Massimo coefficiente complessivo
Muratura in pietrame disordinata (ciottoli, pietre erratiche e irregolari)	1,5	1,3	1,5	2	2,5	1,6	3,5
Muratura a conci sbozzati, con paramenti di spessore disomogeneo	1,4	1,2	1,5	1,7	2,0	1,5	3,0
Muratura in pietre a spacco con buona tessitura	1,3	1,1	1,3	1,5	1,5	1,4	2,4
Muratura irregolare di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,5	1,2	1,3	1,4	1,7	1,1	2,0
Muratura a conci regolari di pietra tenera (tufo, calcarenite, ecc.,)	1,6	-	1,2	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura a blocchi lapidei squadrati	1,2	-	1,2	1,2	1,2	-	1,4
Muratura in mattoni pieni e malta di calce	(***)	-	1,3 (****)	1,2	1,5	1,2	1,8
Muratura in mattoni semipieni con malta cementizia (es.: doppio UNI foratura ≤40%)	1,2	-	-	-	1,3	-	1,3

(*) I coefficienti correttivi relativi alle iniezioni di miscele leganti devono essere commisurati all'effettivo beneficio apportato alla muratura, riscontrabile con verifiche sia nella fase di esecuzione (iniettabilità) sia a-posteriori (riscontri sperimentali attraverso prove soniche o similari).

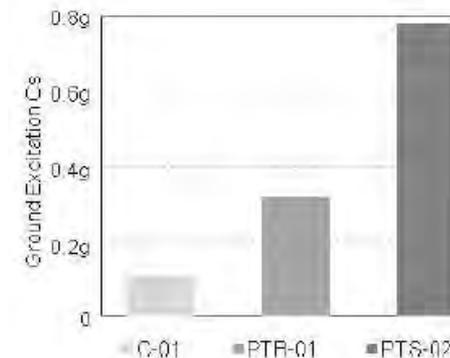
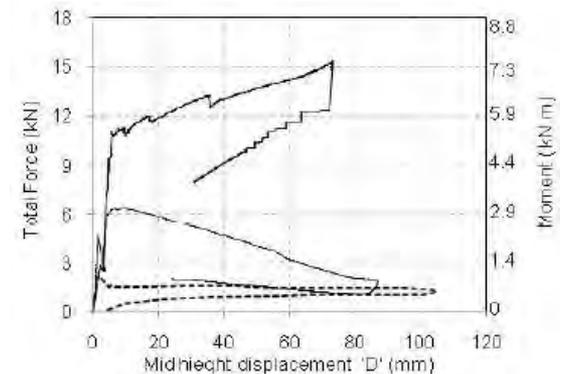
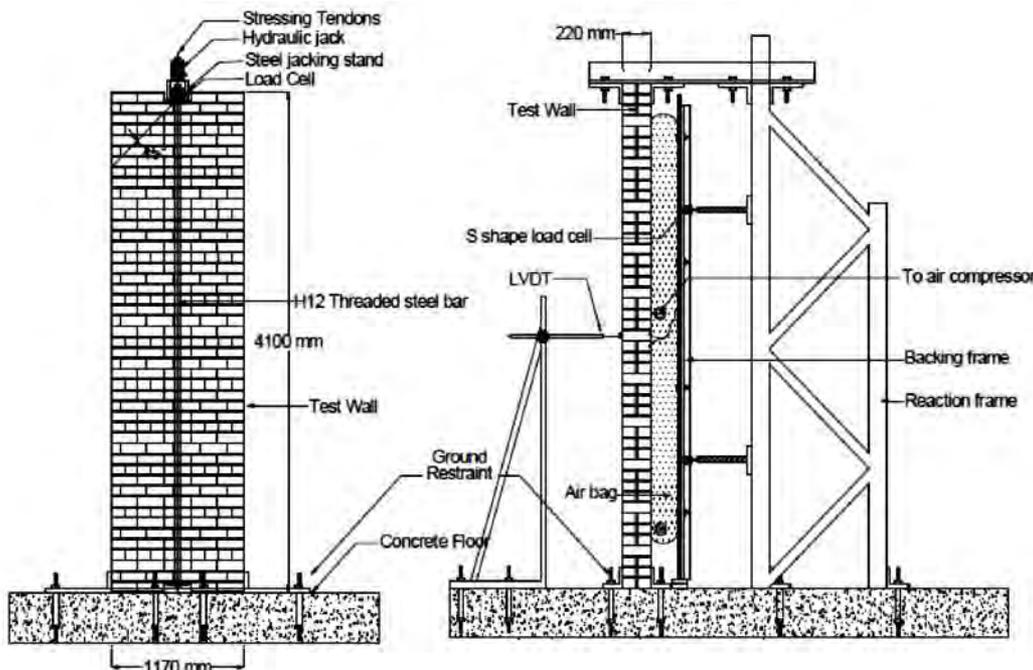
(**) Valori da ridurre convenientemente nel caso di pareti di notevole spessore (p.es. > 70 cm).

(***) Nel caso di muratura di mattoni si intende come "malta buona" una malta con resistenza media a compressione f_m superiore a 2 N/mm². In tal caso il coefficiente correttivo può essere posto pari a $f_m^{0,35}$ (f_m in N/mm²).

(****) Nel caso di muratura di mattoni si intende come muratura trasversalmente connessa quella apparecchiata a regola d'arte.

Compressão vertical

- Ismail, Laursen, and Ingham (2010) realizaram três ensaios em paredes de alvenaria de tijolo, uma delas sem pré-esforço e outras duas com varões pós-tensionados (com diferente carga vertical). As paredes continham todas a mesma geometria (altura - 3900 mm; largura – 1170 mm; espessura – 220 mm). A parede 1 continha uma força de 0kN, a PTB-01 de 50kN (0,2 MPa) e a PTS-02 de 100 kN (0,4MPa). Estas paredes apresentavam tijolos e geometria representativa da construção praticada na Nova Zelândia.

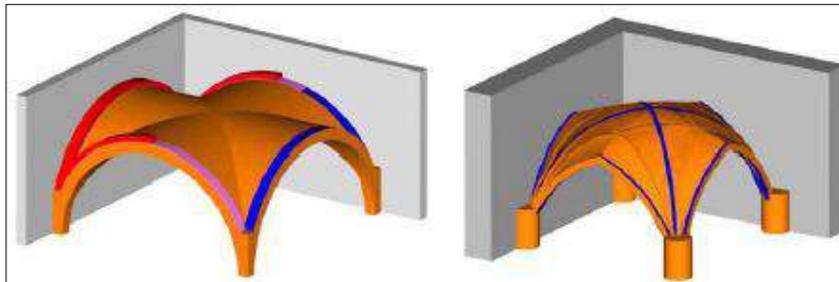


Reforço global



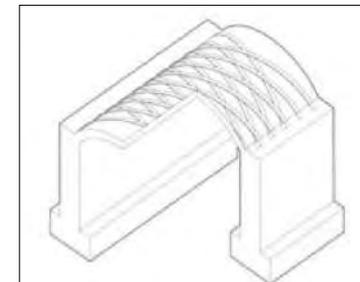
Elementos curvos

- Aplicação de FRP/GFRP para reabilitação ou reforço de abóbadas existentes.
- Objectivo: Reforço para flexão/tracção de arcos e abóbadas. Evita colapso local origina melhor comportamento global
- Pontos principais:
 - Colagem à superfície do material com resina, sendo que o elemento fraco é, regra geral, a alvenaria ou a interface, se a colagem não for bem realizada. Realizar ensaios de arrancamento (pull-off) e é importante a regularização prévia
 - Altera funcionamento, contrariando a abertura de “rótulas” devido à inserção da “armadura” de compósito. Reforço de flexão, podendo ser realizado pelo extradorso, intradorso ou ambos
 - Fundamental fazer a entrega do reforço no suporte



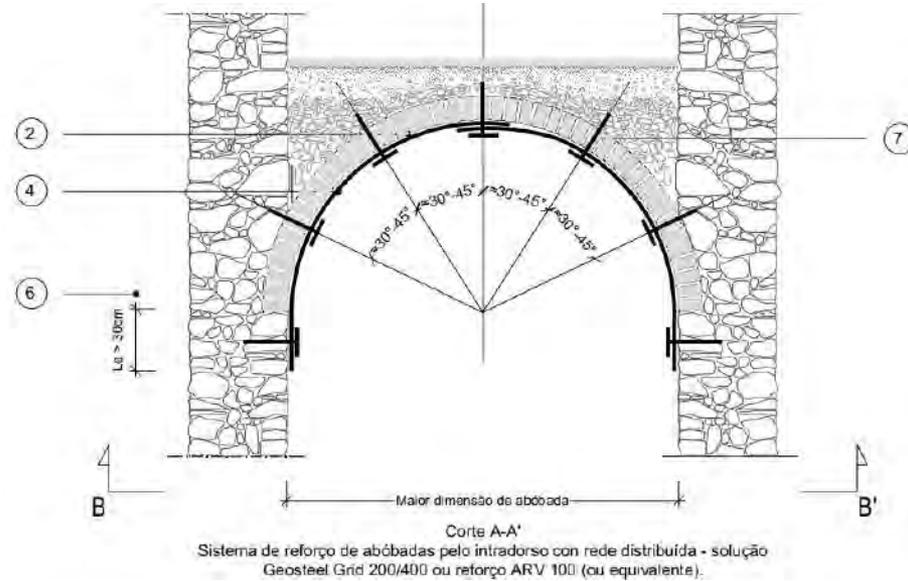
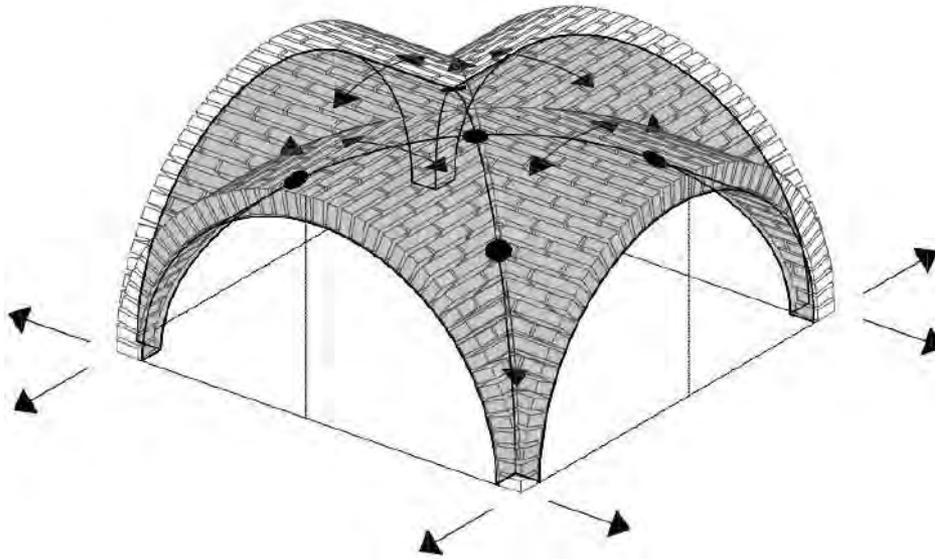
Ismael Basilio, 2007

Slide 36 / Alexandre A. Costa, 2022



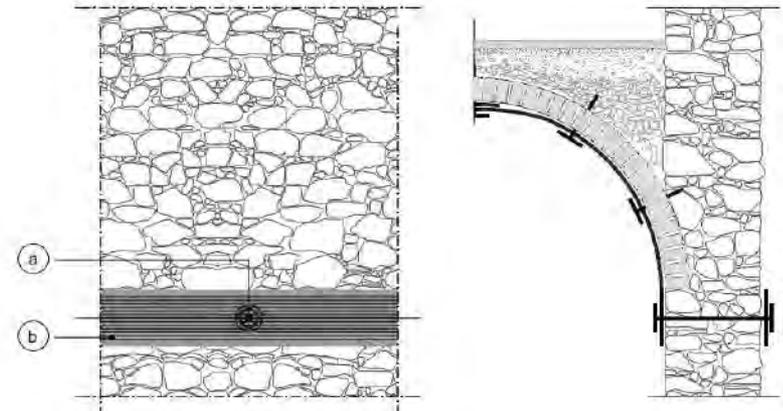
Vítor Córias, 2007

REFORÇO ESTRUTURAL PELO INTRADORSO DAS ABÓBADAS DE ARESTAS

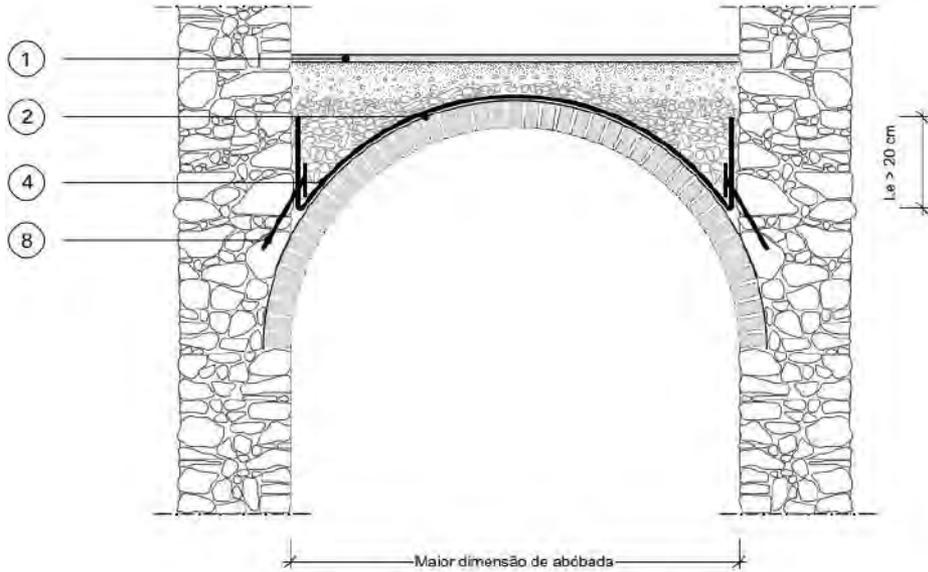
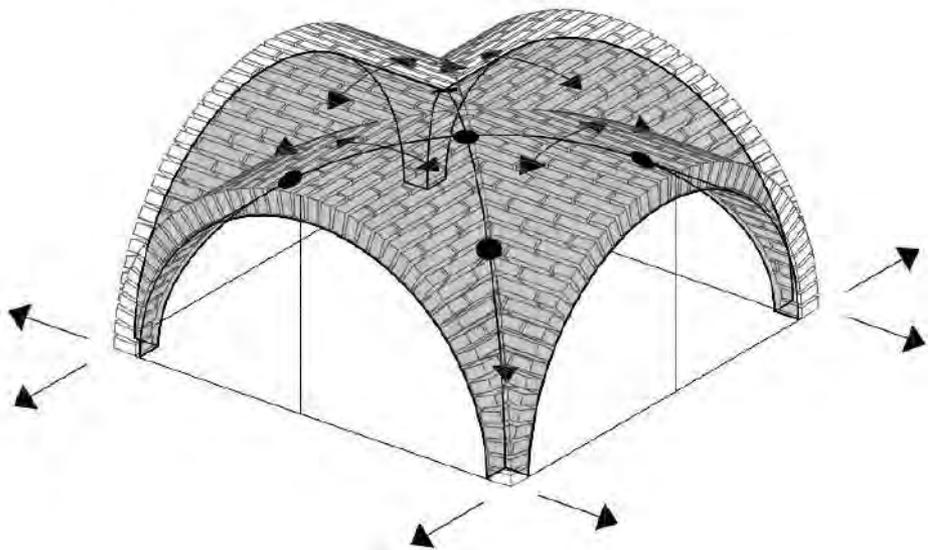


NOTA: Os desenhos apresentados são exemplificativos de um aparelho de alvenaria de pedra e de abóbadas em alvenaria de tijolo. No caso de encontrarmos alvenaria irregular e pobre é aconselhado realizar esta intervenção em conjunto com injeções com calda.

PROCEDIMENTO DE APLICAÇÃO DO CONECTOR COM ANCORAGEM

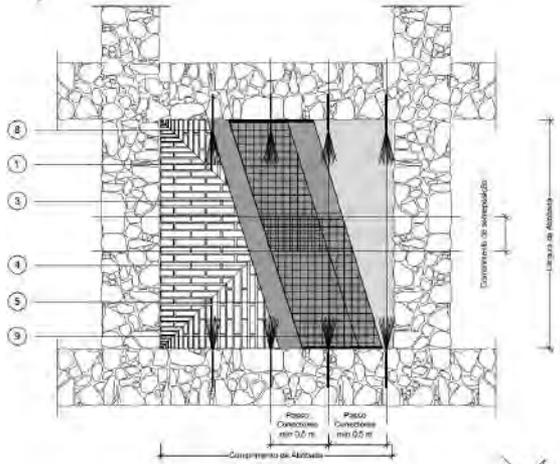


REFORÇO ESTRUTURAL PELO EXTRADORSO DAS ABÓBADAS DE ARESTAS



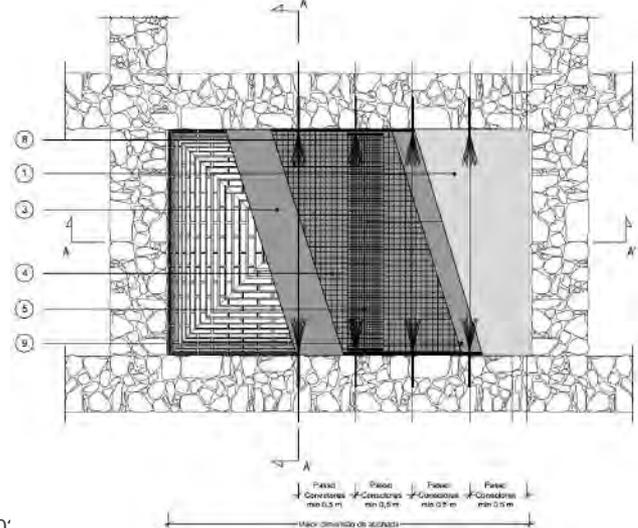
Corte A-A
Sistema de reforço de abóbadas pelo extrados com rede distribuída - solução Geosteel Grid 200/400 ou reforço ARV 100 (ou equivalente).

NOTA: Os desenhos apresentados são exemplificativos de um aparelho de alvenaria de pedra e de abóbadas em alvenaria de tijolo. No caso de encontrarmos alvenaria irregular e pobre é aconselhado realizar esta intervenção em conjunto com injeções com calda.



Planta
Sistema de reforço de abóbadas pelo extrados com rede distribuída (solução Geosteel Grid 200/400 ou reforço ARV 100 (ou equivalente)).

Pormenor para abóbada de berço



Elementos curvos



Elementos curvos





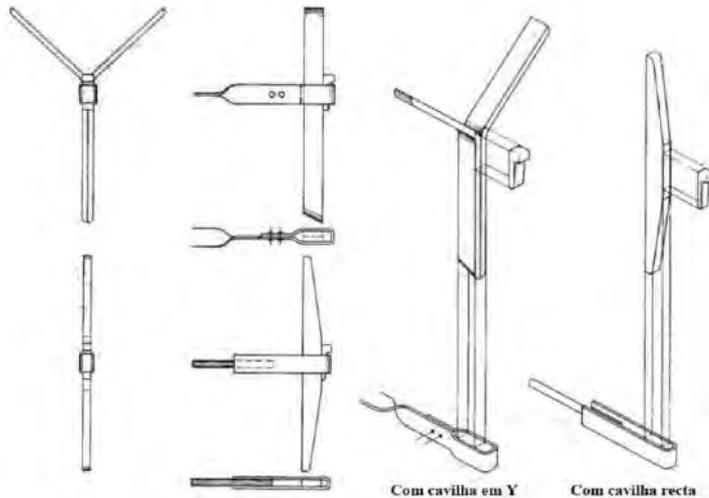
Ligação entre elementos

- *Think global... Act local...*
- Comportamento em caixa fechada (*box behaviour*), assegurando uma eficiente ligação entre elementos verticais e horizontais.
- Evita-se a formação de mecanismos locais com alteração dos modos de vibração, mobilizando o comportamento global no plano
- Esta ligação pode ser realizada através de:
 - Tirantes e pregagens;
 - Conectores entre paredes ortogonais;
 - Pavimentos e cobertura rígidos no plano (diafragma rígido) eficientemente ligados às paredes;
 - Outras soluções que garantam um comportamento global adequado.

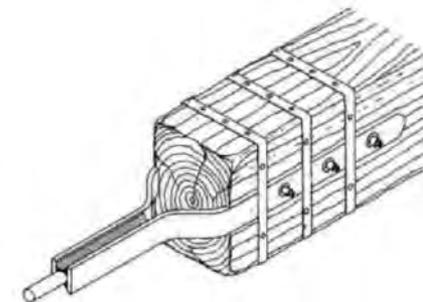
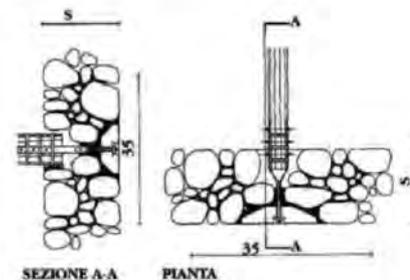
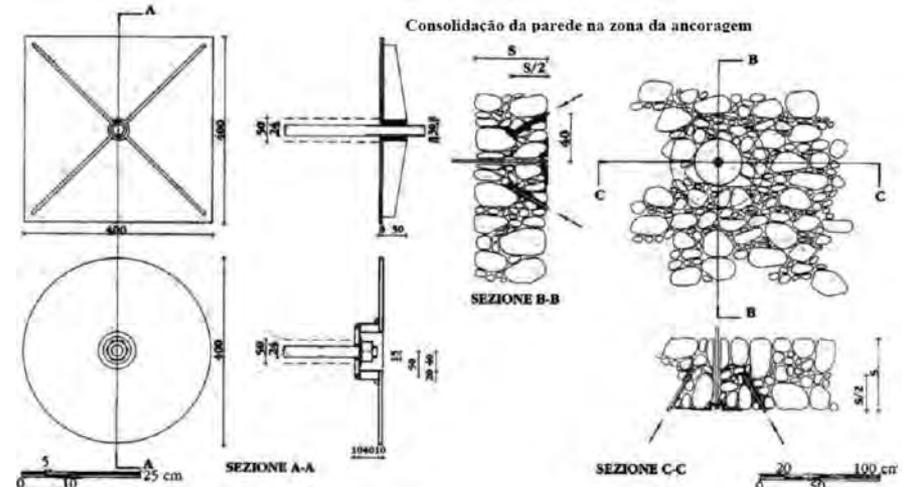
Ligação entre elementos

- Tirantes

Ancoragem em alvenaria de boa qualidade
(área mobilizada definida pelo atrito entre pedras)



Ancoragem em alvenaria fraca qualidade
(área mobilizada definida pelo cone de rotura)



Ligação entre elementos

- Tirantes



Ligação entre elementos - pregagens

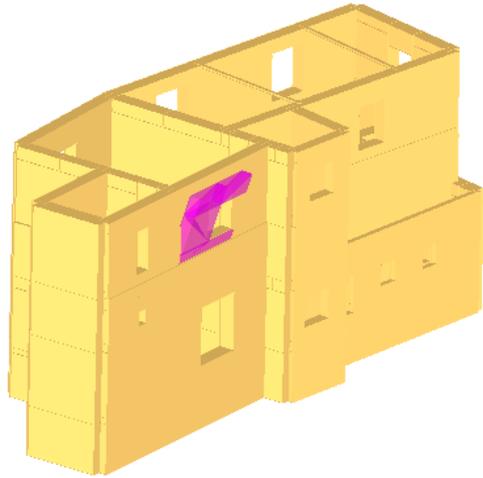
- Evitar mecanismos locais, com varões embebidos na alvenaria com manga injetável para melhorar aderência
- Comprimento do mecanismo local restringido pelo reforço fica definido pelo comprimento da pregagem
- Existência ou não de chapa de ancoragem depende da qualidade da alvenaria, da qualidade e dimensão da pedra, e objetivo da intervenção (evitar derrube da fachada ou coser alvenaria evitando fenda diagonal)



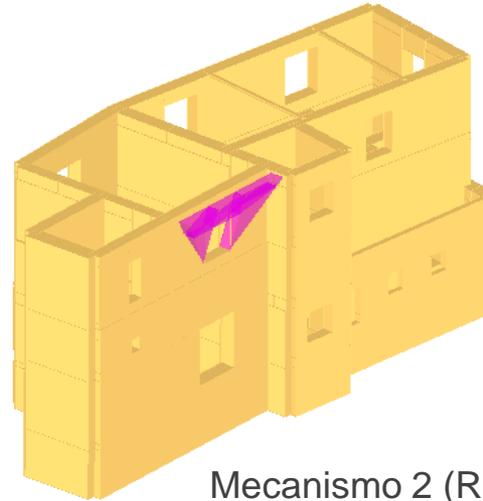
Ligação entre elementos - pregagens



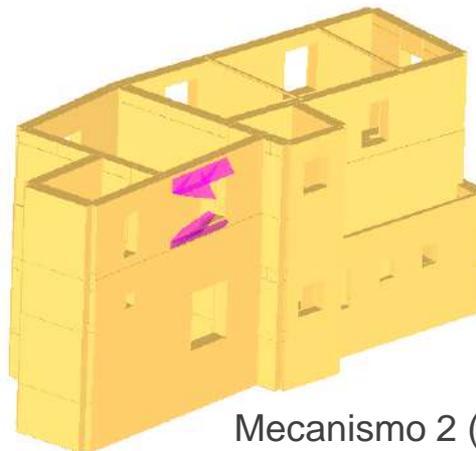
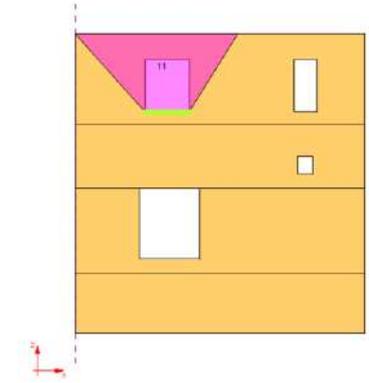
Ligação entre elementos - exemplo



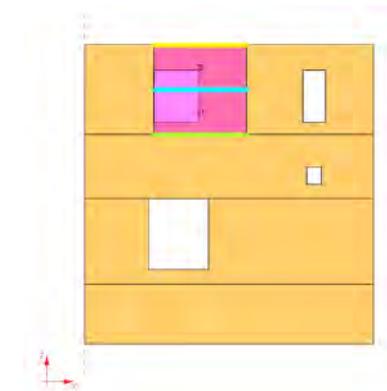
Mecanismo 2



Mecanismo 2 (R)
Cenário A



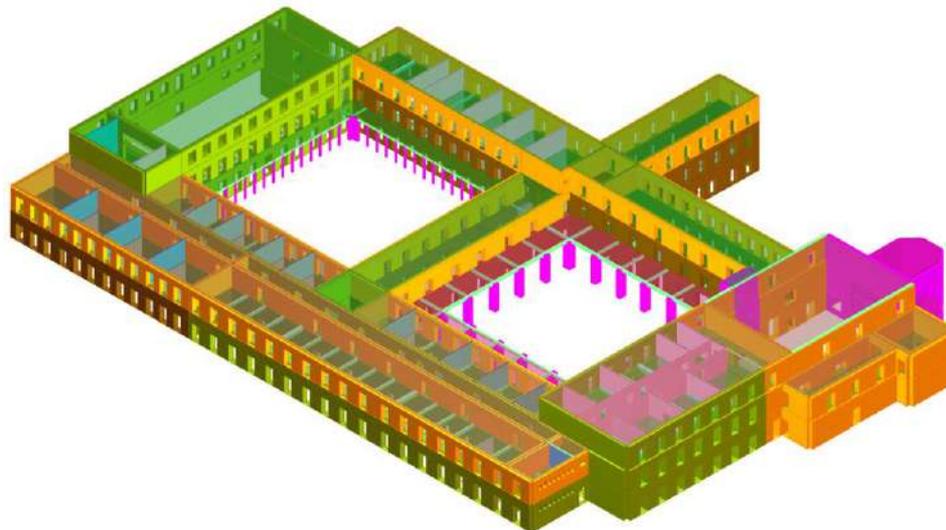
Mecanismo 2 (R)
Cenário B



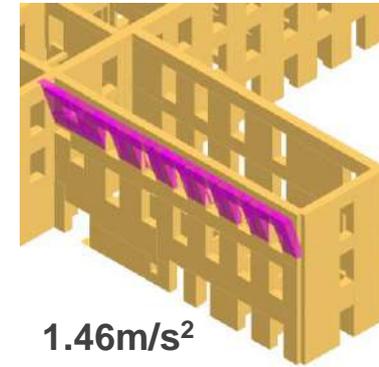
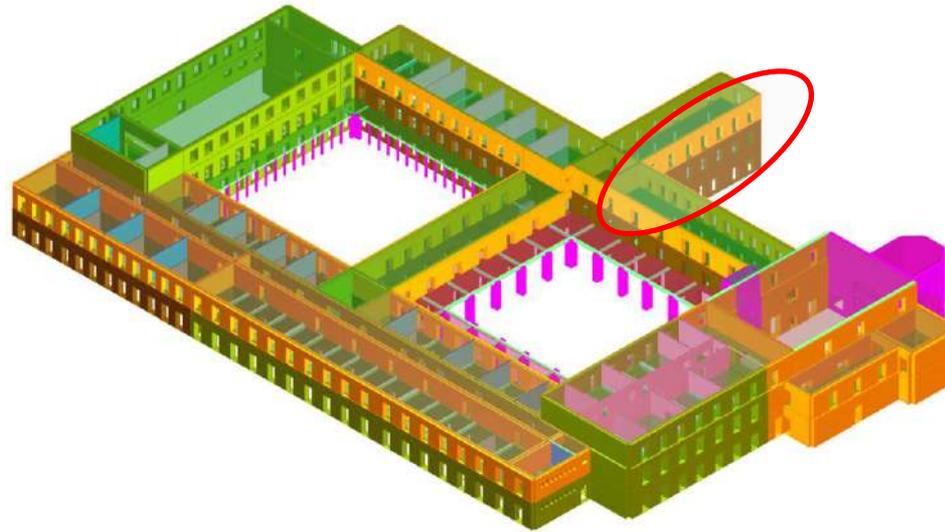
Mecanismo	α^* [m/s ²]	α^* min [m/s ²]	Verifica
2 – Cenário A	1,07	3,93	KO
2 – Cenário B	10,86	3,93	OK

Ligação entre elementos - exemplo

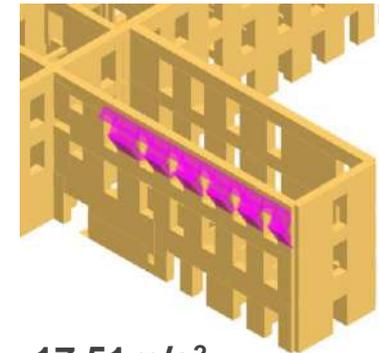
- Definição de mecanismos com base em fendas identificadas em fase de inspeção e diagnóstico
- Análise considerando ou não a existência de ligação entre paredes e cobertura
- Resultados mostram melhorias importantes na diminuição da vulnerabilidade sísmica com a ligação (de KO para OK em praticamente todos os mecanismos analisados)



Ligação entre elementos - exemplo

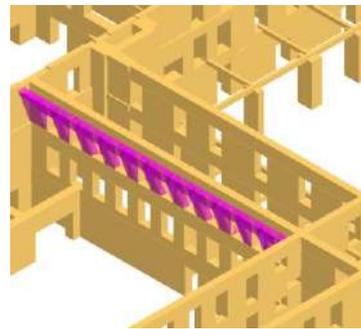
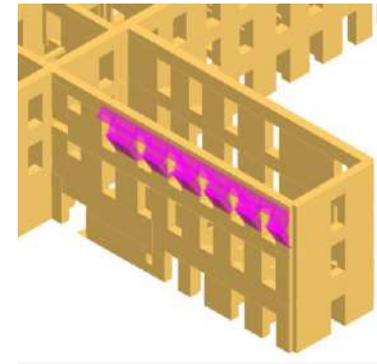
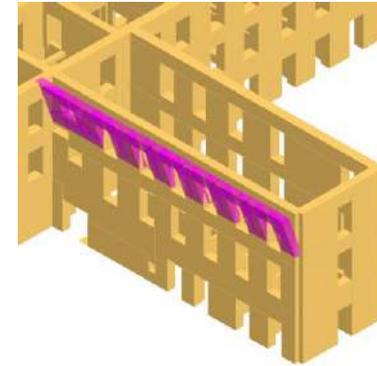
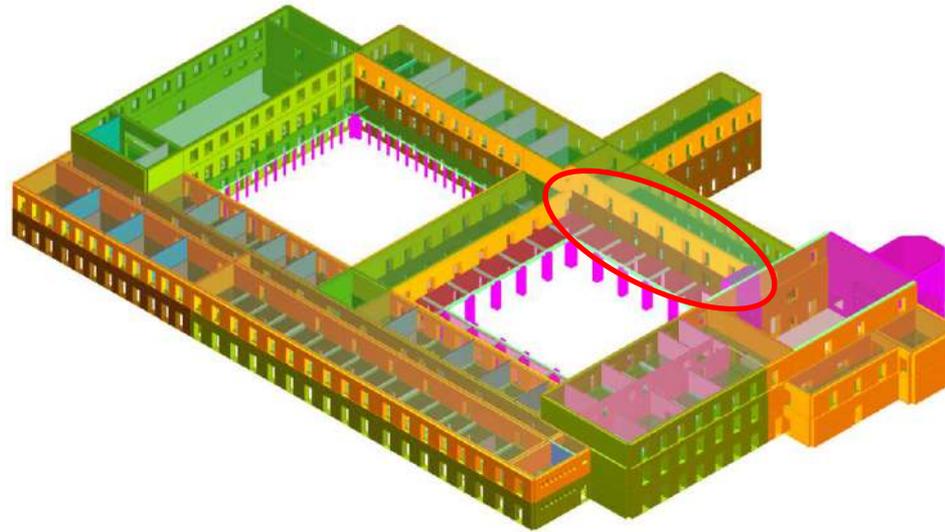


1.46m/s²

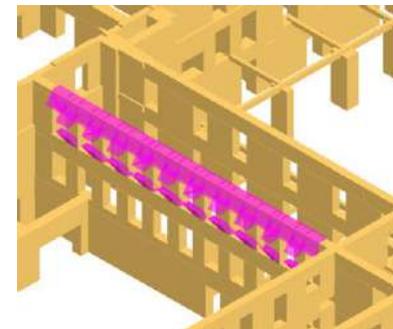


17.51m/s²

Ligação entre elementos - exemplo

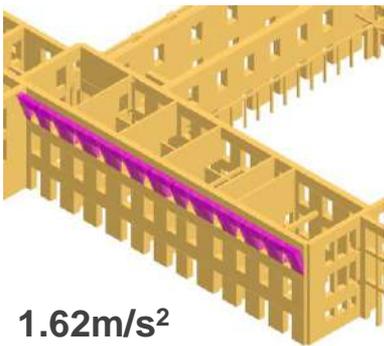
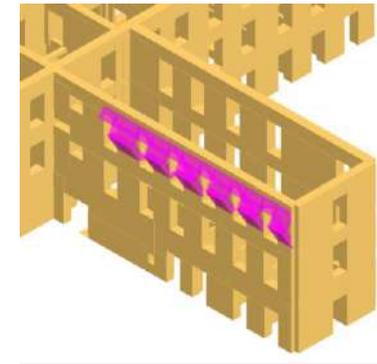
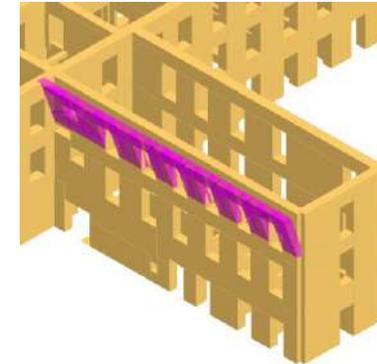
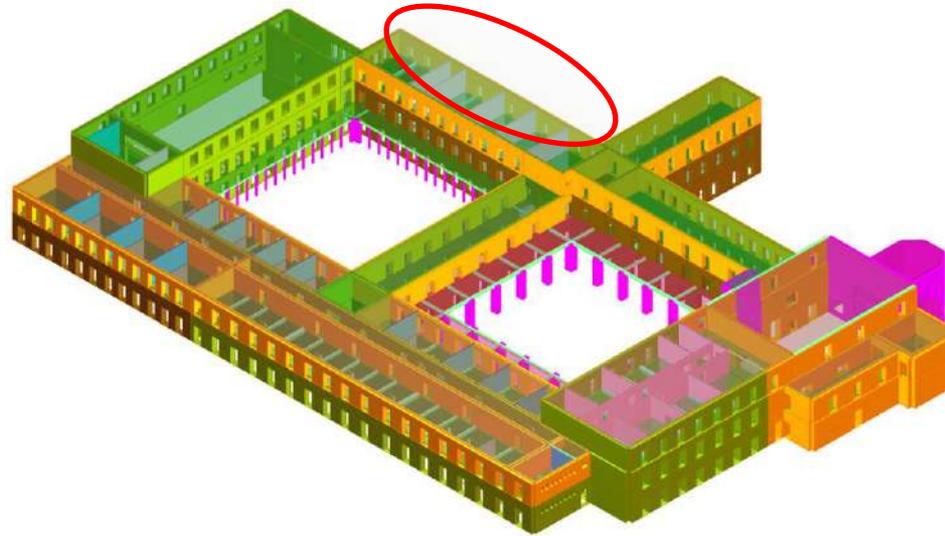


1.48m/s²

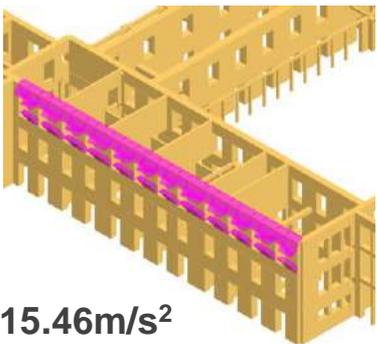


14.36m/s²

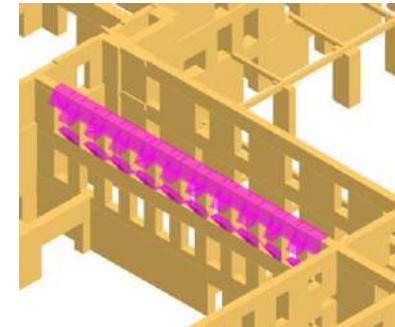
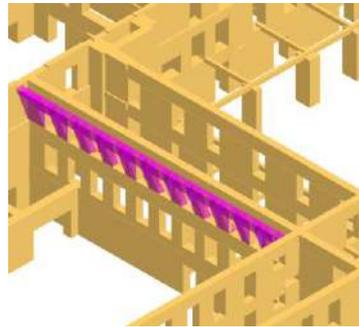
Ligação entre elementos - exemplo



1.62m/s²



15.46m/s²



Ligação entre elementos

- Utilização do sistema para cargas verticais

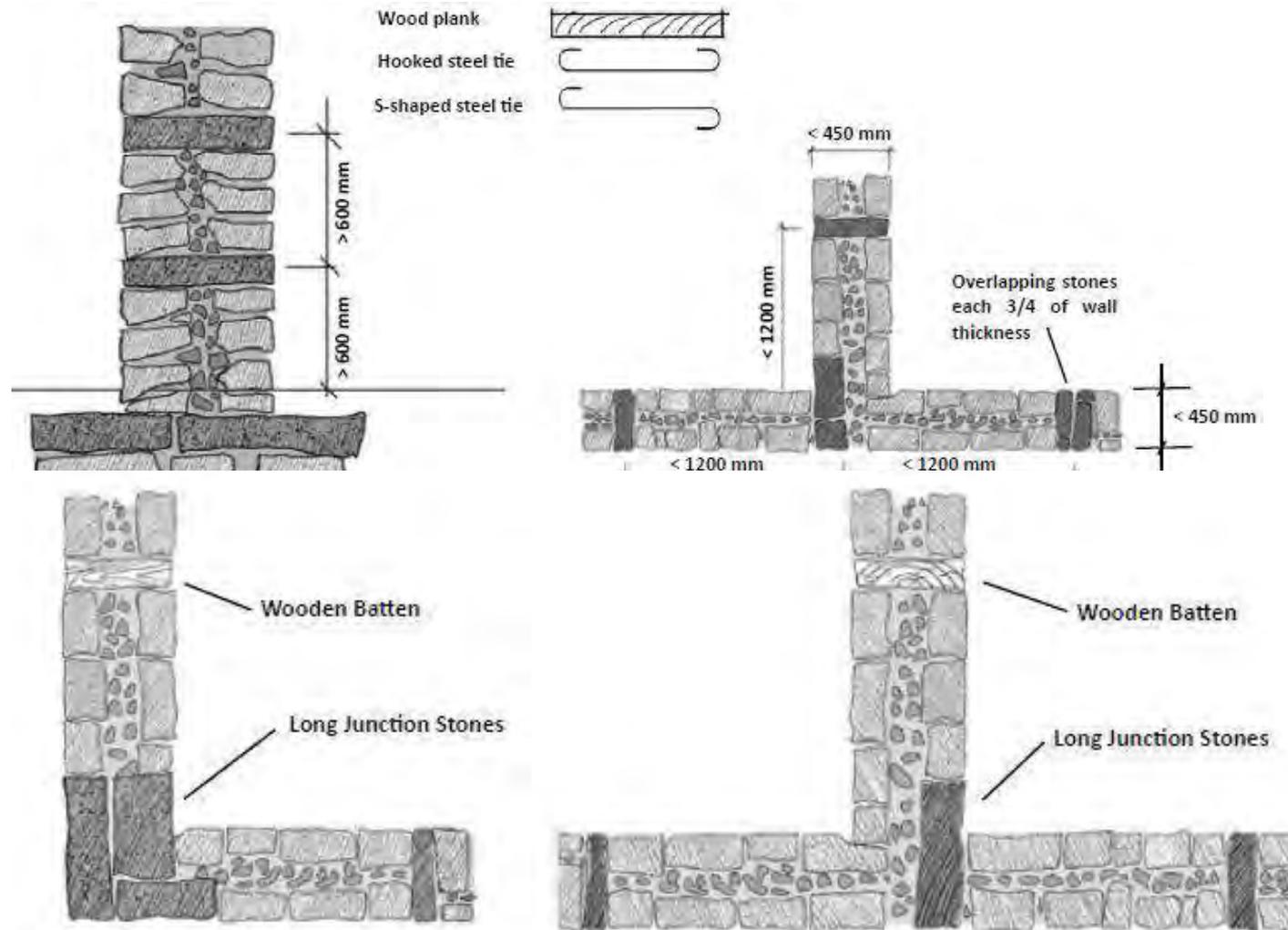








Ligação entre elementos

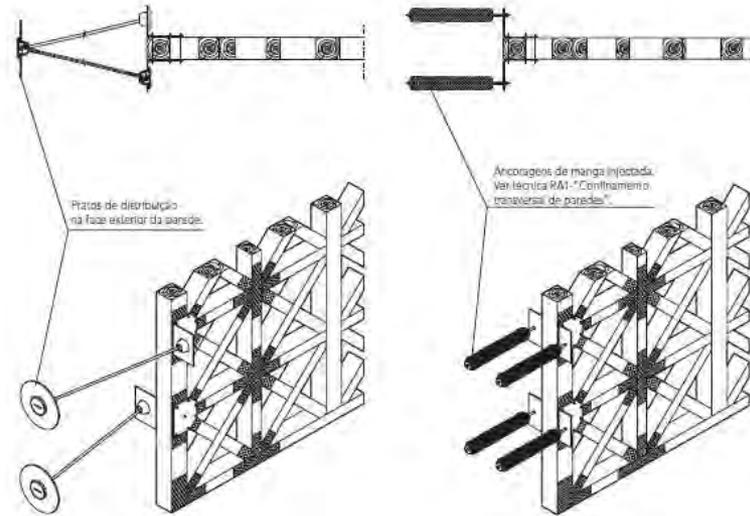


J. Bothara and S. Brzev, *A tutorial: improving the seismic performance of stone masonry buildings*. Earthquake Engineering Research Institute, 2012.

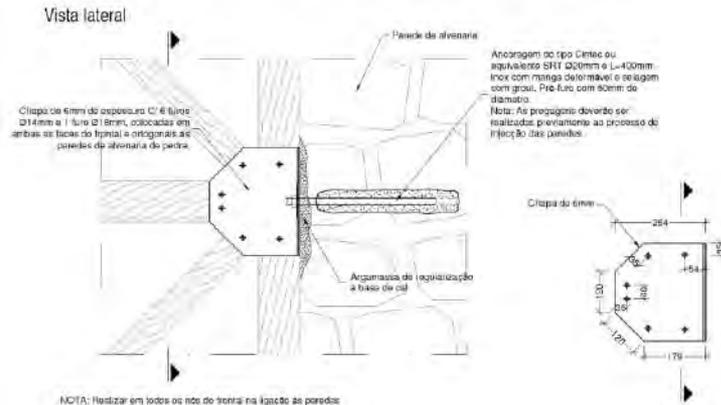
Ligação entre elementos



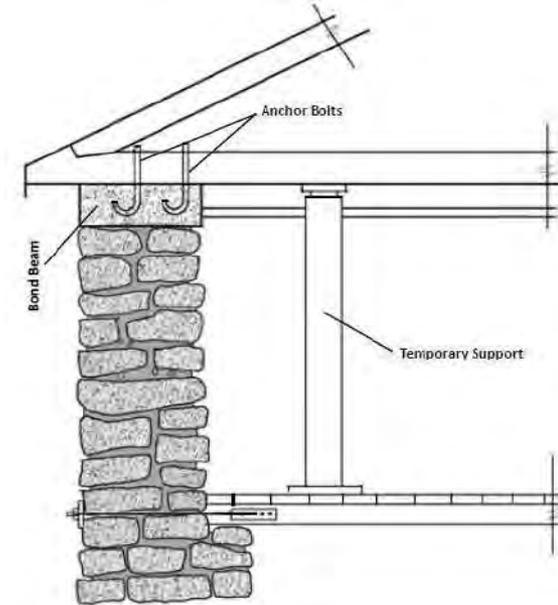
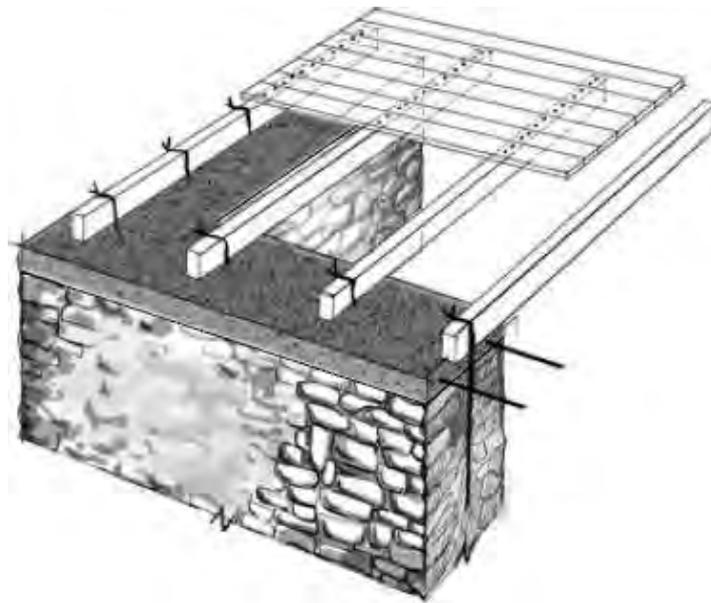
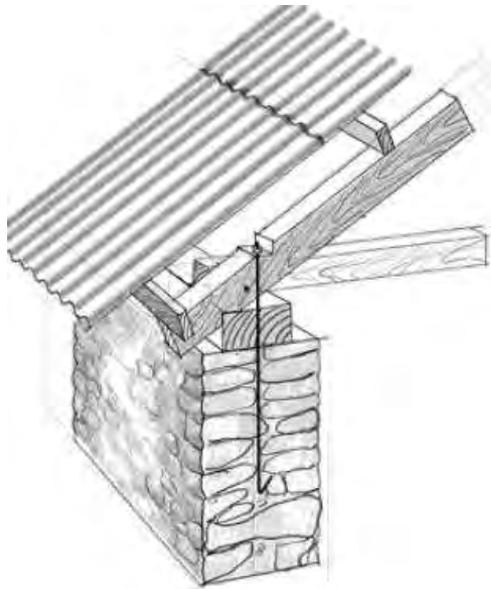
PMa2 - Pormenor das ligações aparafusadas do frontal às paredes de alvenaria de pedra
Esc. 1:10



Cóias (2007)



Ligação entre elementos

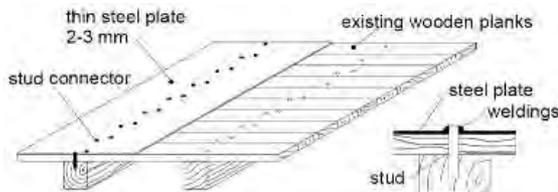
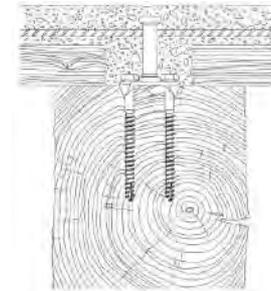
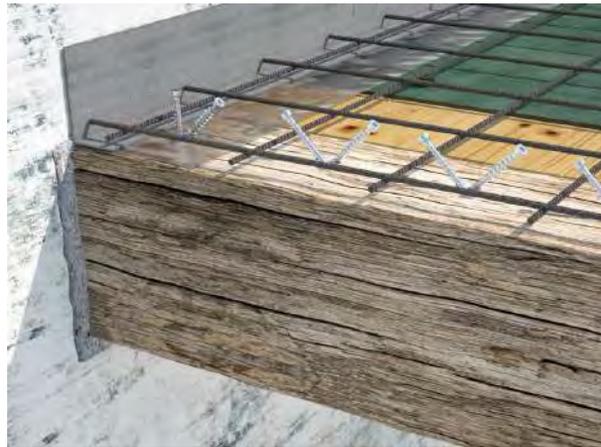
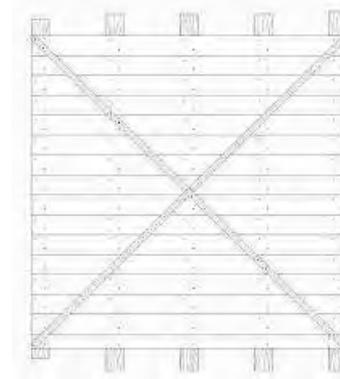
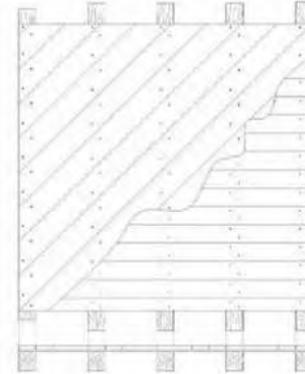
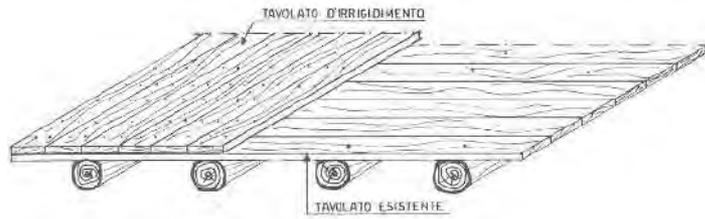


Tipo de ligação de elementos de madeira às paredes

Rigidificar diafragmas

- Distribuição das forças sísmicas com base na rigidez e não área de influência
- Aumento da redundância
- Não significa lajes de betão armado...
- Aumento de massa pode ser mínimo ou desprezável
- Modelo de cálculo atualizado com modificação de G

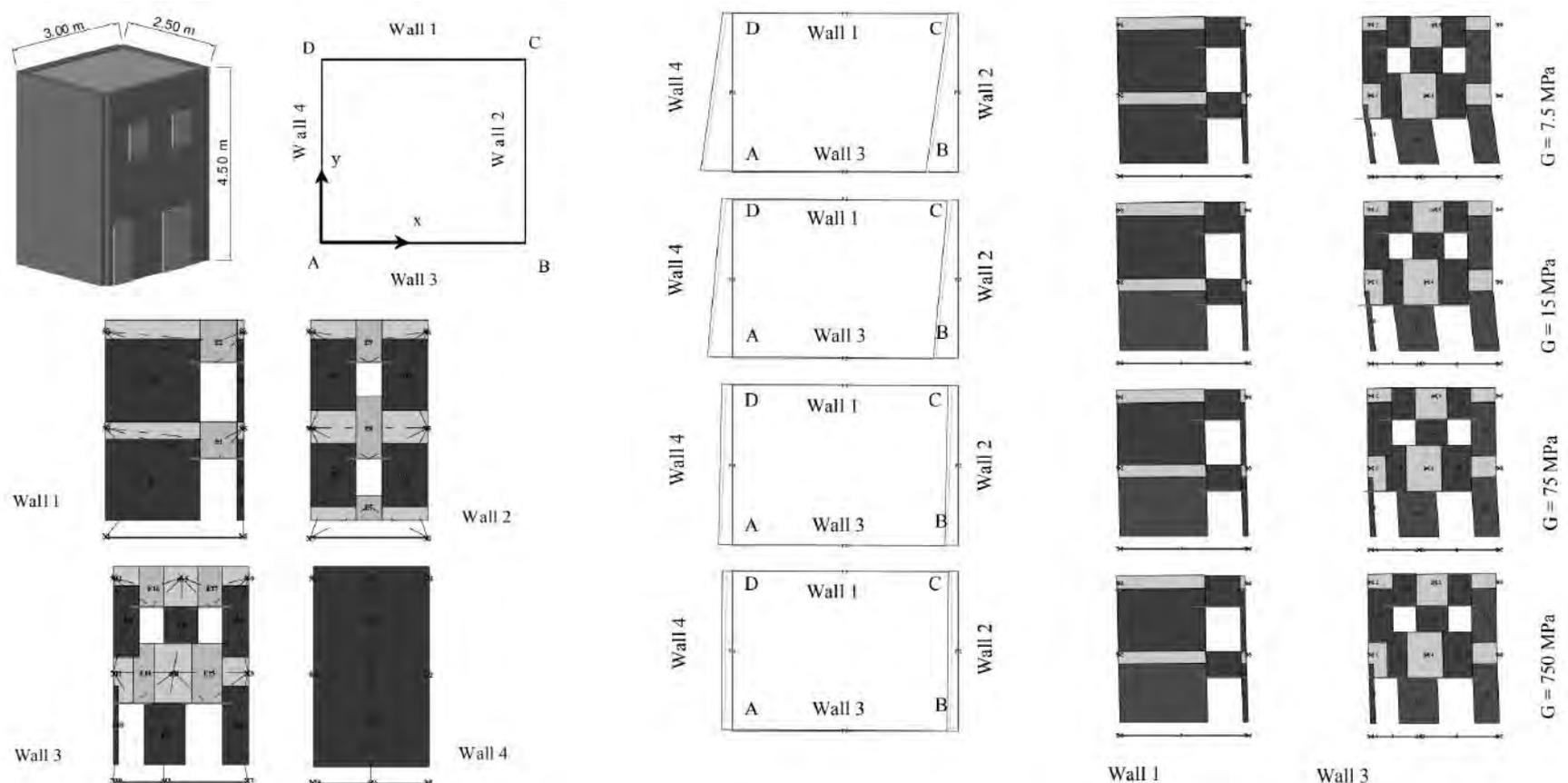
Rigidificar diafragmas





Rigidificar diafragmas (exemplos)

- Brignola *et al.* (2009) Evaluation and control of the in-plane stiffness of timber floors for the performance-based retrofit of URM buildings, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 42(3)



Rigidificar diafragmas (exemplos)

- Brignola *et al.* (2009) Evaluation and control of the in-plane stiffness of timber floors for the performance-based retrofit of URM buildings, *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 42(3)

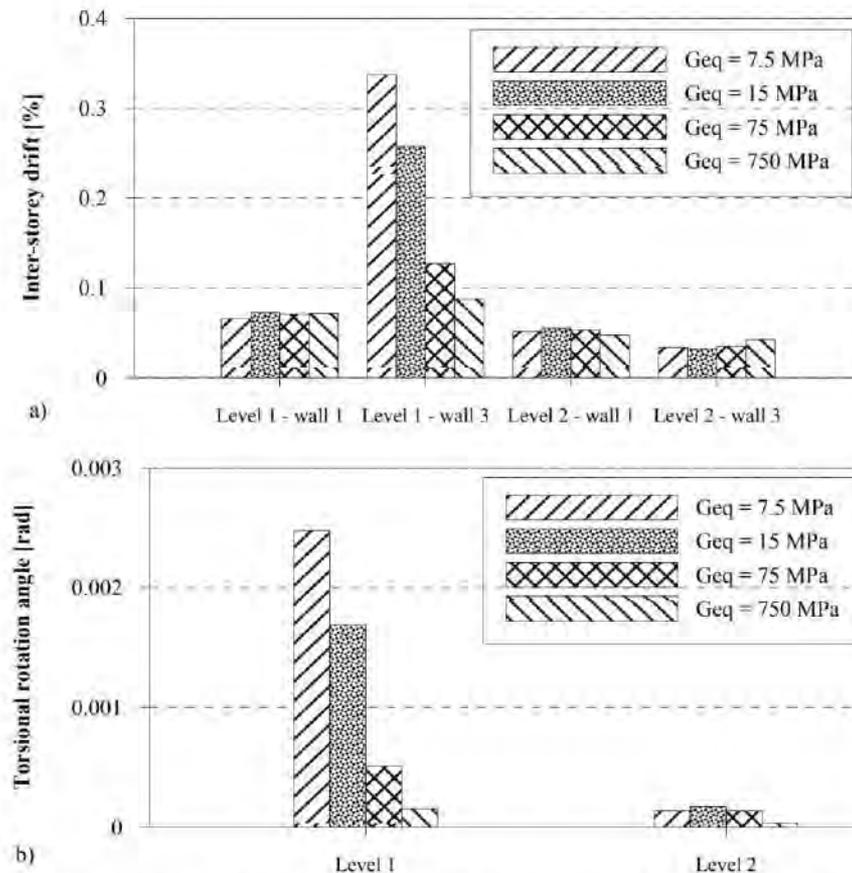
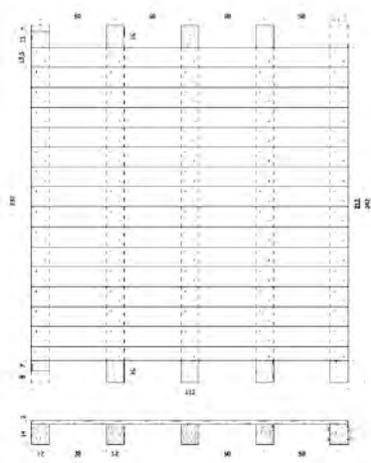


Figure 11: Building response under 500 yrs level earthquake; a) inter-storey drift for each level and each wall; b) torsional rotation for each level.

Rigidificar diafragmas (exemplos)

- Valluzzi *et al.* (2010) *In-plane strengthening of timber floors for the seismic improvement of masonry buildings*, World Conference on Timber Engineering, Trento, Itália
- Ensaios experimentais no plano dos pavimentos
- Pavimento 2,2x2,2m² com peças 12x14cm², soalho tábuas 20x135mm², ligação 2 pregos, abeto

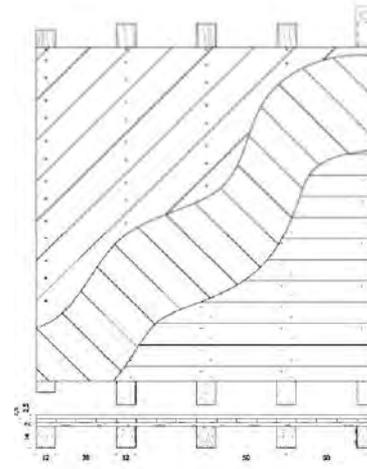
Rigidificar diafragmas (exemplos)



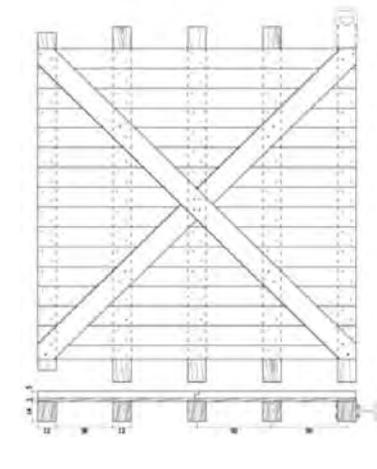
Não reforçado
(FM)



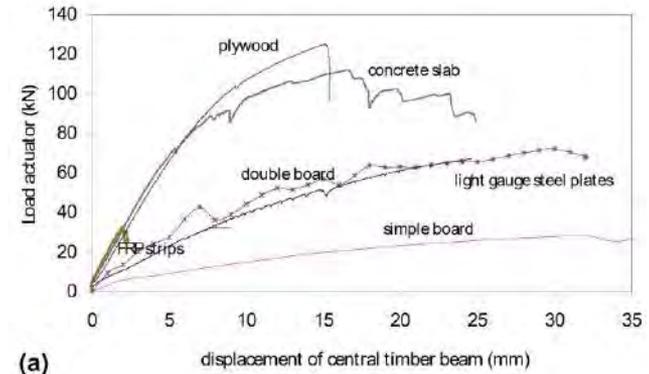
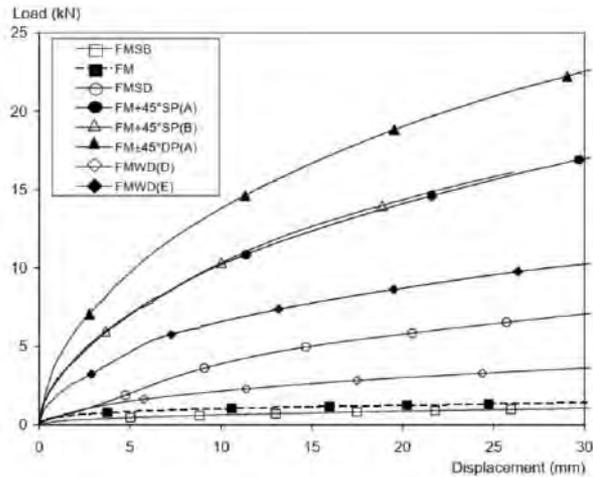
Soalho adicional a 45°
(FM+45°SP)



Duplo soalho adicional a 45°
(FM+45°DP)



Tábuas pregadas 150x50mm²
(FMWD)



(a)

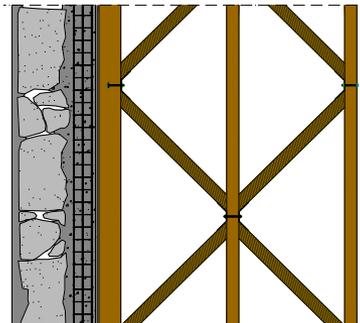
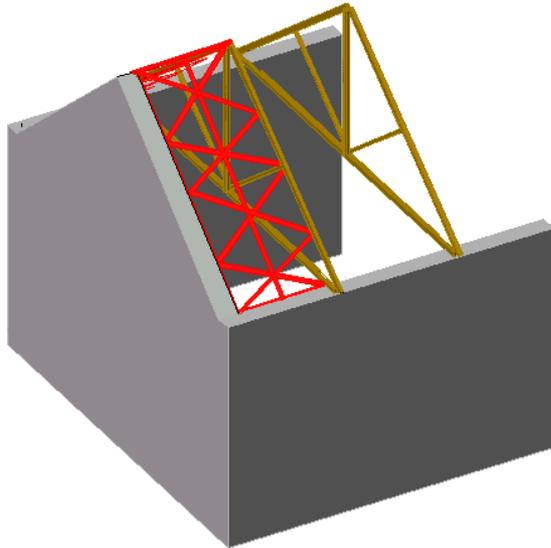
Resultados obtidos por Piazza *et al.* (2008) em ensaios semelhantes com outras técnicas

Rigidificar diafragmas (exemplos)



Rigidificar diafragmas

- Ligação entre cobertura e empena, para travamento de movimentos fora-do-plano









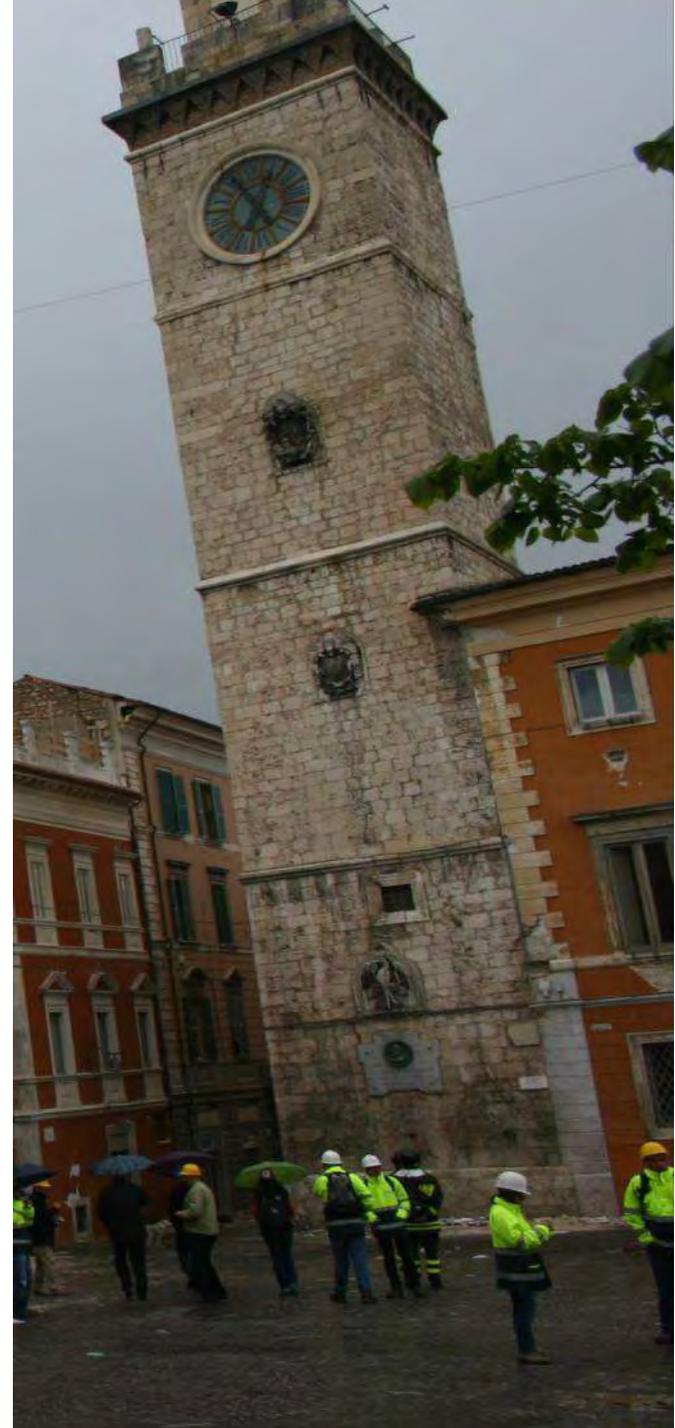
Lorca, Espanha, 2011







L'Aquila, Itália, 2009



Incompatibilidade rigidez

Existente vs. nova





LISBOA RESILIENTE AOS SISMOS

CICLO DE FORMAÇÃO

Lições Professor João Appleton

Muito obrigado!

Projeto de reforço sísmico de estruturas de alvenaria

Alexandre A. Costa

alexandre.costa@ncrep.pt



Go to
www.menti.com



Enter the code
3362 1916



Or use QR code

