

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE COLUNAS MISTAS, METÁLICAS E EM CONCRETO ARMADO EM TEMPERATURA AMBIENTE

Amanda C. Gomes¹, Euler de O. Guerra², Lívia A. B. Lima¹, Marcella A. R. Pinto¹, Renato R. G. Antunes¹

1. Estudante do curso de graduação em Engenharia Civil da PUC Minas

2. Professor Orientador curso de Engenharia Civil PUC Minas, Belo Horizonte, MG

Resumo:

As colunas de prédios comerciais, residenciais e industriais apresentam as alternativas de serem dimensionadas em concreto armado, em aço e mistas (aço-concreto). Este trabalho tem como objetivo comparar essas soluções baseadas nas resistências e consumo de material, estabelecendo-se os seguintes parâmetros comuns a todas as alternativas: os comprimentos de flambagem; o f_{ck} do concreto; o mesmo tipo de aço. As comparações envolvem o comportamento das colunas em temperatura ambiente, solicitadas por compressão simples, flexão composta normal e oblíqua. As colunas de aço analisadas têm a seção transversal em forma de I, as colunas de concreto têm a forma retangular maciça e as colunas mistas são parcialmente ou totalmente envolvidas por concreto ou circulares e retangulares preenchidas por concreto. O dimensionamento é baseado nas normas técnicas brasileiras e elaborado em programas computacionais e planilhas eletrônicas. Os resultados das análises são apresentados em forma de tabelas.

Palavras chave: coluna mista aço-concreto; coluna de aço e de concreto armado; comparação de consumo.

Apoio financeiro: Programa de Educação Tutorial – PET- MEC/SESu

Introdução:

Nos edifícios comerciais, residenciais e industriais adotam-se colunas em concreto armado, de aço ou mistas de aço e concreto. Devido a essa diversidade de alternativas surge o questionamento quanto à escolha do sistema mais adequado tanto do ponto de vista econômico, quanto das vantagens e desvantagens construtivas, envolvendo fabricação, montagem e manutenção.

Os pilares mistos apresentam quatro alternativas: totalmente revestido por concreto; parcialmente revestido por concreto; seção tubular retangular em aço preenchido por concreto; seção tubular circular em aço preenchido por concreto.

Os pilares em aço são executados com perfis soldados ou laminados. Os perfis soldados assumem

a forma VS, CVS ou CS, cuja fabricação é regida pela norma ABNT NBR 5884: 2013.

Os pilares em concreto armado são pré-fabricados ou moldados in loco cujo dimensionamento é regido pela norma ABNT NBR 6118:2014. A norma ABNT NBR 9062:2006 define a diferença entre pilar pré-moldado e pré-fabricado. Pilar pré-moldado é moldado previamente e fora do local de utilização definitiva. Pilar pré-fabricado é executado industrialmente em instalações permanentes da empresa fabricante.

Este trabalho tem como objetivo comparar o desempenho das soluções possíveis para colunas de prédios industriais, comerciais e residenciais executados em seis alternativas diferentes descritas a seguir: em concreto armado; em aço laminados e soldados; misto totalmente envolvido por concreto; misto parcialmente envolvido por concreto; misto tubular retangular preenchido por concreto; misto tubular circular preenchido por concreto. As análises restringiram-se ao desempenho em temperatura ambiente. As comparações são baseadas na resistência de cada uma das alternativas, fixando-se as dimensões do contorno máximo para a seção transversal e também se definindo valores para os esforços solicitantes, considerando-se a compressão simples, a flexão composta normal e flexão composta oblíqua. As bases para definição das resistências são determinadas pelas normas: ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 16239:2013 para as colunas em aço e mistas (aço – concreto); ABNT NBR 6118:2014 para as colunas em concreto armado.

Metodologia:

A definição da resistência de cada uma das alternativas de projeto das colunas baseou-se em programas computacionais e planilhas eletrônicas.

Para a análise dos pilares em concreto armado utilizou-se a programa PCalc 1.4.exe, desenvolvido por Sander David Cardoso e aplicável à flexão composta oblíqua, considerando os efeitos da não linearidade física e geométrica.

Para a análise dos pilares em aço laminados e soldados foi utilizada a planilha Excel desenvolvida pelo CBCA, Centro Brasileiro da Construção em Aço,

denominada PilarMetálico2010.xls, desenvolvida na UFOP.

Para a análise dos pilares mistos tubulares retangulares e circulares preenchidos por concreto utilizou-se o programa Pilar Misto 3.04.11 desenvolvido por Rodrigo Barreto Caldas e Ricardo Hallal Fakury, ambos da UFMG.

Para pilares mistos totalmente ou parcialmente envolvidos por concreto criou-se duas planilhas Excel, desenvolvidas pelos bolsistas do Programa de Educação Tutorial (PET) da PUC Minas, autores deste trabalho.

A comparação do desempenho das seis soluções estruturais para as colunas baseou-se em três hipóteses de carregamentos distintas: compressão simples (CASO 1); flexão composta normal (CASO 2); flexão composta oblíqua (CASO 3).

Para a compressão simples utilizou-se duas formas de comparação: limitação das dimensões máximas da seção transversal (45 cm x 45 cm) para simular uma imposição restritiva arquitetônica muito comum na prática (CASO 1.1); definição da força normal solicitante em 7050 kN e determinação da seção transversal resistente para cada uma das seis soluções estruturais (CASO 1.2).

Para a flexão composta normal (CASO 2), fixaram-se os esforços em $N_{sd} = 2000$ kN e $M_{sd} = 132$ kNm e a dimensão máxima da seção transversal em 300 mm x 300 mm, com objetivo de determinar o consumo de materiais em cada uma das seis soluções estruturais.

Para a flexão composta oblíqua (CASO 3), fixaram-se os esforços solicitantes, a força normal e o par de momentos fletores, determinando-se a seção transversal resistente em cada uma das seis soluções estruturais.

Os parâmetros comuns empregados nas análises do CASO 1 são: concreto com $f_{ck} = 40$ MPa; $k_x L_x = 1 \times 3,5 = 3,5$ m = $k_y L_y$; armaduras em aço com $f_{ys} = 500$ MPa e $E = 210000$ MPa; perfil de aço com $f_y = 350$ MPa; cobrimento das armaduras 35mm.

Os parâmetros comuns empregados nas análises do CASO 2 são: concreto com $f_{ck} = 30$ MPa; $k_x L_x = 1 \times 4,0 = 4,0$ m = $k_y L_y$; armaduras em aço com $f_{ys} = 500$ MPa e $E = 210000$ MPa; perfil de aço com $f_y = 350$ MPa; cobrimento das armaduras 35mm; seção transversal 30 cm x 30 cm.

Os parâmetros comuns empregados nas análises do CASO 3 são: esforços solicitantes $N_{sd} = 4000$ kN, $M_{sd,x} = 360$ kNm, $M_{sd,y} = 250$ kNm; concreto com $f_{ck} = 30$ MPa; $k_x L_x = 1 \times 5,0 = 5,0$ m = $k_y L_y$; armaduras em aço com $f_{ys} = 500$ MPa e $E = 210000$ MPa; perfil de aço com $f_y = 350$ MPa; cobrimento das armaduras 35mm.

Resultados e Discussão:

CASO 1.1 – O misto tubular quadrado apresentou a maior resistência, 62% superior ao pilar de concreto com a menor resistência.

CASO 1.2 – O misto tubular quadrado apresentou a menor área de seção transversal.

CASO 2 – O pilar de concreto não resiste à flexão composta. O consumo de chapas de aço é maior no metálico e menor no misto tubular quadrado. O consumo de concreto é maior no pilar de concreto e menor no misto tubular circular.

CASO 3 – O consumo de chapas de aço é maior no metálico e menor no misto tubular circular. O consumo de concreto é maior no pilar de concreto e menor no misto parcialmente envolvido por concreto; o misto parcialmente envolvido por concreto apresenta a menor seção.

Conclusões:

O pilar misto tubular quadrado apresenta o melhor desempenho na compressão simples, com limitação de dimensões máximas para a seção ou definição do esforço solicitante. O consumo de chapas de aço é menor no misto totalmente envolvido por concreto e no misto tubular circular.

O pilar misto tubular retangular ou circular apresenta o melhor desempenho na flexão composta normal ou oblíqua, dispensando o uso de fôrmas e com baixo consumo de aço.

A finalização da comparação de desempenho das seis soluções estruturais necessita do levantamento dos custos de execução.

Referências bibliográficas:

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION. **ANSI/AISC 360-10: Specification for Structural Steel Buildings**. Chicago, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, **NBR 5884 – Perfil I estrutural de aço soldado por arco elétrico – Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, **NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, **NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

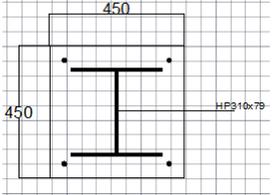
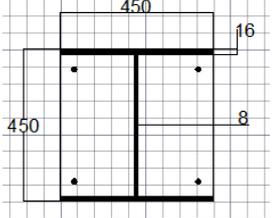
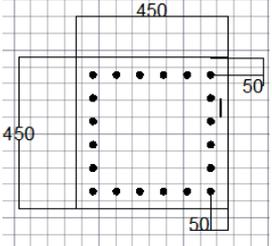
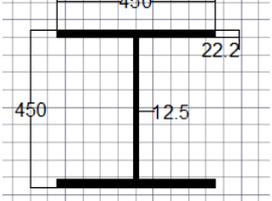
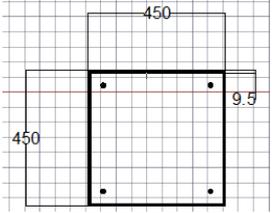
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, **NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado**. Rio de Janeiro, 2006.

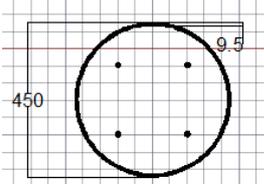
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, **NBR 16239 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares**. Rio de Janeiro, 2013.

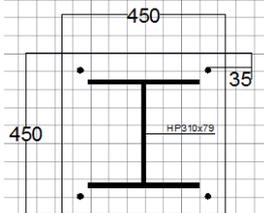
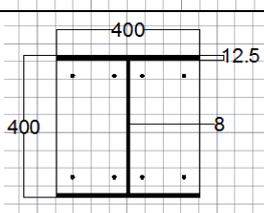
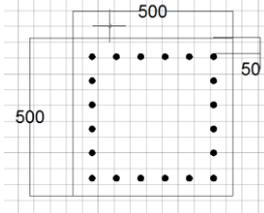
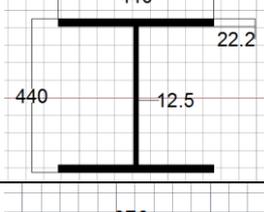
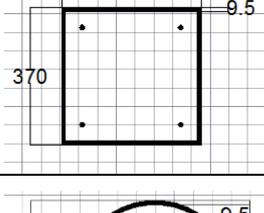
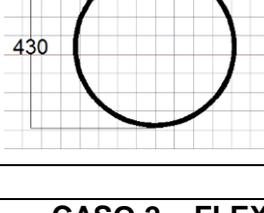
FAKURY, Ricardo H.; SILVA, Ana Lydía R. de Castro; CALDAS, Rodrigo B. **Dimensionamento Básico de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto** – UFMG. Belo Horizonte, 2014.

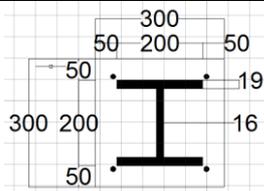
SERAFIM, Jorge A. **Pilares mistos de aço concreto parcialmente revestidos**: comportamento isolado, aplicação em galpões industriais e comparativos com pilares de sistemas estruturais usuais. Dissertação (mestrado), UFSCa. São Carlos, 2013.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, José R.; MARTINS, Alexander G. **Estruturas Mistas**. Vol.1. Rio de Janeiro: CBCA, 2012.

CASO 1.1 – COMPRESSÃO SIMPLES	
	P1 = Pilar misto totalmente envolvido por concreto $A_a = 100 \text{ cm}^2$ $A_c = 1919 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7105 \text{ kN}$
	P2 = Pilar misto parcialmente envolvido por concreto $A_a = 177 \text{ cm}^2$ $A_c = 1840 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 9592 \text{ kN}$
	P3 = Pilar em concreto armado $A_a = 0 \text{ cm}^2$ $A_c = 1962 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 9592 \text{ kN}$
	P4 = Pilar metálico $A_a = 251 \text{ cm}^2$ $A_c = 0 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7430 \text{ kN}$
	P5 = Pilar misto tubular quadrado preenchido por concreto $A_a = 167 \text{ cm}^2$ $A_c = 1850 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 9773 \text{ kN}$

CASO 1.1 – COMPRESSÃO SIMPLES	
	P6 = Pilar misto tubular circular preenchido por concreto $A_a = 131 \text{ cm}^2$ $A_c = 1423 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 8005 \text{ kN}$

CASO 1.2 – COMPRESSÃO SIMPLES	
	P1 = Pilar misto totalmente envolvido por concreto $A_a = 100 \text{ cm}^2$ $A_c = 1917 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7105 \text{ kN}$
	P2 = Pilar misto parcialmente envolvido por concreto $A_a = 130 \text{ cm}^2$ $A_c = 1464 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7069 \text{ kN}$
	P3 = Pilar em concreto armado $A_a = 0 \text{ cm}^2$ $A_c = 2437 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7071 \text{ kN}$
	P4 = Pilar metálico $A_a = 245 \text{ cm}^2$ $A_c = 0 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7243 \text{ kN}$
	P5 = Pilar misto tubular quadrado preenchido por concreto $A_a = 134 \text{ cm}^2$ $A_c = 1227 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7134 \text{ kN}$
	P6 = Pilar misto tubular circular preenchido por concreto $A_a = 126 \text{ cm}^2$ $A_c = 1327 \text{ cm}^2$ $N_{Rd} = 7147 \text{ kN}$

CASO 2 – FLEXÃO COMPOSTA NORMAL	
	P1 = Pilar misto totalmente envolvido por concreto $A_a = 102 \text{ cm}^2$ $A_c = 793 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.98

CASO 2 – FLEXÃO COMPOSTA NORMAL	
	<p>P2 = Pilar misto parcialmente envolvido por concreto $A_a = 79 \text{ cm}^2$ $A_c = 816 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.93</p>
	<p>P3 = Pilar em concreto armado $A_a = 0 \text{ cm}^2$ $A_c = 868 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: NA</p>
	<p>P4 = Pilar metálico $A_a = 117 \text{ cm}^2$ $A_c = 0 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.90</p>
	<p>P5 = Pilar misto tubular quadrado preenchido por concreto $A_a = 74 \text{ cm}^2$ $A_c = 821 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.92</p>
	<p>P6 = Pilar misto tubular circular preenchido por concreto $A_a = 87 \text{ cm}^2$ $A_c = 615 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.94</p>

	<p>P4 = Pilar metálico $A_a = 271 \text{ cm}^2$ $A_c = 0 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.99</p>
	<p>P5 = Pilar misto tubular retangular preenchido por concreto $A_a = 167 \text{ cm}^2$ $A_c = 1817 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.97</p>
	<p>P6 = Pilar misto tubular circular preenchido por concreto $A_a = 155 \text{ cm}^2$ $A_c = 2035 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.96</p>

CASO 3 – FLEXÃO COMPOSTA OBLÍQUA	
	<p>P1 = Pilar misto totalmente envolvido por concreto $A_a = 206 \text{ cm}^2$ $A_c = 2286 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.98</p>
	<p>P2 = Pilar misto parcialmente envolvido por concreto $A_a = 162 \text{ cm}^2$ $A_c = 1772 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.97</p>
	<p>P3 = Pilar em concreto armado $A_a = 0 \text{ cm}^2$ $A_c = 2885 \text{ cm}^2$ Modelo cálculo I: 0.96</p>