



Estudo do comportamento estrutural de um edifício de pequena altura em concreto pré-moldado, considerando a continuidade de ligações viga-pilar

Study of structural behavior of a low height precast concrete building, considering the continuity of beam-column connections

José Francisco Anunciação Pinto (1); Ladir Antônio da Silva Junior (2); Ciro Maestre Dutra (3); José Luiz Rangel Paes (4).

- (1) Estudante de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil – UFV, e-mail: jose.anunciacao@ufv.br;
- (2) Estudante de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil – UFV, e-mail: ladir.junior@ufv.br;
- (3) Estudante de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil – UFV, e-mail: ciro.dutra@ufv.br;
- (4) Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil – UFV, e-mail: jlrange@ufv.br.



➤ Filosofia de concepção de um projeto de concreto pré-moldado:

- grandes vãos;
- estabilidade;
- detalhes simples;

➤ Papel das ligações no sistema estrutural

➤ Objetivo

Avaliação da utilização de ligações semi-rígidas em edifícios em concreto pré-moldado de pequena altura.

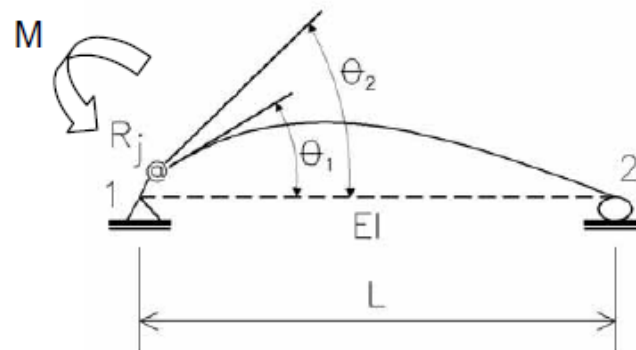
➤ Ligações viga-pilar

ANBT NBR 9062:2006 – Fator de restrição a rotação α_r

$$\alpha_r = \frac{1}{\frac{1 + 3(EI_{sec})}{R_{sec} L_{ef}}} = \frac{\theta_1}{\theta_2}$$

onde:

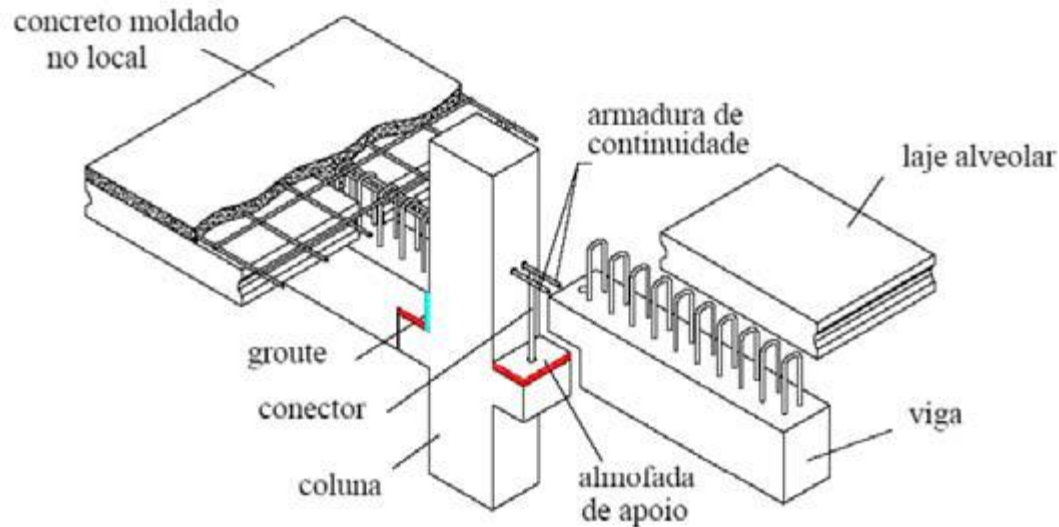
- R_{sec} é a rigidez secante da ligação;
- L_{ef} é o vão efetivo da viga entre os centros dos apoios;
- EI_{sec} é a rigidez secante da viga conforme a ABNT NBR 6118:2003.



➤ Classificação das ligações

- articuladas $\alpha_r < 0,15$;
- semi-rígidas $0,15 \leq \alpha_r \leq 0,85$;
- engastadas $\alpha_r > 0,85$.

➤ Ligações semi-rígidas por concretagem vertical



(Fonte: CHASTRE, 2012)



(Fonte: ALVA, 2010)



(Fonte: PAES, 2013)

➤ Modelo analítico para determinação da rigidez da ligação semi-rígida

Ferreira et al.(2003)

$$R_{sec} = \left[\left(\frac{L_e}{0,9A_s E_s d^2} \right) + \left(\frac{L_p}{E_{sec} I_{II}} \right) \right]^{-1} = \frac{M_{cr}}{\theta_c}$$

A_s é a seção de armadura da ligação;

E_s é o modulo de elasticidade do aço;

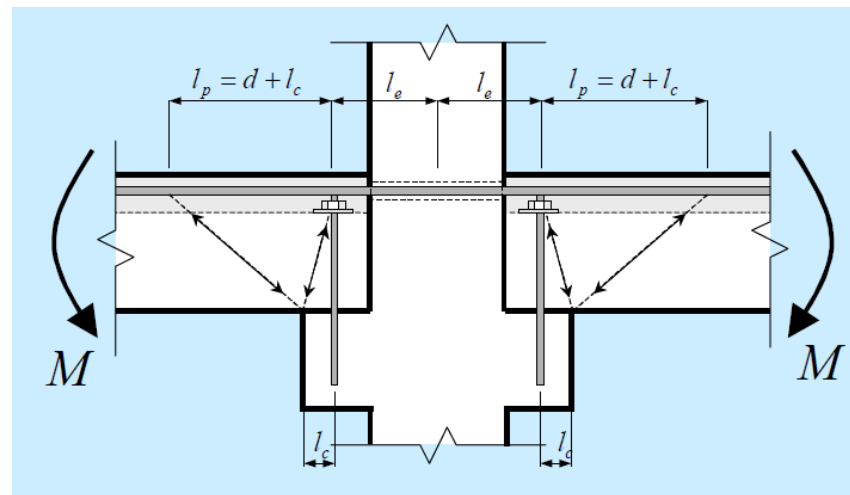
d é a altura efetiva da viga ($d = h - d'$);

E_{sec} é o modulo de elasticidade secante do concreto, calculado de acordo com a ABNT NBR 6118:2003;

I_{II} é o momento de inércia da seção fissurada de concreto no Estádio II, calculado com;

M_{cr} é o momento resistente da ligação no limite de escoamento da armadura tracionada;

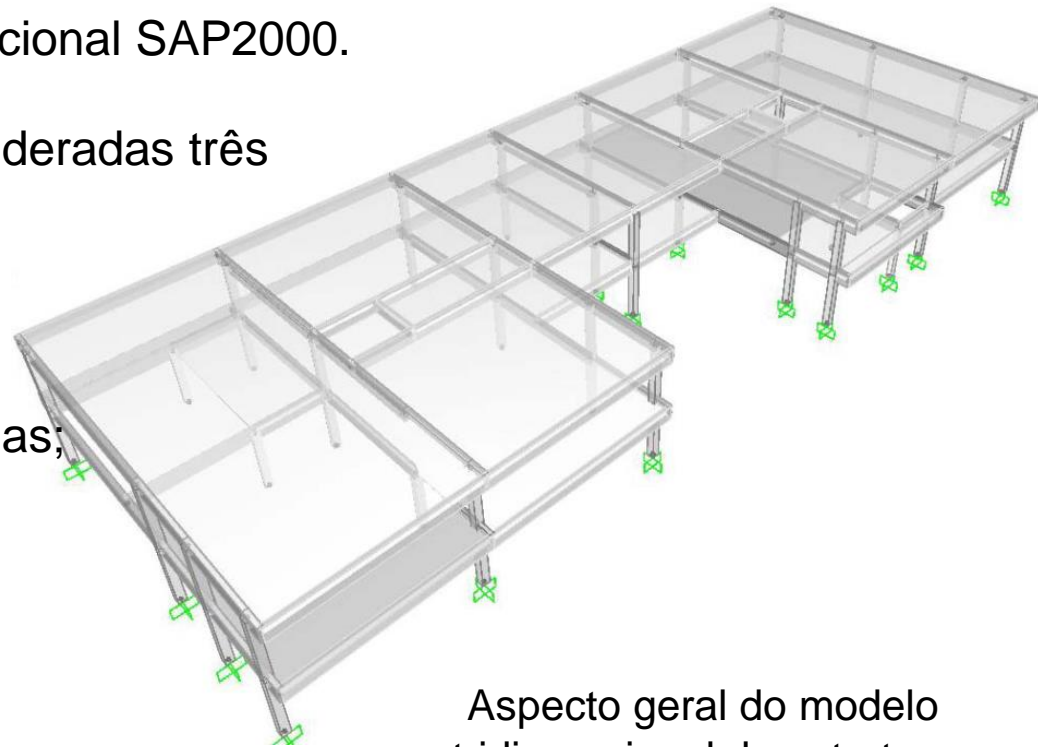
θ_c é a rotação da ligação.



(fonte: Ferreira et al., 2003)

➤ Bases do modelo numérico e da análise estrutural

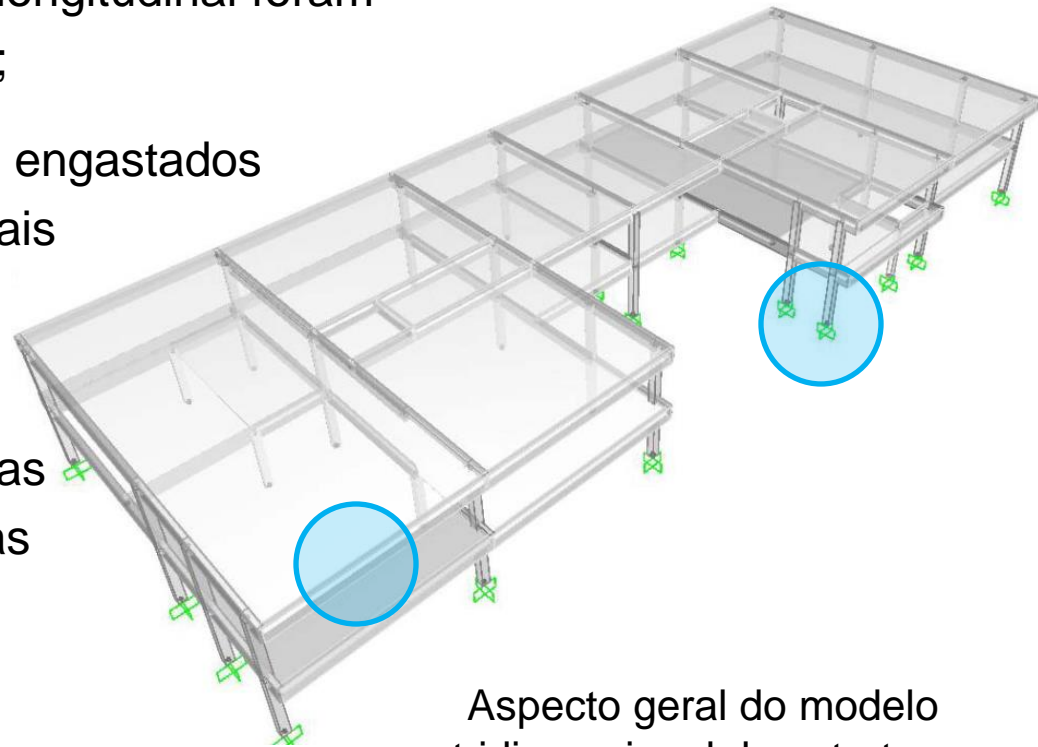
- realização de um análise de segunda ordem simplificada com o auxílio do programa computacional SAP2000.
- para a ligação viga-pilar foram consideradas três hipóteses:
 - ✓ modelo articulado;
 - ✓ modelo com ligações semi-rígidas;
 - ✓ modelo engastado.



Aspecto geral do modelo tridimensional da estrutura

➤ Bases do modelo numérico e da análise estrutural

- As vigas de extremidade na direção longitudinal foram consideradas articuladas nos pilares;
- Todos os pilares foram considerados engastados nas bases nas duas direções principais do modelo;
- Aplicação de uma carga nocional horizontal de 0,005 do total das cargas verticais como forma de considerar as imperfeições globais



Aspecto geral do modelo tridimensional da estrutura

➤ Bases do modelo numérico e da análise estrutural

- Lajes alveolares de concreto
 - ✓ efeito diafragma;
 - ✓ elementos *shell* quadrilátero de quatro nós – baseados na Teoria de Kirchhoff;
 - ✓ f_{ck} de 40 MPa;
 - ✓ espessura efetiva das lajes de 15 cm para 1º pavimento e 11 cm 2º pavimento.
- Vigas e pilares pré-moldadas de concreto
 - ✓ elementos de barra.
 - ✓ pilares:
 - caixa de escada seção de 40x30 cm;
 - restante seção de 40x40 cm.
 - ✓ vigas:
 - pórtico principal (vigas transversais) 40x80 cm;
 - bordas e vigas longitudinais 25x80 cm.

➤ Comportamento das ligações

- consideração de ligação semi-rígida por concretagem vertical sobre os pilares intermediários da estrutura, com alocação de armaduras negativas somente dentro dos pilares;
- por questões construtivas, os pilares de canto e de extremidade possuem ligações articuladas;
- cálculo iterativo das armaduras negativas a partir do momento de engastamento máximo.

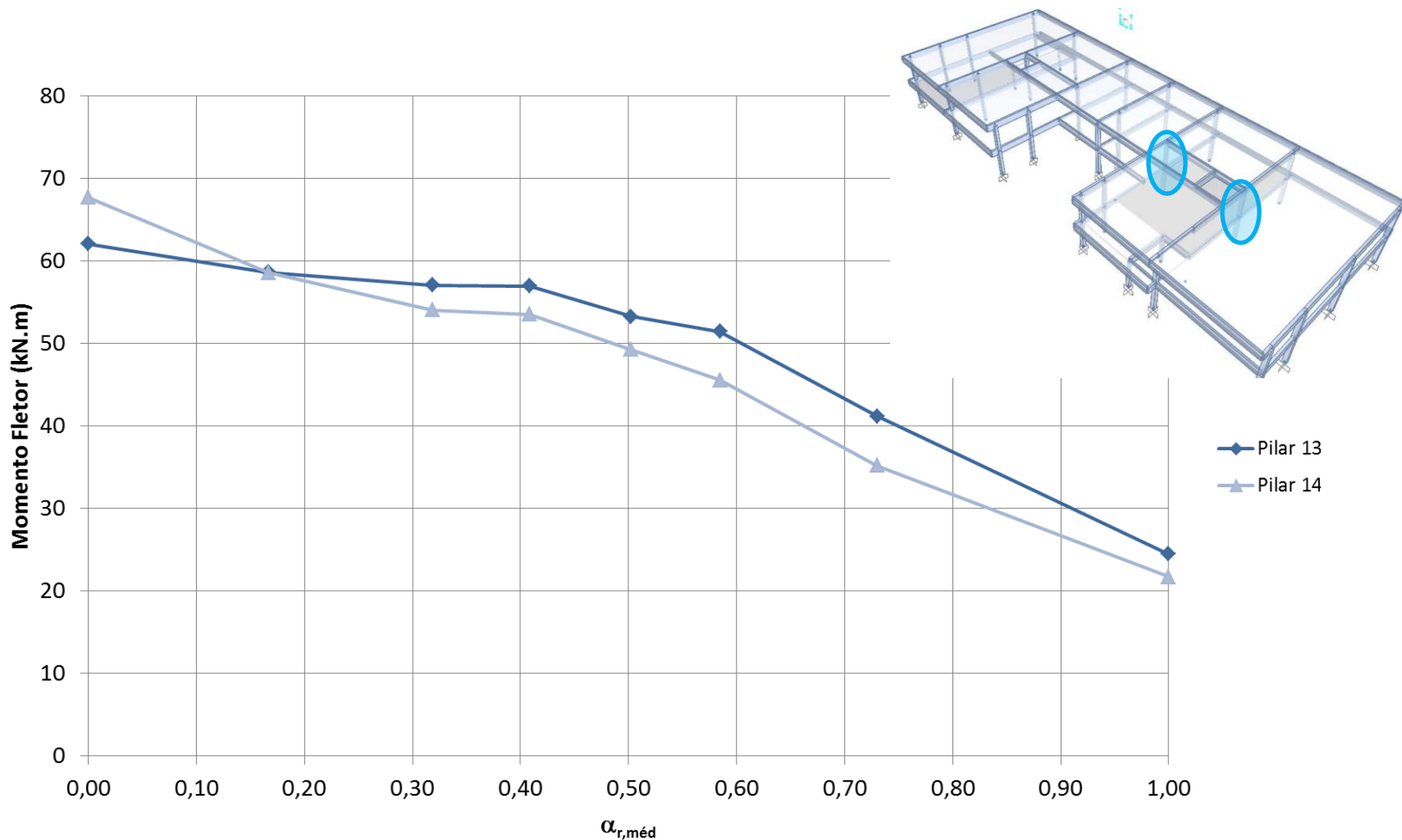
Modelo	$\alpha_{r,médio}$
Modelo Articulado	0,00
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 10 mm	0,17
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 16 mm	0,32
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 20 mm	0,41
Modelo com ligações semi-rígidas - 2 Φ 25 mm	0,50
Modelo com ligações semi-rígidas - 3 Φ 25 mm	0,58
Modelo com ligações semi-rígidas - Máx. - 7 Φ 25 mm	0,73
Modelo engastado	1,00

➤ Ações e combinações de ações

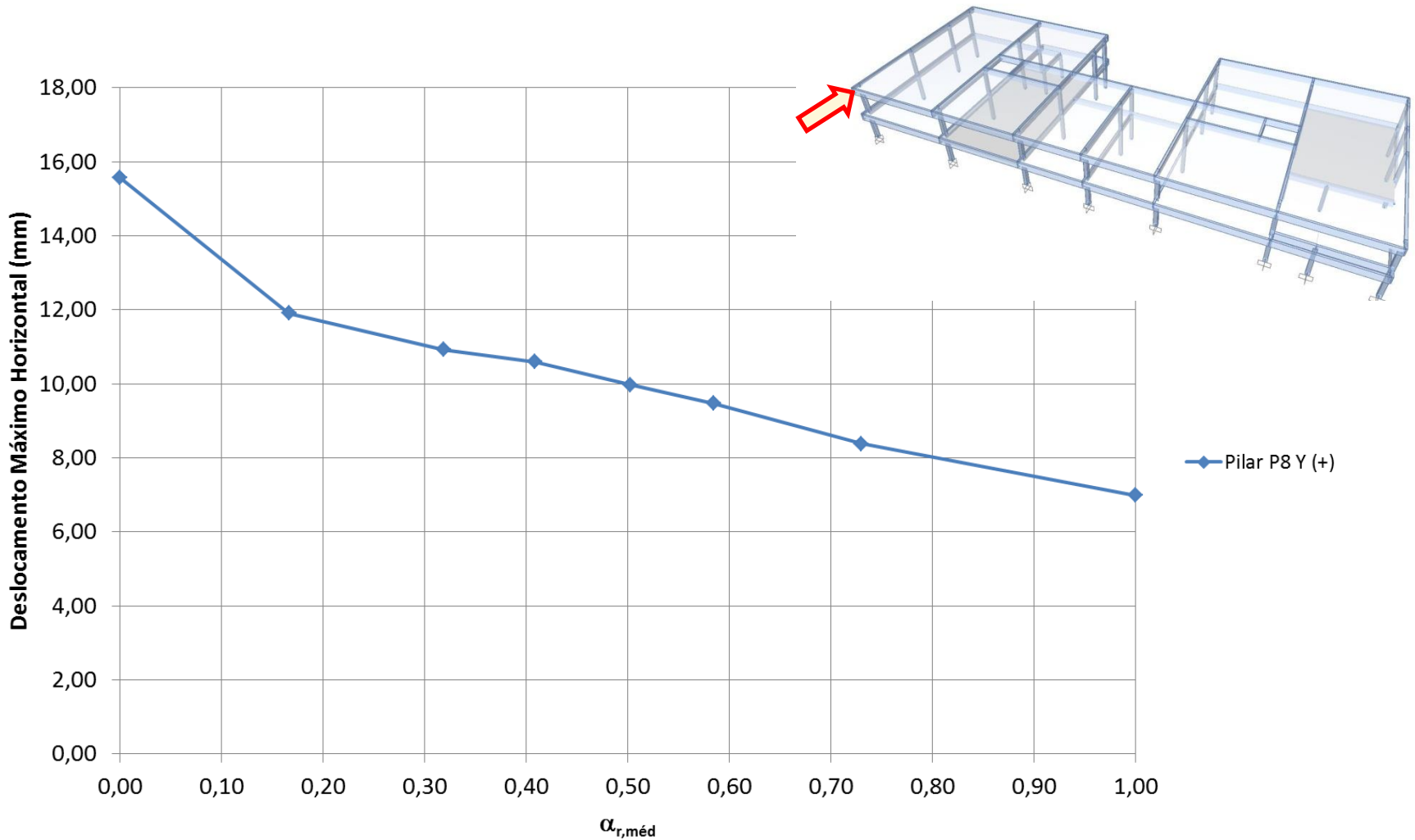
Ações Permanentes			
Primeiro Pavimento		Segundo Pavimento	
Tipo	Valor (kN/m ²)	Tipo	Valor (kN/m ²)
Peso Próprio das Lajes	3,50	Peso Próprio das Lajes	3,50
Peso Próprio da Capa de Concreto	1,25	Peso Próprio da Capa de Concreto	1,25
Peso Próprio do Revestimento	1,50	Peso Próprio do Revestimento	0,50
Peso Próprio das Alvenarias	1,50	Peso Próprio das Alvenarias	0,00

Ações Variáveis			
Primeiro Pavimento		Segundo Pavimento	
Tipo	Valor (kN/m ²)	Tipo	Valor (kN/m ²)
Sobrecarga	3,00	Sobrecarga	2,00
Vento (W_{0° e W_{180°)	0,522	Vento (W_{0° e W_{180°)	0,576
Vento (W_{90° e W_{270°)	0,305	Vento (W_{90° e W_{270°)	0,328

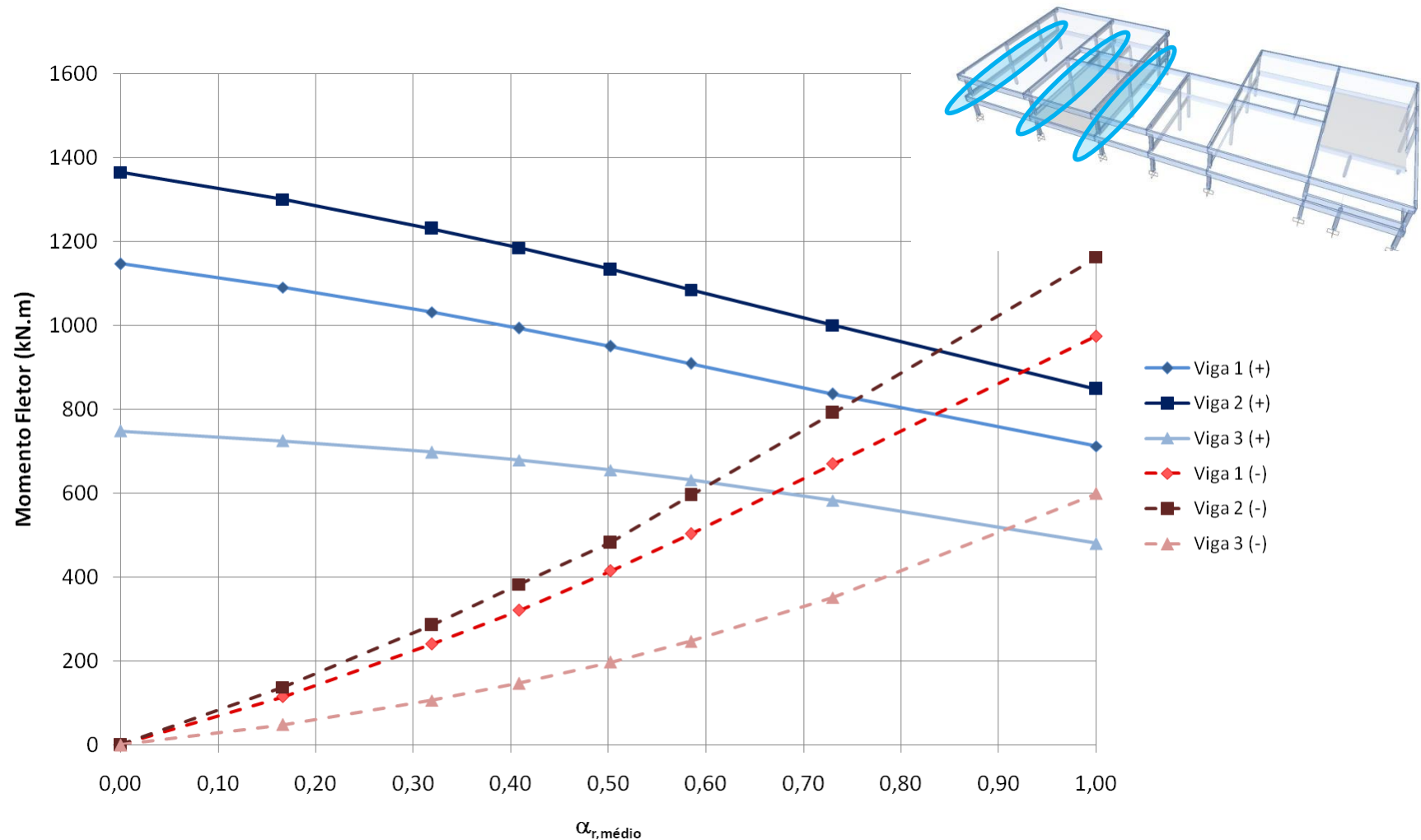
Combinações Utilizadas		
Combinações Últimas		Combinações de Serviço
COMB 1: G + Q + F _n	COMB 6: G + W ₀ + Q	COMBS1: G + Q
COMB 2: G + Q + W ₀	COMB 7: G + W ₉₀ + Q	COMBS2: G + W ₀
COMB 3: G + Q + W ₉₀	COMB 8: G + W ₁₈₀ + Q	COMBS3: G + W ₁₈₀
COMB 4: G + Q + W ₁₈₀	COMB 9: G + W ₂₇₀ + Q	COMBS4: G + W ₉₀
COMB 5: G + Q + W ₂₇₀	-	-



Momentos fletores máximos na base dos pilares, para a COMB9



Deslocamento horizontal máximo, para a COMB9.



Momentos fletores positivos e negativos máximos nas vigas (em módulo) para a COMB5.

- Taxa de armadura limitada pela seção dos pilares a 3 barras de \varnothing 25 mm e assim obtendo um fator de restrição a rotação médio da estrutura de 0,58;
- redução dos momentos fletores na base dos pilares;
- redução dos deslocamentos horizontais;
- redistribuição de esforços.