

## **INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DA SEÇÃO DE CONCRETO NO DIMENSIONAMENTO DE PILARES DE SEÇÃO I MISTOS DE AÇO E CONCRETO VIA COMPUTACIONAL**

**Cristiane Caroline Campos Lopes**

**Caroline Martins Calisto**

*cristianecarolinelopes@yahoo.com.br*

*carolinemartinscalisto@yahoo.com.br*

*Universidade Federal de Minas Gerais*

*Avenida Antônio Carlos, 6627 – Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Estrutural, 31270-901, Belo Horizonte - MG, Brasil*

**Rafaela de Carvalho Saar**

**Hisashi Inoue**

*rafaelasaar18@hotmail.com*

*hisashi@ufsj.edu.br*

*Universidade Federal de São João del-Rei*

*Rodovia MG 443, km 7, 36420-000, Ouro Branco - MG, Brasil*

**Abstract.** This paper presents the development of a program in C++ language that intends to design composite concrete encased steel (CES) columns, which are composed of I-shaped steel that it will be totally surrounded by concrete. The formulation of the program is based on expressions of Attachment P of ABNT NBR 8800:2008, so it can be possible to obtain an axial compressive force and moments as well as to verify the interaction between concrete and steel, steel contribution factor and slenderness. It was analyzed the influence of the variation of the concrete section in the resistance in terms of moments of the CES column considering that other parameters remained constant. It is concluded that with the increase of the concrete section there is an increase of the resistance in terms of bending moments. It is also possible to perceive that if there is an increase in the height of the concrete section there is a growth in the percentage variation of the bending moment in relation to the x and y axes. While only increasing the width of the concrete section there is an increase of the bending moment with relation to the y-axis and a small increase with relation to the x-axis, it occurs because the moment of inertia of the profile with relation to the x-axis is much larger than the moment of inertia of the profile with relation to the y-axis.

**Keywords:** CES columns, ABNT NBR 8800:2008, C++ language.

## **1 Introdução**

De acordo com Campos [1] inicialmente a associação de aço e concreto tinha como objetivo aumentar a resistência à corrosão e ao incêndio. Contudo, com o passar do tempo surgiu a necessidade da criação de novos métodos nos quais o concreto e o aço atuassem conjuntamente, de maneira que cada material contribuísse com suas principais características para a estrutura: o aço com a sua leveza e alta resistência e o concreto com sua grande rigidez e inércia.

Segundo Figueiredo [2] no ano de 1930 ocorreu a primeira normatização das estruturas mistas feita pelo New York City Building Code. No Brasil a normatização dessas estruturas ocorreu em 1986 pela NBR 8800 – Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios, contudo essa norma se limita aos elementos fletido.

Chaves [3] destaca em seu trabalho que as estruturas mistas apresentam vantagens tanto em relação as estruturas de concreto armado como também em relação as estruturas constituídas apenas por aço. Dentre as vantagens das estruturas mistas em relação as estruturas de concreto armado podemos destacar: dispensa de formas e escoramentos, velocidade de execução da obra, redução do peso próprio e volume da estrutura o que ocasiona a diminuição dos gastos com as fundações, além do aumento da precisão no dimensionamento da estrutura. É possível destacar ainda algumas vantagens que essas estruturas apresentam em relação às estruturas de aço tais como: redução do consumo de aço estrutural e das proteções contra incêndio e corrosão, como também aumento da rigidez estrutural.

## **2 Objetivos**

O objetivo principal desse artigo é analisar a influência da variação das dimensões da seção de concreto, largura e altura, no momento fletor resistente em torno dos eixos  $x$  e  $y$ .

## **3 Pilares Mistos**

De acordo com Nardin [4] a ideia de associar perfis aço e concreto surgiu no século XIX e hoje em dia os pilares mistos tem sido cada vez mais empregados nas construções civis, porém a utilização desse elemento estrutural é comprometida pelo fato de que há uma deficiência de elementos de ligação e estruturais entre esses pilares, além da inexistência de normas técnicas que dimensionem esses elementos. As pesquisas relacionadas aos pilares mistos são importantes na análise do comportamento do concreto e do aço com a finalidade de otimizar o consumo dos mesmos e da mão-de-obra e explorar as qualidades de cada um desses materiais da melhor maneira.

Os pilares mistos são estruturas constituídas por perfis de aço e concreto, podendo ser o perfil de aço envolvido ou preenchido por concreto como representado na Fig. 1. Essas estruturas podem ser solicitadas por compressão pura ou por flexo-compressão como destacado por Chaves [3] em seu trabalho. Caldas [5] ainda ressalta que a interação entre os dois materiais que compõem o pilar misto pode acontecer através do atrito, da aderência, de mossa e ressaltos e de conectores de cisalhamento.

Em seu trabalho Caldas [5] destaca algumas vantagens dos pilares mistos, tais como: acréscimo de resistência para uma mesma seção transversal, aumento na rigidez, resistência à flambagem e ductilidade em situação de carregamento e resistência a incêndio e corrosão.

Figueiredo [2] destaca que alguns fatores influenciam consideravelmente a resistência do pilar mistos, dentre eles podemos destacar: a aderência, podendo ser química, mecânica e atrito; o confinamento, que possui efeito mais notório em pilares curtos e com menor excentricidade; a resistência do concreto, concreto de maior resistência influencia positivamente na resistência do pilar misto, principalmente em pilares curtos e com menor limite de escoamento; o eixo de inércia, as cargas solicitantes de ruptura são maiores nos eixos de maior inércia; e finalmente, a excentricidade que é inversamente proporcional a carga de ruptura.

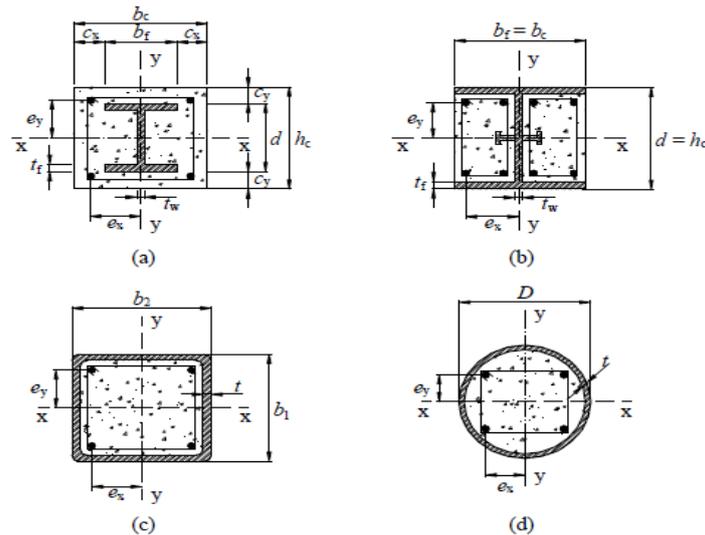


Figura 1. Seções transversais de pilares mistos (ABNT NBR 8800:2008 [6])

## 4 Normas

No Brasil, a norma ABNT 8800: 2008 [6] aborda o dimensionamento de pilares mistos, se limitando ao dimensionamento à temperatura ambiente e o dimensionamento baseia-se em dois modelos. Segundo Silva [7] o primeiro modelo baseia-se na norma americana “*Specification for Structural Steel Buildings*” ANSI/AISC (2005). O segundo modelo segue as prescrições da norma europeia Eurocode 4: “*Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*” (2004).

## 5 Materiais e Métodos

Para verificação da influência da variação das dimensões da seção de concreto no momento fletor resistente do pilar misto foi utilizado um programa computacional desenvolvido em linguagem C++ que gera os resultados de força axial de compressão e momento fletor que levam a plastificação total da seção.

Para a utilização eficiente do programa é necessário que o usuário preencha os seguintes dados de entrada:

- Dados do perfil de aço: largura da mesa, espessura da mesa, altura do perfil, espessura da alma, resistência ao escoamento do aço, coeficiente de segurança do aço e módulo de elasticidade do perfil.
- Dados da seção de concreto: resistência à compressão do concreto, densidade do concreto, largura da seção, altura da seção, coeficiente de segurança e coeficiente relacionado a compressão.
- Dados das barras longitudinais: diâmetro, número de barras, resistência ao escoamento do aço da armadura, coeficiente de segurança, distância do centro da barra à extremidade da seção e módulo de elasticidade da armadura.
- Solicitações de cálculo do pilar: carga axial e momento fletor.

## 6 Dados de entrada do programa

Foram dimensionadas diferentes seções transversais variando-se primeiramente a altura da seção de concreto mantendo a largura constante, depois a largura dessa seção mantendo a altura constante e

finalmente variando ambas as dimensões, altura e largura. O perfil de aço soldado adotado foi o CVS300x80 que possui 300 mm de altura do perfil, 250 mm de largura da mesa, 16 mm de espessura de mesa e 8 mm de espessura de alma. Além disso, o perfil de aço possui resistência ao escoamento igual a 350 MPa, coeficiente de segurança igual a 1,1 e módulo de elasticidade igual a 200 GPa.

O concreto utilizado para as seções possui resistência característica igual a 30 MPa, densidade do concreto igual a 2500 kg/m<sup>3</sup>, coeficiente de segurança igual a 1,4 e coeficiente relacionado a compressão igual a 0,85.

Também foram adotadas 4 barras de armadura longitudinal com aço CA50 com diâmetro igual a 12,5 mm, coeficiente de segurança igual a 1,15, módulo de elasticidade igual a 210 GPa e a distância do eixo da barra à extremidade da seção do aço igual a 35 mm. E finalmente, o comprimento de flambagem adotado foi de 4 m.

## 7 Resultados

As tabelas apresentadas a seguir, Tab. 1, Tab. 2 e Tab. 3, apresentam os resultados dos momentos fletores em torno dos eixos x e y, as áreas de concreto de cada seção (desconsiderando a área do perfil de aço) e as taxas de variação de momento e da área de cada uma das seções transversais. A Tab. 1 apresenta seções onde a dimensão modificada em cada análise foi a altura, na Tab. 2 são apresentados os resultados quando da modificação da largura e finalmente na Tab. 3 são apresentados os resultados obtidos pela modificação simultânea das duas dimensões, largura e altura.

Nas figuras, Fig. 2, Fig. 3 e Fig. 4, são apresentados os gráficos das taxas de variação de momento fletor pela variação da área.

Tabela 1. Resultados obtidos variando a altura

Seção	Mpl,x (kNcm)	Mpl,y (kNcm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% Aumento Mpl,x	% Aumento Mpl,y	% Aumento área
35x40	49,617.60	29,044.40	1,293.70	-	-	-
35x41	50,031.40	29,264.50	1,328.70	0.83	0.76	2.71
35x42	50,452.00	29,481.60	1,363.70	1.68	1.51	5.41
35x43	50,879.70	29,695.00	1,398.70	2.54	2.24	8.12
35x44	51,314.30	29,907.20	1,433.70	3.42	2.97	10.82
35x45	51,755.90	30,115.90	1,468.70	4.31	3.69	13.53
35x46	52,204.40	30,321.90	1,503.70	5.21	4.40	16.23
35x47	52,659.90	30,525.20	1,538.70	6.13	5.10	18.94
35x48	53,122.30	30,725.90	1,573.70	7.06	5.79	21.64
35x49	53591.70	30,924.10	1,608.70	8.01	6.47	24.35

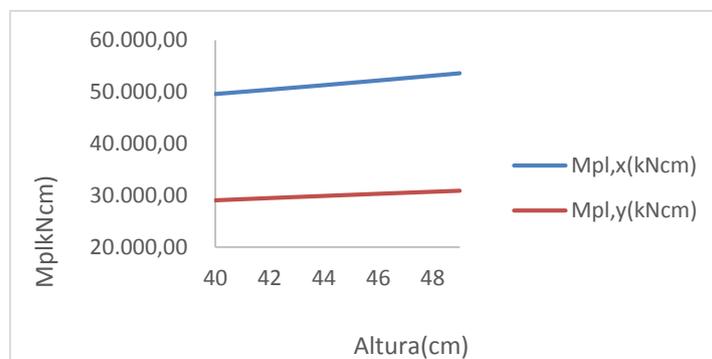


Figura 2. Resultados obtidos variando a altura

Tabela 2. Resultados obtidos variando a largura

Seção	Mpl,x (kNcm)	Mpl,y (kNcm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% Aumento Mpl,x	% Aumento Mpl,y	% Aumento área
35x40	49,617.60	29,044.40	1,293.70	-	-	-
36x40	49,700.10	29,723.70	1,333.56	0.17	2.34	2.70
37x40	49,780.00	30,416.30	1,368.56	0.33	4.72	5.39
38x40	49,857.50	31,122.10	1,403.56	0.48	7.15	8.09
39x40	49,932.00	31,841.30	1,438.56	0.63	9.63	10.78
40x40	50,005.40	32,573.80	1,473.56	0.78	12.15	13.48
41x40	50,076.20	33,319.60	1,508.56	0.92	14.72	16.17
42x40	50,144.90	34,078.70	1,543.56	1.06	17.33	18.87
43x40	50,211.60	34,851.20	1,578.56	1.20	19.99	21.56

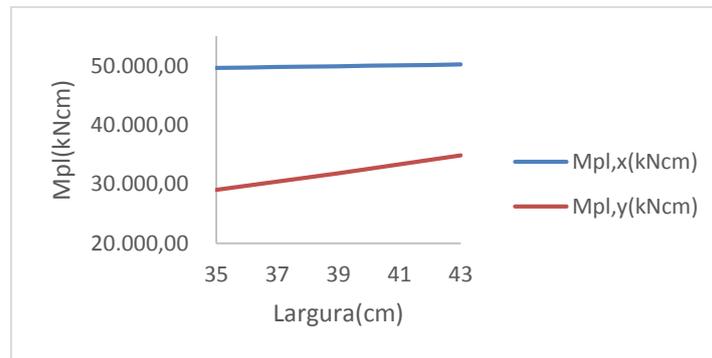


Figura 3. Resultados obtidos variando a largura

Tabela 3. Resultados obtidos variando as duas dimensões

Seção	Mpl,x (kNcm)	Mpl,y (kNcm)	Área (cm <sup>2</sup> )	% Aumento Mpl,x	% Aumento Mpl,y	% Aumento área
36x41	50,177.60	29,954.10	1,369.70	-	-	-
37x42	50,629.50	30,895.30	1,447.80	1.02	3.14	5.70
38x43	51,153.40	31,868.30	1,527.70	2.07	6.39	11.54
39x44	51,689.20	32,873.40	1,609.70	3.14	9.75	17.52

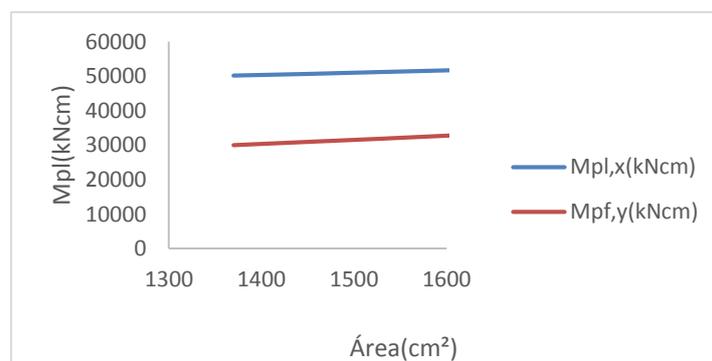


Figura 4. Resultados obtidos variando as duas dimensões

## 8 Conclusões

Como esperado, conclui-se que com o aumento da seção de concreto há um aumento da resistência

em termos de momentos fletores. Também é possível concluir que ao aumentar a altura da seção de concreto ocorre um aumento na variação percentual do momento fletor em relação aos eixos x e y. Enquanto que, ao aumentar somente a largura da seção de concreto ocorre aumento do momento fletor em relação ao eixo y e pequeno aumento em relação ao eixo x, fato que ocorre uma vez que o momento de inércia do perfil em relação a x é bem maior do que o momento de inércia do perfil em relação a y.

## **Referências**

- [1] A. S. Campos. Estudo sobre os critérios de dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto. Universidade Estadual de Campinas, 2006.
- [2] L. M. B. Figueiredo. Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto. Universidade de São Paulo, 1998.
- [3] L. E. A. Chaves. Estudo de pilares de concreto armado e pilares mistos de aço e concreto totalmente revestidos. Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.
- [4] S. Nardin. Pilares mistos preenchidos: estudo da flexo-compressão e de ligações viga-pilar. Universidade de São Paulo, 2003.
- [5] R. B. Caldas. Análise numérica de pilares mistos aço-concreto. Universidade Federal de Ouro Preto, 2004.
- [6] ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. (s.d). Rio de Janeiro, Brasil.
- [7] P. H. Silva. Dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto. Universidade de São Paulo, 2012.