



AÇÃO DE FORMAÇÃO

Da Arquitetura à Engenharia – Desafios e boas práticas
para a coordenação e integração de projetos | 2^a edição

Reforço sísmico de edifícios Pombalinos e pré-pombalinos

Alexandre A. Costa, NCREP, Lda.
Diana Neves, NCREP, Lda.

27 MAIO 2025

Índice

- 01** Introdução
- 02** Objetivos do estudo
- 03** Casos de estudo
- 04** Resultados obtidos
- 05** Conclusões





01

Introdução

UM SISMO???
NÃO ESTOU
PREPARADO!

E AGORA?...
O QUE ME VAI
ACONTECER??

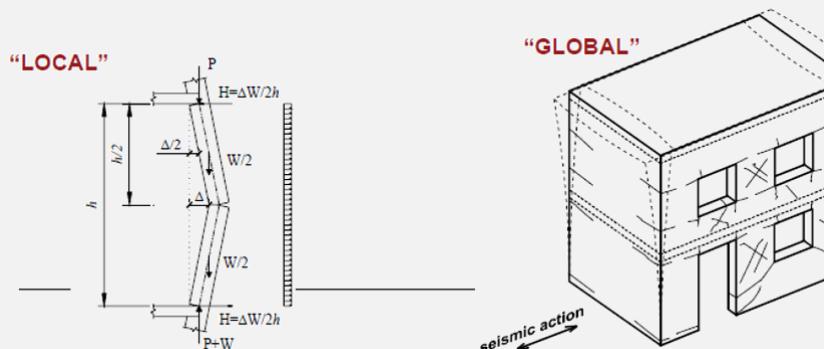


Sabia que....

A probabilidade do seu
edifício,
em **20 anos**,
ter danos por 1 sismo...
é de **1 em 5?**

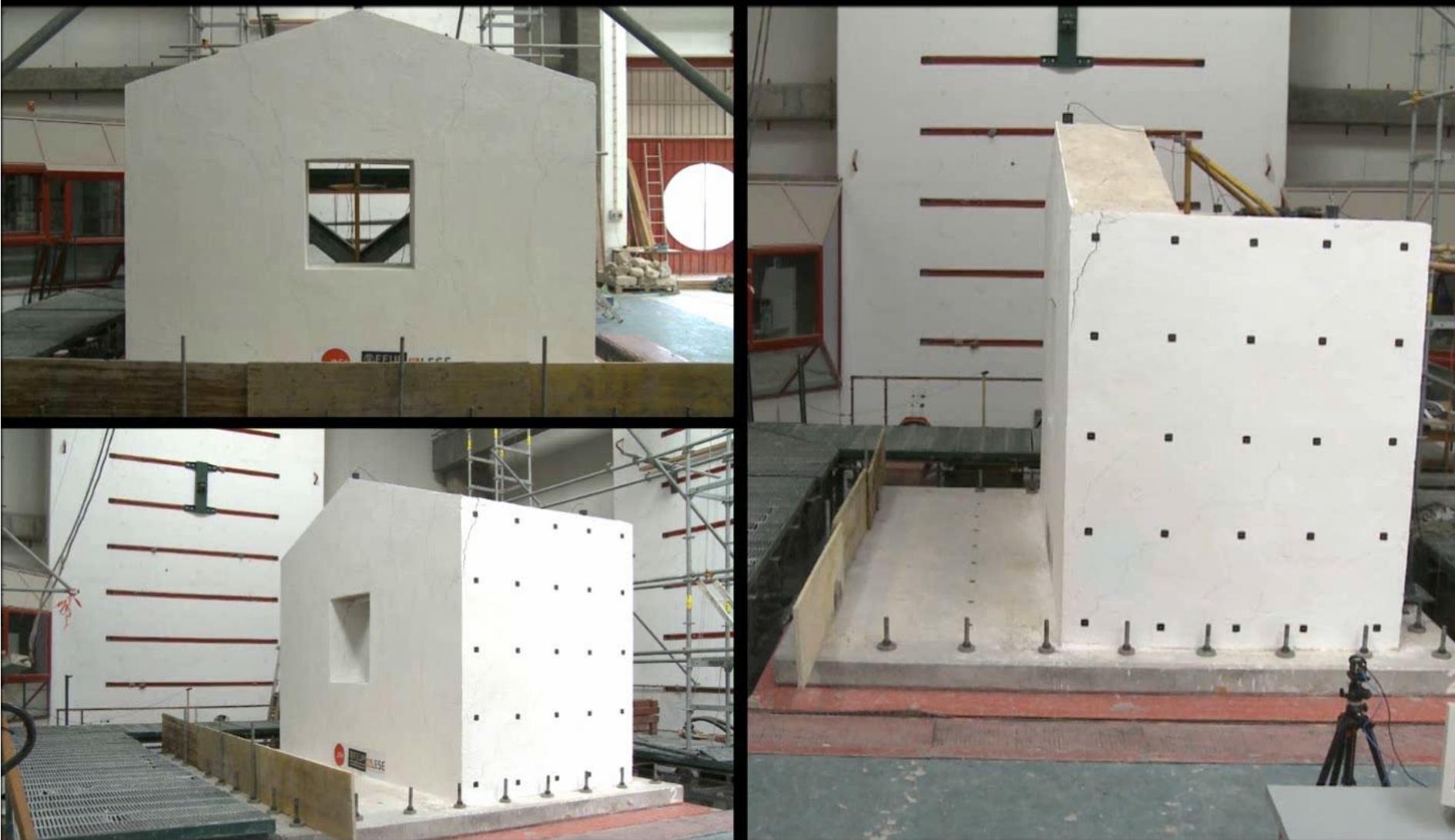
A experiência adquirida em eventos sísmicos passados mostra que:

1º modo de rotura: falhas **fora-do-plano** são propensas a ocorrer nas construções de alvenaria não reforçadas



(Magenes e Griffith, 2007)

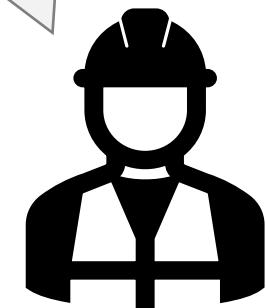




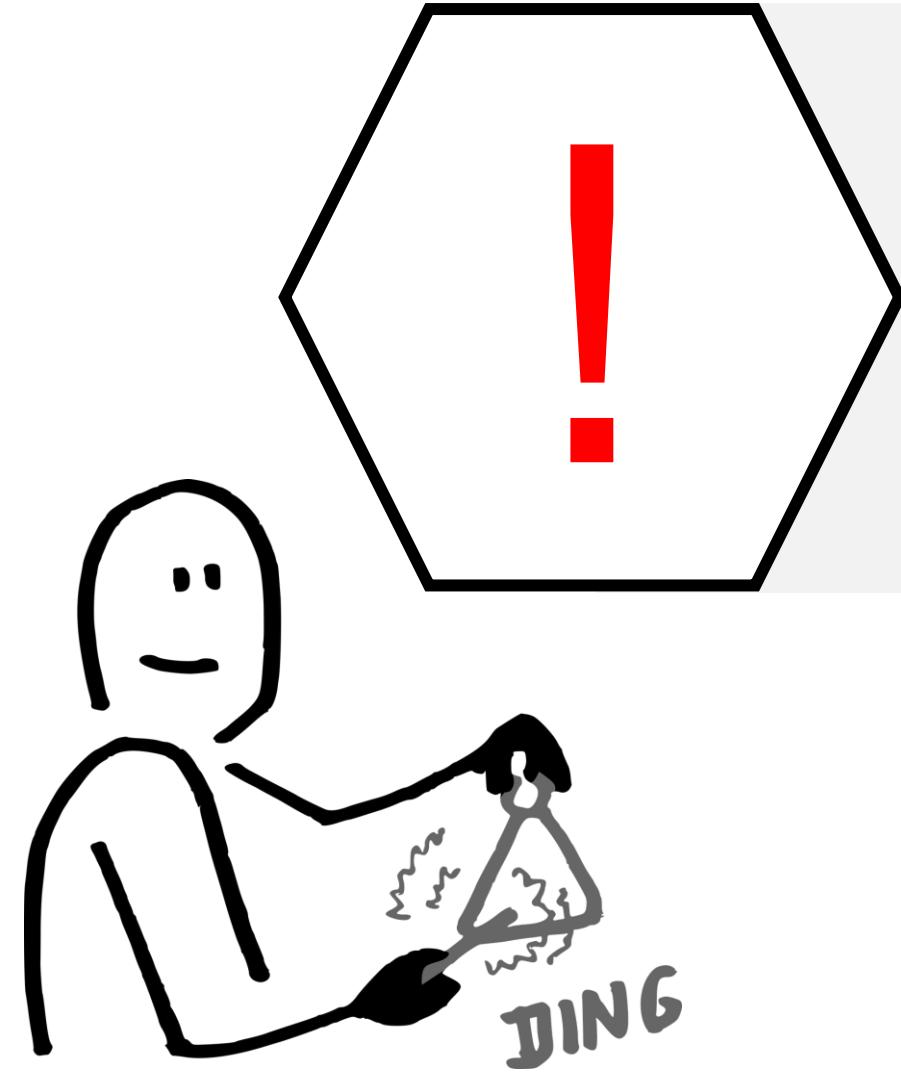


2º modo de rotura:
comportamento no **plano**
“pode ser controlado”

comportamento **global** do
edifício







Os resultados apresentados e obtidos são indicativos, não se devendo generalizar para outro qualquer edifício.

Cada edifício deverá ser analisado por um engenheiro de estruturas com experiência na área de análise e reforço sísmico de estruturas.



02

Objetivos

As perguntas a responder são várias, principalmente...



Por onde
começar?

...às grandes dúvidas dos condomínios...



Vou ter de fechar o
negócio?
Vou ter de pedir às
pessoas que saiam de
suas casas?

Não necessariamente...
Depende do tipo de
intervenção...

Mas que tipo de
intervenção será feita?



Poderá ser pontual ou global...
Podem ser executadas várias técnicas, mas claro, cada uma tem uma determinada eficácia...

Podemos atuar ao nível da cobertura, podemos atuar apenas ao nível do rés do chão, onde costumam existir mais debilidades. Ou melhor ainda, podemos criar níveis de reforço com eficiência e impacto crescentes!





E isso é igual para
todos os edifícios?
Como posso ter uma
ideia dessa eficiência?

E quanto vou ter de
pagar?

Nunca será igual, cada edifício
tem uma identidade, mas
podemos pensar por
tipologias...

Humm...
Vamos estudar...



03

Casos de estudo

Pombalinos 1756-1850



Arquétipo estrutural
(Autoria: Diana Roth e Pedro Loureiro)

Pré-Pombalinos <1756



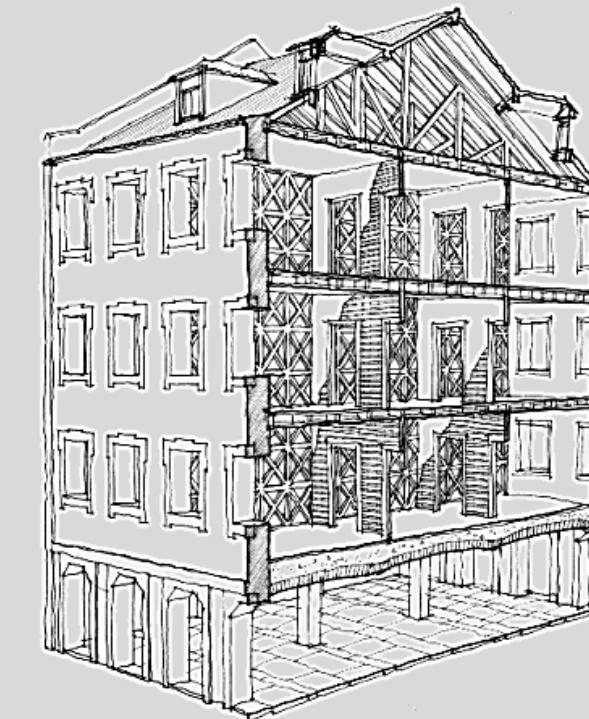
Arquétipo estrutural
(Autoria: Diana Roth e Pedro Loureiro)

Recorte da planta do projeto de reconstrução de Lisboa após o Terramoto de 1755, 12 de Junho de 1758. Litografia colorida do Museu de Lisboa



Pombalinos

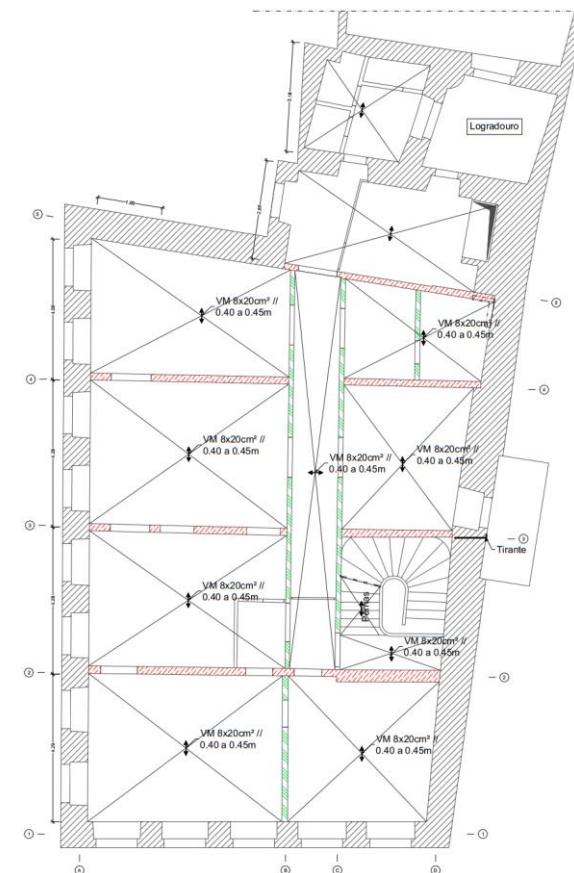
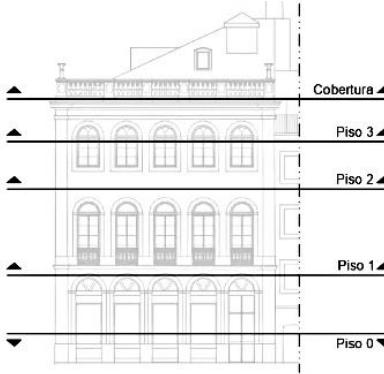
1756-1850



Arquétipo estrutural
(Autoria: Diana Roth e Pedro Loureiro)

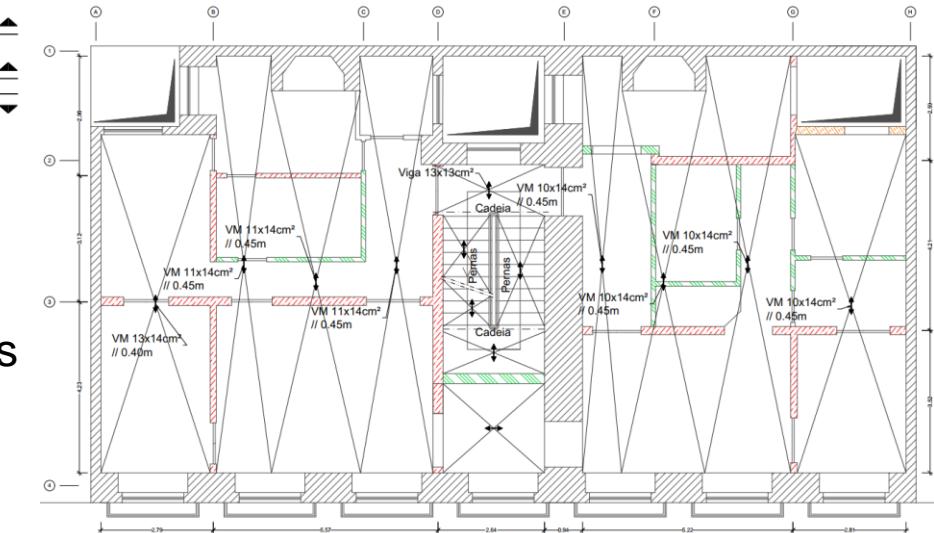
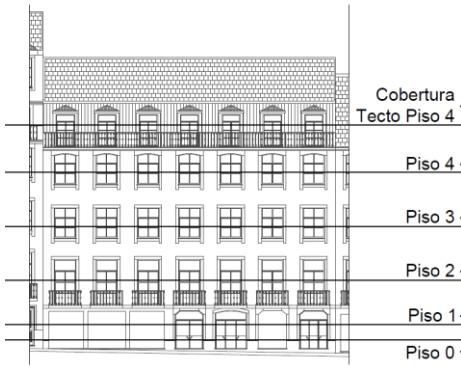
Pombalinos | Edifício 1

- Localização: Alfama
- Edifício de canto
- Área implantação: 238m²
- Área bruta: 841m²
- Cércea: R/C+3
- Estado de Conservação: Bom
- Sem reforço mecanismos locais
- Arcos no R/C



Pombalinos | Edifício 2

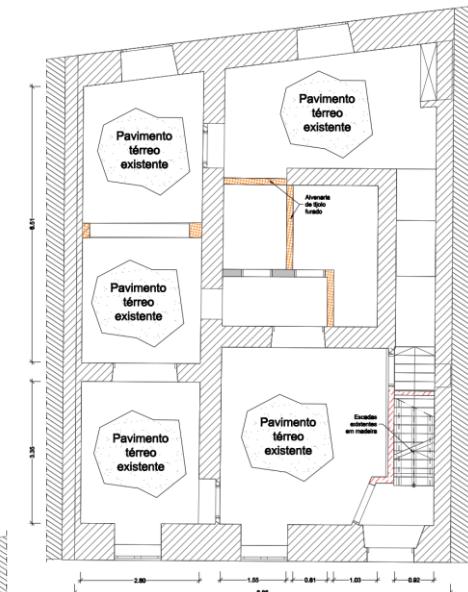
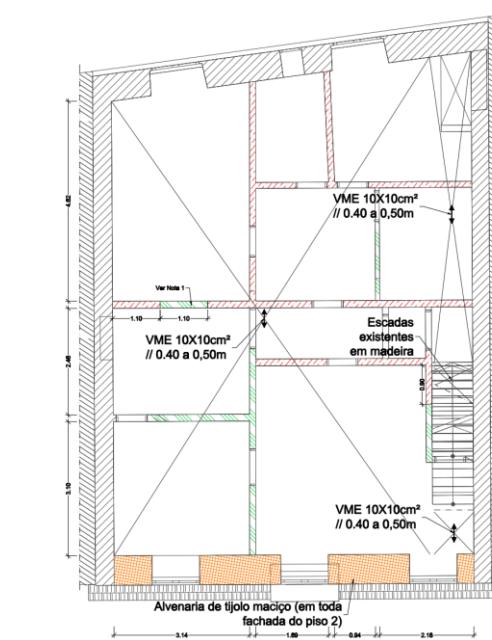
- Localização: Baixa
- Edifício em banda
- Área de implantação: 238m²
- Área bruta: 1130m²
- Cércea: R/C+4
- Estado de Conservação: Mau
- Sem reforço mecanismos locais
- Com abóbadas



Pombalinos | Edifício 3

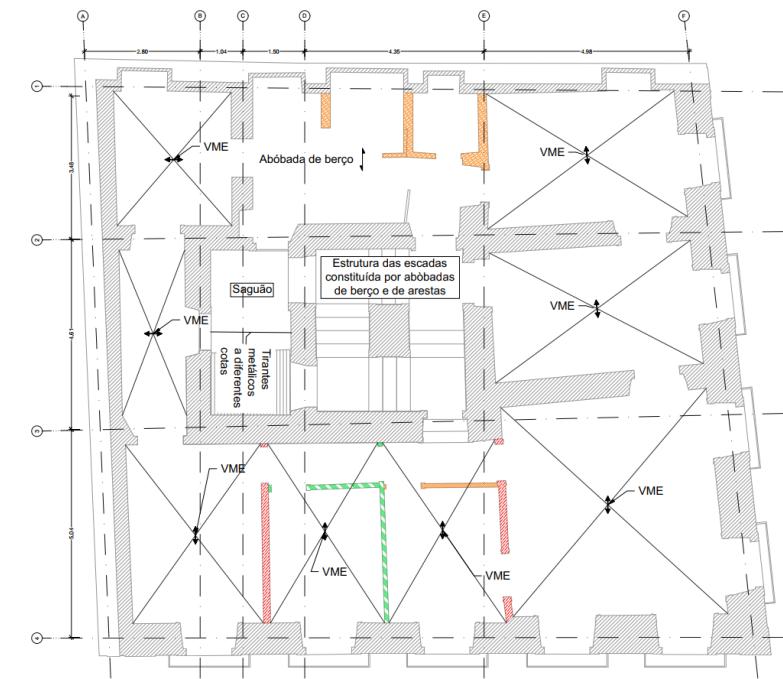


- Localização: Alfama
- Edifício em banda, em encosta
- Área de implantação: 125m²
- Área bruta: 500m²
- Cércea: R/C+2
- Estado de Conservação: Razoável
- Sem reforço mecanismos locais



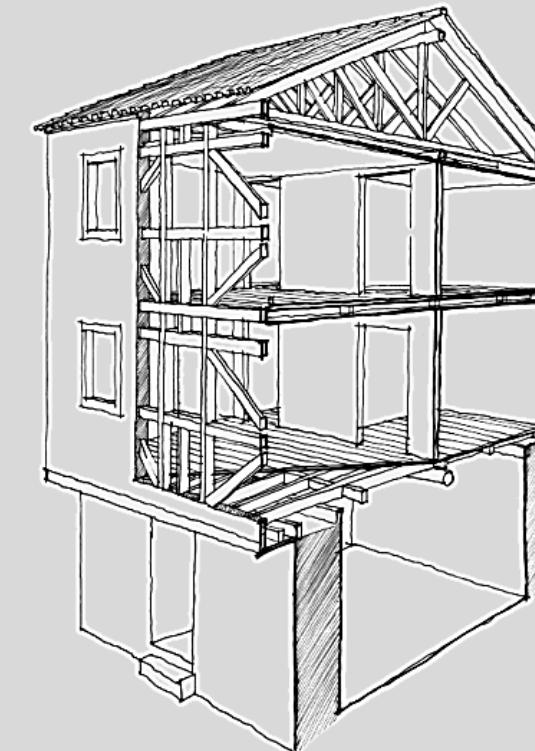
Pombalinos | Edifício 4

- Localização: Bairro Alto
- Edifício de canto
- Área de implantação: 218m²
- Área bruta: 870m²
- Cércea: R/C+2
- Estado de Conservação: Razoável
- Com reforço mecanismos locais
- Com arcos e abóbadas



Pré-Pombalinos

<1756

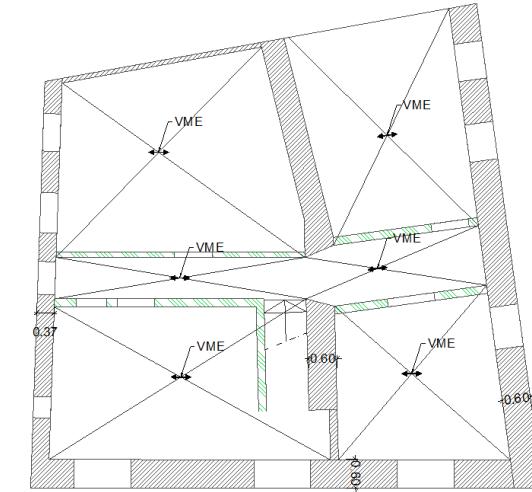
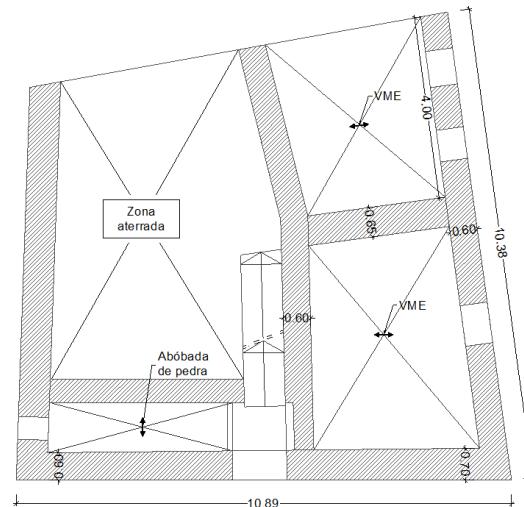


Arquétipo estrutural
(Autoria: Diana Roth e Pedro Loureiro)

Pré-pombalinos | Edifício 5

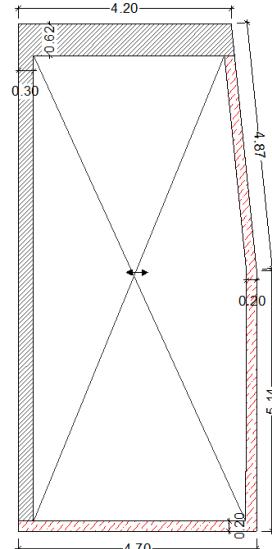
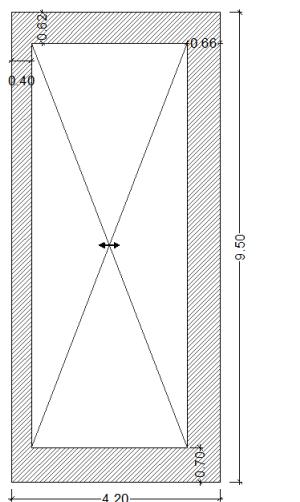
- Localização: Alfama
 - Edifício Seiscentista
 - Edifício de canto
 - Área de implantação: 94m²
 - Área bruta: 225m²

- Cércea: R/C+1
 - Estado de Conservação: Mau
 - Sem reforço mecanismos locais
 - Com abóbada



Pré-pombalinos | Edifício 6

- Localização: Alfama
- Edifício de ressalto
- Edifício de canto
- Área de implantação: 46m²
- Área bruta: 218m²
- Cércea: R/C+3
- Estado de Conservação: Razoável
- Sem reforço mecanismos locais



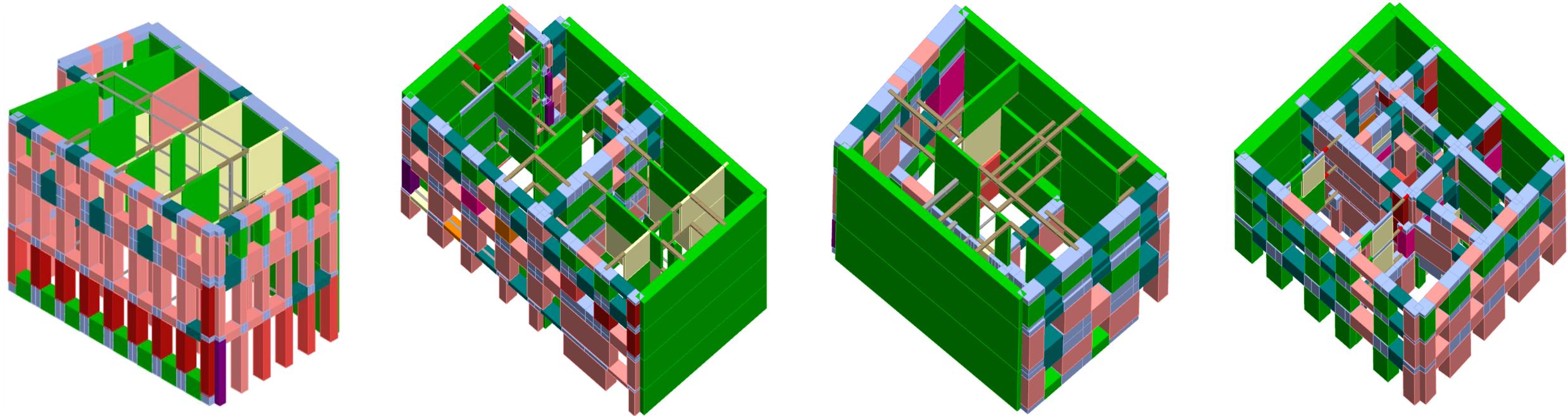


04

Resultados obtidos

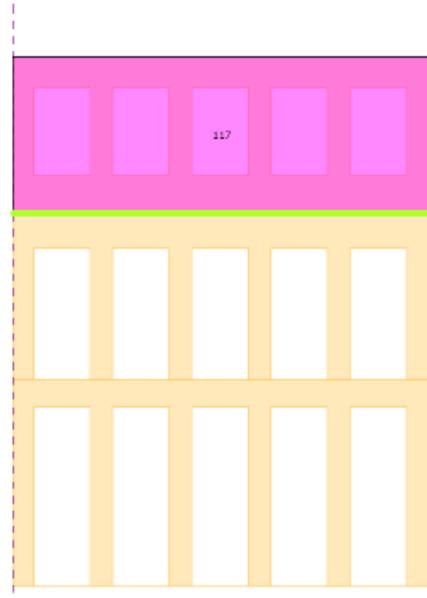
Resultados

- Dependentes das particularidades de cada edifício

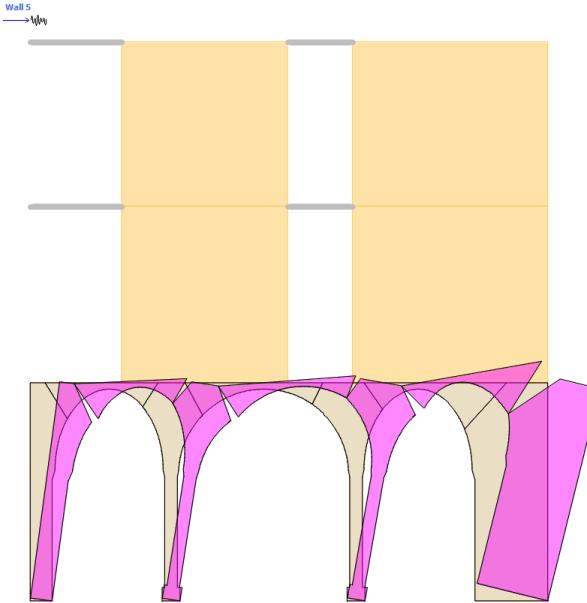


Exemplo | Edifício 1

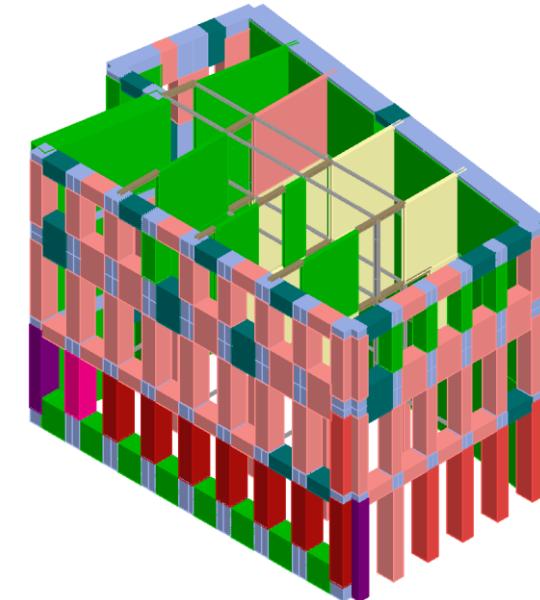
1º modo:
fora do plano



Análise global:
modo local

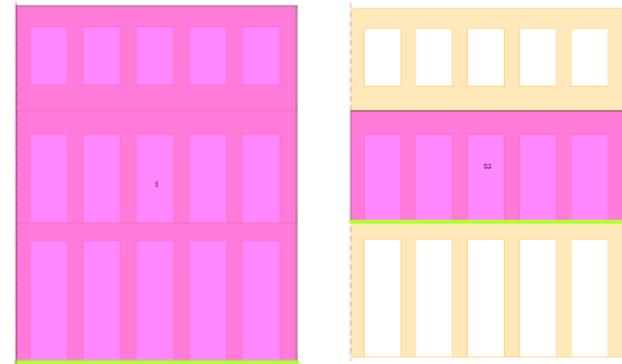


Análise global



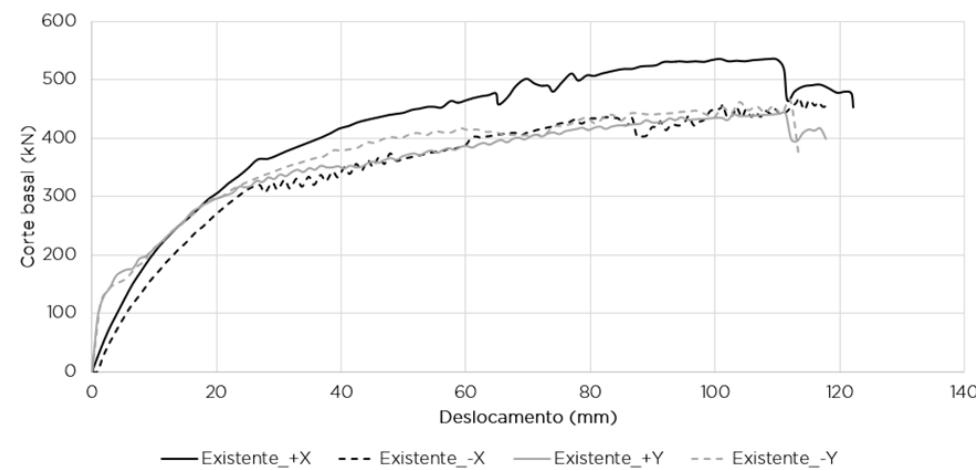
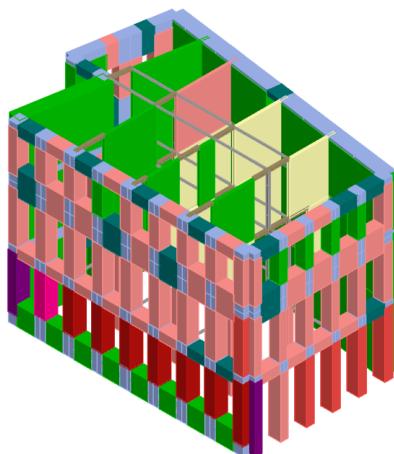
Exemplo | Edifício 1

1º Determinação do mecanismo condicionante



$$a_0^* \geq \frac{S_e(T_1) \cdot \psi(Z) \cdot \gamma}{q}$$

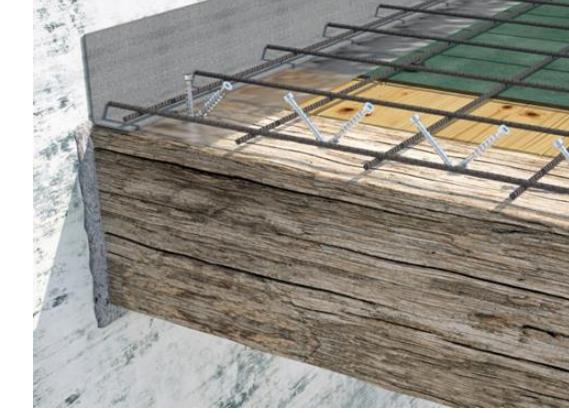
2º Avaliação do comportamento global



$$\alpha_o = \frac{a_{gR}}{PGA}$$

Exemplo | Edifício 1

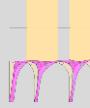
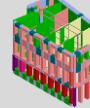
ANÁLISE INCREMENTAL DE REFORÇO

Nível 0		Nível 1	Nível 2	
Lintel coroamento na cobertura	Viga perimetral em todos os pisos	Reforço Nível 1	Reforço 1+3	Reforço 1+4
		RA interior no R/C	OSB3+ RA interior	OSB3+ RA 2 faces
				

$$Melhoria (\%) = (\alpha_{R,j} - \alpha_0) * 100$$

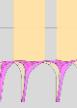
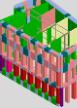
Caminho crítico | Edifício 1

Rácios a

Existente local		0,80					
Existente plano					1,41		
Existente global			1,11				
Nível 0.a							3,02
Nível 0.b							22,67
Nível 1				1,23			
Nível 2.a			1,16				
Nível 2.b						2,40	

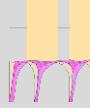
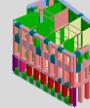
Caminho crítico | Edifício 1

Ráculos a

Existente local		0,80					
Existente plano				1,41			
Existente global			1,11				
Nível 0.a						3,02	
Nível 0.b							22,67
Nível 1				1,23			
Nível 2.a			1,16				
Nível 2.b					2,40		

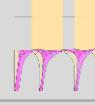
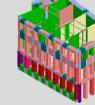
Caminho crítico | Edifício 1

Ráculos a

Existente local		0,80					
Existente plano				1,41			
Existente global		1,11					
Nível 0.a						3,02	
Nível 0.b							22,67
Nível 1				1,23			
Nível 2.a			1,16				
Nível 2.b						2,40	

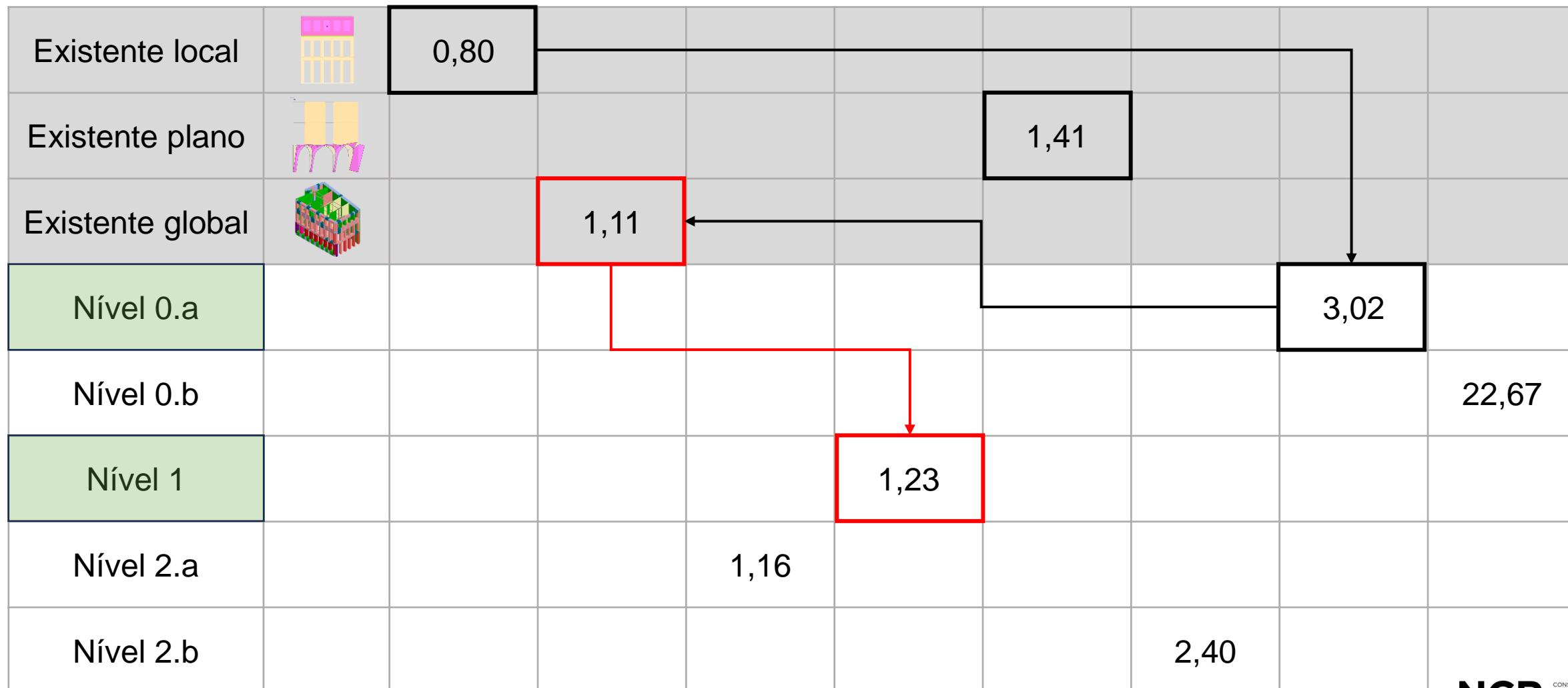
Caminho crítico | Edifício 1

Ráculos a

Existente local		0,80					
Existente plano				1,41			
Existente global		1,11					
Nível 0.a						3,02	
Nível 0.b							22,67
Nível 1				1,23			
Nível 2.a			1,16				
Nível 2.b						2,40	

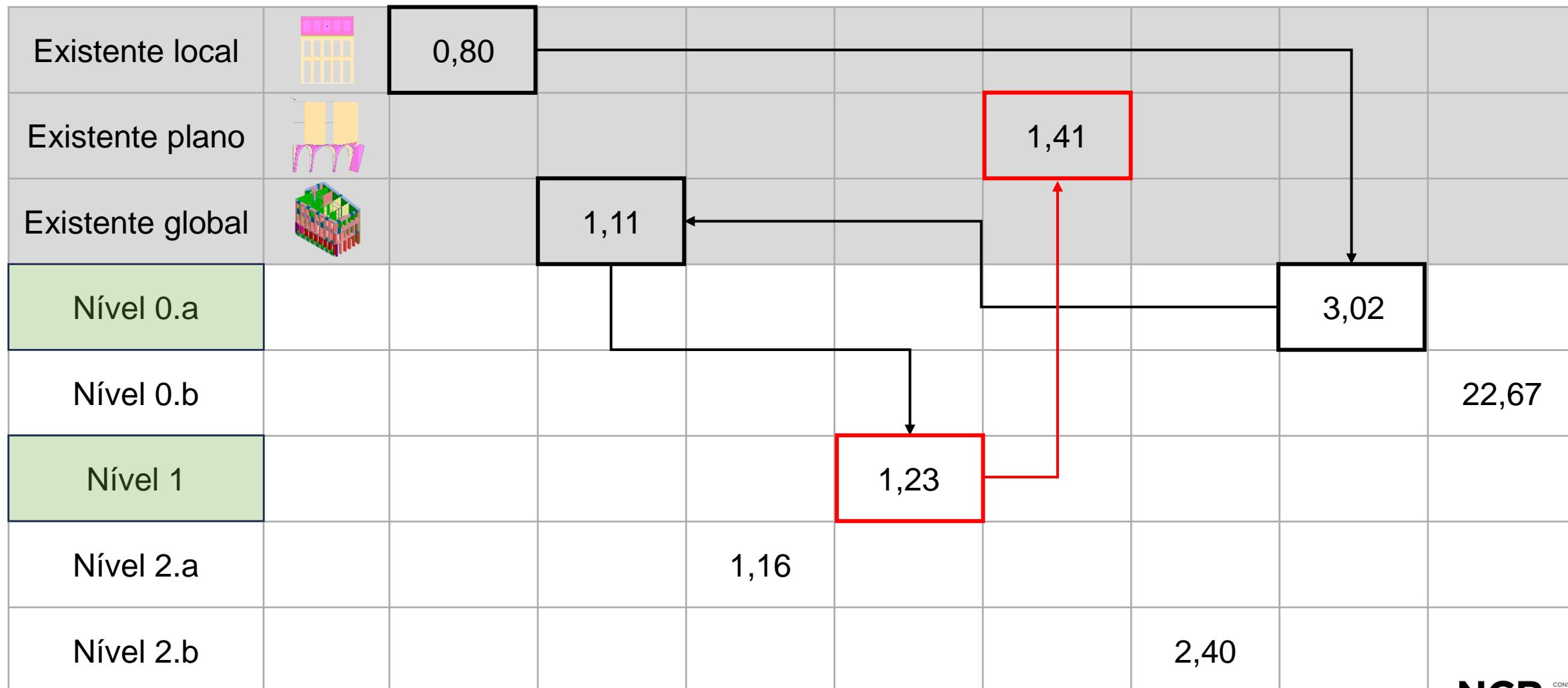
Caminho crítico | Edifício 1

Ráculos a



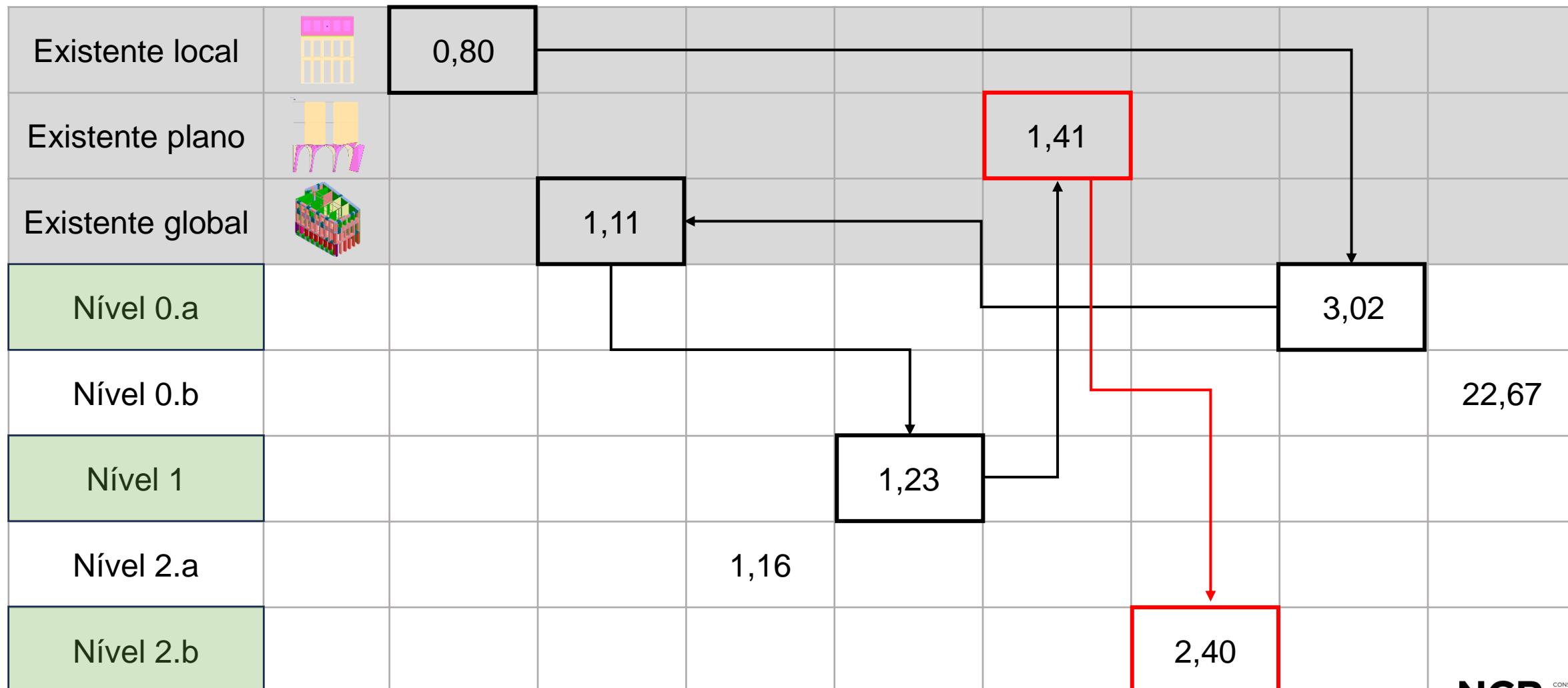
Caminho crítico | Edifício 1

Rácios a

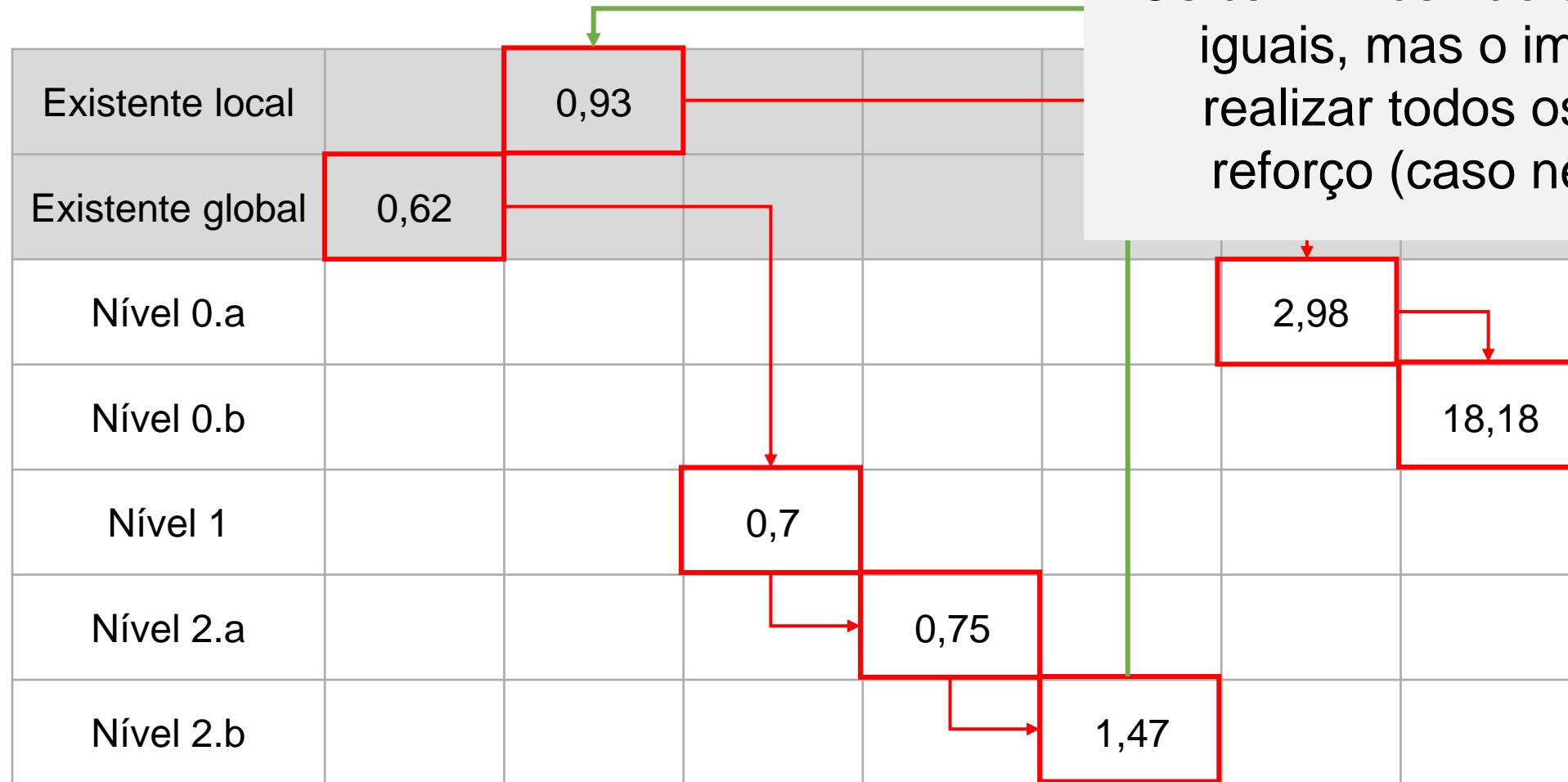


Caminho crítico | Edifício 1

Ráculos a



Caminho crítico | Edifício 4



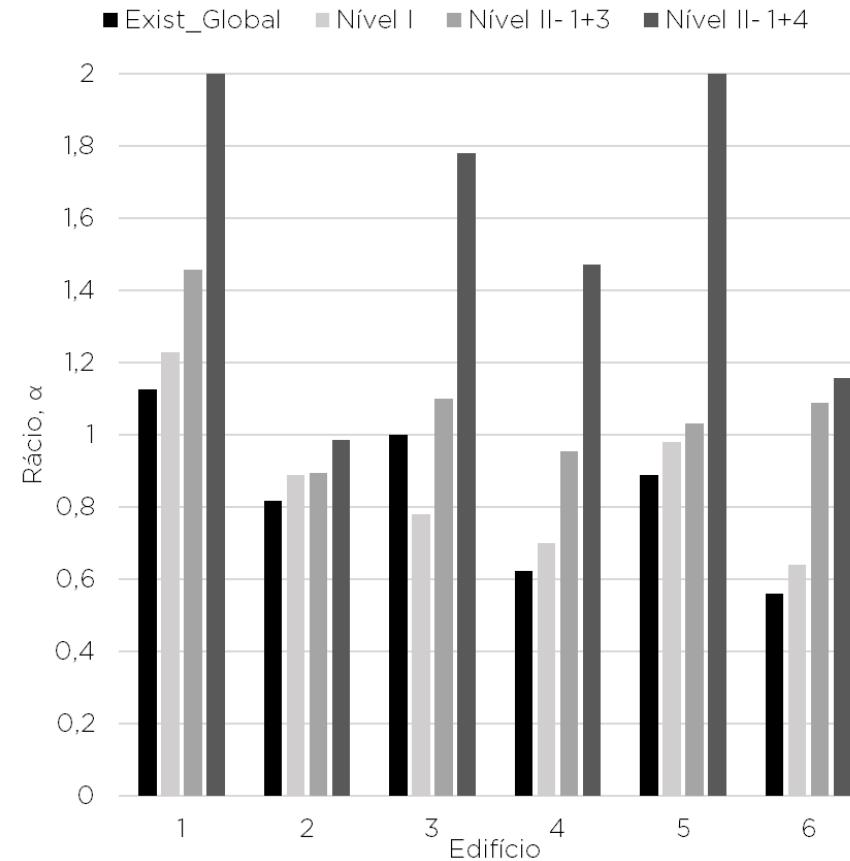
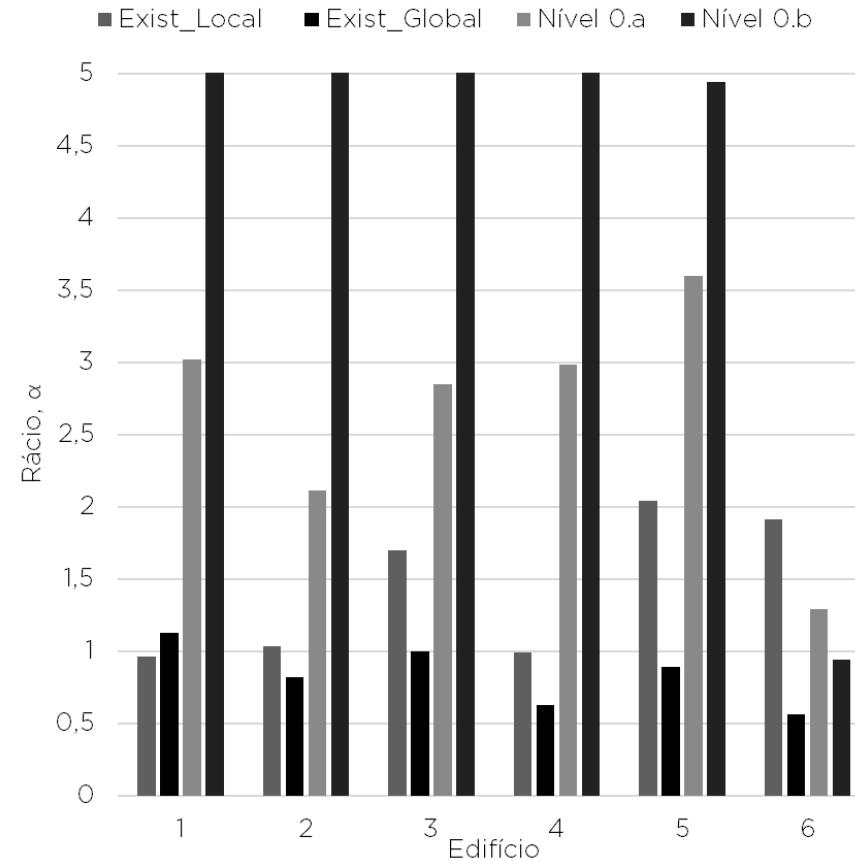
Os caminhos não serão sempre iguais, mas o importante é realizar todos os níveis de reforço (caso necessário)



05

Conclusões

É eficiente?



Custos (só estrutura)

Edifício			Capacidade Resistente α [%]					Melhoria em relação ao existente ($\alpha_{existente} - \alpha_{reforço}$)						Custo de intervenção						Percentagem de investimento em relação ao nível de intervenção 2						
Tipo	Ordem	Localização	Atual	Nível 0		Nível 1	Nível 2		Atual	Nível 0		Nível 1	Nível 2		Atual	Nível 0		Nível 1	Nível 2		Atual	Nível 0		Nível 1	Nível 2	
				.a	.b		.a	.b		.a	.b		.a	.b		.a	.b		.a	.b		.a	.b		.a	.b
				[%]			[%]			[%]			[%]			[€/m ²]			[%]			[%]				
Pombalino	1	Alfama	96%	302%	2267%	123%	146%	239%	-	206%	2171%	27%	50%	143%	-	4	18	36	132	311	-	1%	6%	11%	43%	100%
	2	Baixa	81%	211%	991%	89%	90%	99%	-	130%	910%	8%	9%	18%	-	3	16	27	121	277	-	1%	6%	10%	44%	100%
	3	Alfama	170%	285%	1076%	-	-	-	-	115%	906%	-	-	-	-	5	14	29	99	207	-	2%	7%	14%	48%	100%
	4	Bairro Alto	62%	298%	1818%	70%	95%	147%	-	236%	1756%	8%	33%	85%	-	4	11	32	103	342	-	1%	3%	9%	30%	100%
Valores médios			102%	274%	1538%	94%	110%	162%	-	172%	1436%	14%	31%	82%	-	4	15	31	114	284	-	1%	5%	11%	40%	100%
Pré-Pombalino	5	Alfama	89%	360%	494%	98%	103%	372%	-	190%	325%	7%	72%	264%	-	11	22	62	139	443	-	3%	5%	14%	31%	100%
	6	Alfama	56%	129%	94%	64%	109%	116%	-	87%	53%	5%	67%	94%	-	14	53	73	204	481	-	3%	11%	15%	43%	100%
Valores médios			72%	245%	294%	81%	106%	244%	-	139%	189%	6%	70%	179%	-	13	37	68	172	462	-	3%	8%	15%	37%	100%

Pombalinos: nível 1 = 31€/m²
Para 1000m² = 31.000€

Pombalinos: nível 2 = 285€/m²
Para 1000m² = 285.000€

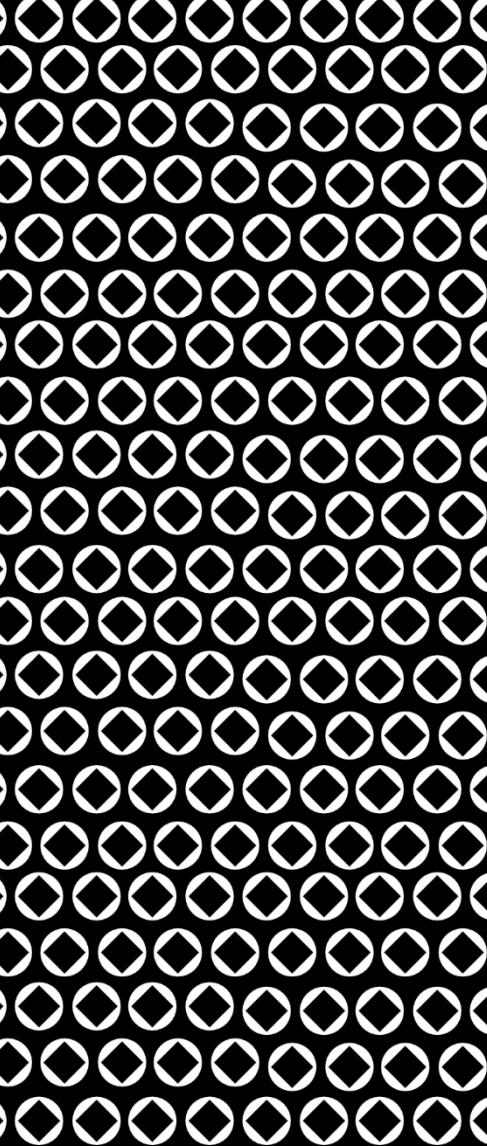
Pré-pombalinos: nível 1 = 68€/m²
Para 200m² = 13.600€



CONSULTORIA
EM REABILITAÇÃO
DO EDIFICADO
E PATRIMÓNIO

U.PORTO Spin-off

**Da Arquitetura à Engenharia – Desafios e boas práticas para a
coordenação e integração de projetos | 2^a edição**



27 maio 2025