

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PILARES MISTOS DE AÇO-CONCRETO E PILARES DE CONCRETO ARMADO

Gleyciane Matos Oliveira¹, Tainara Rosa de Araujo Barbosa², Michael Dowglas de Gois Silva³

Resumo

As estruturas mistas, compostas de perfis metálicos e concreto armado, têm sido alvo de estudos, devido ao aproveitamento da unificação dos dois elementos que geram uma somatória de vantagens. Essa junção apresenta, desde a redução no peso total da estrutura, até aspectos construtivos, tais como qualidade e agilidade de execução e desperdício de materiais; em pilares isto ocorre de maneira similar. Mas apesar de suas vantagens, o sistema ainda é pouco empregado no Brasil. Os pilares mistos podem ser classificados como preenchidos e revestidos, sendo o foco desse trabalho os pilares mistos preenchidos de seção tubular, em consequência dos seus benefícios, tais como: redução de custo e aumento significativo a resistência do momento fletor, quando comparado com os revestidos. Neste contexto, o trabalho tem por objetivo dimensionar um pilar intermediário e verificar a viabilidade de pilares mistos preenchidos com seção tubular, comparando-o com os de concreto armado, bem como a disponibilização de um roteiro de cálculo para pilares mistos, seção tubulares preenchidas de concreto. A partir dos resultados obtidos, foi possível constatar os benefícios da utilização de pilares mistos, com a redução de 32,80% na área da seção transversal, 46,77% no consumo de concreto e 6,57% do peso próprio do elemento dimensionado.

Palavras-chave: Estruturas mistas. Pilares mistos. Seção Tubular. Dimensionamento.

Abstract

The mixed structures, made up of metallic profiles and reinforced concrete, have been studied due to the use of the unification of the two elements, which generate a sum of advantages. This junction presents, from the reduction in the total weight of the structure, to constructive aspects, such as quality and agility of execution and use of materials; in pillars is occurs in a similar way. But even with its advantages, the system is still little used in Brazil. The mixed pillars can be classified as filled and coated, being the focus of this work the mixed pillars filled of tubular section, as a consequence of its benefits, such as: cost reduction and significantly increased the bending moment strength when compared to the coated. In this context, the objective of this work is to dimension an intermediate pillar and verify the viability of mixed pillars filled with tubular section, comparing it with those of reinforced concrete, as well as providing a calculation roadmap for mixed pillars, tubular sections filled with concrete. From the obtained results, it was possible to verify the benefits of the use of mixed pillars, with a reduction of 32.80% in the cross-sectional area, 46.77% in the consumption of concrete and 6.57% of the own weight of the dimensioned element.

Key words: Mixed structure. Mixed pillars. Tubular sections. Sizing.

¹ gleycianematos@hotmail.com, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

² barbosa.tainarat@gmail.com, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

³ eng.michaeldowglas@gmail.com, Universidade de Rio Verde, Faculdade de Engenharia Civil.

Introdução

Devido à abundância de matéria prima e influência cultural, no Brasil, o sistema estrutural mais utilizado são as estruturas de concreto armado para soluções de edifícios de múltiplos pavimentos. Entretanto, conforme Rodrigues e Peixoto (2016), as estruturas metálicas, ganharam espaço e cresceram significativamente a partir das décadas de 50 e 60.

O aço e o concreto detêm propriedades consideráveis e outras complicadoras quando empregados nos sistemas estruturais. Normalmente, o concreto consiste em uma estrutura monolítica mais estável e rígida. Entretanto, apresenta um peso próprio elevado, o que onera as fundações da estrutura. Já as estruturas metálicas dispensam o uso de fôrmas e possibilitam uma construção mais ágil, otimizada e limpa. Apesar disso, seu alto índice de esbeltez pode acarretar o aparecimento de problemas de flambagem e estabilidade, locais e globais, além de dispor de baixa resistência à corrosão e ao fogo (RODRIGUES; PEIXOTO, 2016).

Com os avanços tecnológicos e desenvolvimento econômico, a busca de aperfeiçoamentos e/ou novos métodos para sistemas estruturais e construtivos com melhor custo-benefício é de grande valia.

Segundo Gaiga (2008), uma forma econômica e estruturalmente viável é o uso racional de dois tipos de materiais na composição de seções estruturais, na formação de um sistema ou parte de um sistema estrutural. O benefício da união entre estes dois elementos (aço-concreto), é que o aço possui ótimo desempenho quando submetido à tração e o concreto quando submetido à compressão, levando em consideração que ambos contêm aproximadamente o mesmo valor do coeficiente de dilatação térmica.

De acordo com Caldas (2004), um elemento misto aço-concreto é constituído por um perfil de aço, laminado, dobrado ou soldado, que trabalha conjuntamente com o concreto, compondo assim, um pilar misto, uma viga mista, uma laje mista ou uma ligação mista. A utilização da combinação de perfis de aço e concreto tem por objetivo aproveitar as vantagens de cada material, tanto em termos construtivos como estruturais (PEREIRA, 2014).

Segundo Griffis (1994), os primeiros estudos de construções mistas datam em 1894 nos Estados Unidos, com a utilização de vigas de aço revestidas com concreto, visando à proteção ao fogo e à corrosão dos elementos estruturais de aço que, conforme Braga e Ferreira (2011), esta era a principal finalidade, sem se preocupar com o aumento de resistência dos dois materiais (concreto-aço). A princípio a estrutura era calculada somente como metálica. Posteriormente passou-se à verificação do elemento como misto.

Os elementos mistos têm sido bastante utilizados nas últimas décadas, devido suas características como, por exemplo, a redução das dimensões dos elementos estruturais, que consiste na economia de materiais, mão-de-obra, maior área livre, tem capacidade grande de resistência, rigidez e ductilidade, além de ter um bom comportamento em situações de incêndio (SERAFIM, 2013). Diante disso, torna-se relevante o conhecimento das estruturas mistas, sendo que neste trabalho, o foco foi dado aos pilares mistos.

Denomina-se pilar misto aço-concreto, um elemento vertical sujeito a forças predominantes de compressão, constituído pela união de um ou mais perfis estruturais de aço preenchidos ou revestidos por concreto estrutural (SILVA, 2006). Caracterizam-se os pilares mistos revestidos, um ou mais perfis de aço totalmente envolvidos por concreto, podendo ser esses perfis de seções transversais do tipo I, U, C, L, etc. (OLIVEIRA, 2008).

Os pilares mistos preenchidos, conforme Oliveira (2008), são elementos estruturais decorrentes da junção de um tubo de aço preenchido com concreto de resistência característica à compressão (f_{ck}) igual ou superior a 20 MPa. Normalmente não se utiliza armadura longitudinal composta por barras verticais de aço, tão pouco estribos transversais, devido à posição que o tubo ocupa na seção. Deste modo, sua execução é simplificada em relação à execução dos pilares de concreto armado.

Braga e Ferreira (2011) elaboraram uma análise comparativa de custo e de peso entre os pilares mistos de aço-concreto e pilares de concreto armado, ambos com mesma resistência à compressão axial. Verificou-se que o maior custo do pilar misto sucede do elevado custo da mão-de-obra das estruturas de aço. Em relação ao peso, os pilares mistos possuíam peso inferior aos de concreto armado, o que acarretou em diminuição significativa de cargas nas fundações, possibilitando economia final da obra.

A Figura 1 apresenta algumas seções transversais típicas de pilares mistos sugeridas por Silva (2012), sendo com seção retangular totalmente revestido com perfil “I” ou “H” (a), parcialmente revestido com perfil “I” ou “H” (b), preenchido com armadura longitudinal de tubos retangulares (c) e tubos circulares (d), seção circulares preenchidas com perfil “I” ou “H” (e), e seção em cruz parcialmente revestidas de concreto (f).

Segundo Viest (2003) apud Campos (2006), uma das primeiras obras no mundo com utilização de pilares mistos revestidos em concreto foi o depósito da Druecker em Chicago, no ano de 1898, sendo que em seguida, em 1901, este conceito foi empregado de forma invertida, cujos pilares tubulares de aço foram preenchidos com concreto, visando o aumento de capacidade da grua utilizada na construção da nova gráfica do governo americano, em Washington, DC. Conforme Nardin (2003), a partir dessa época, decorreram inúmeros estudos para o aperfeiçoamento do dimensionamento dos pilares mistos preenchidos.

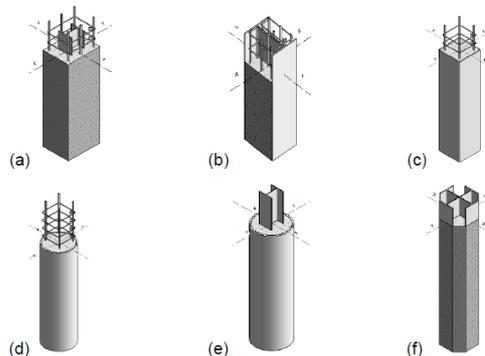


Figura 1 – Exemplos de seções de pilares mistos
Fonte: SILVA (2012).

De acordo com Nardin (1999), em edifícios de múltiplos pavimentos, é onde se verifica o maior número de aplicações dos pilares mistos preenchidos, devido aos seus benefícios. Esse entendimento é confirmado também em Nóbrega (2003), que destaca as seções tubulares preenchidas. Para ele, pode-se evidenciar:

Eficiência para resistir a cargas de compressão, aumento significativo da resistência ao momento fletor, boa resistência ao impacto, agilidade na construção, boa resistência em situação de incêndio, sem a necessidade de proteção do perfil metálico, o que garante melhor aproveitamento do espaço útil da edificação e redução de custo.

Fica evidente, assim, que a opção por pilares mistos tubulares preenchidos é extremamente vantajosa.

Braga (2006) ressalta que há um melhoramento no comportamento dos pilares mistos preenchidos com concreto devido ao efeito de confinamento. Essa concepção é ressaltada ainda em Cardoso (2013) apud Canales (2014), que em virtude desse confinamento do perfil tubular de aço preenchido com concreto, resulta-se em um ganho de resistência do concreto, devido ao estado triaxial de tensões. Em relação ao perfil de aço, o núcleo do concreto previne a instabilidade local do tubo e ainda apresenta maior resistência ao fogo.

Tendo em vista essas vantagens, recentemente, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou uma normativa exclusivamente para perfis tubulares. A ABNT NBR 16239:2013, emprega algumas modificações que anteriormente eram consideradas apenas pela ABNT NBR 8800:2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Sendo essas modificações, o cálculo da rigidez efetiva à flexão e os modelos de cálculo para pilares submetidos à flexo-compressão.

Canales (2014) compôs um estudo do dimensionamento dos pilares mistos de perfis tubulares preenchidos através da ABNT NBR 16239:2013, sugerindo o uso desta, em função do aproveitamento mais racional do perfil tubular comparado com a ABNT NBR 8800:2008.

O objetivo do trabalho é dimensionar um pilar misto de seção tubular retangular preenchido com concreto, a fim de verificar a sua viabilidade, em questões construtivas e orçamentárias, se comparada a um pilar dimensionado de concreto armado, de acordo com critérios das normas ABNT NBR 6118:2014, ABNT NBR 8800:2008 e ABNT NBR 16239:2013, que regem o dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto, constituídos de perfis tubulares preenchidos.

Material e métodos

Visando o entendimento sobre o estudo de pilares mistos, para uma melhor compreensão do assunto, foi realizada uma revisão bibliográfica, recorrendo-se às fontes disponíveis, especialmente em normas brasileiras direcionadas à área de interesse, trabalhos acadêmicos, com o foco em estruturas mistas, artigos, catálogos, livros e *web sites* na área.

Após coleta das informações e princípios teóricos sobre o dimensionamento de pilares mistos, optou-se pela seção tubular retangular preenchida de concreto. Sendo assim, iniciou-se o dimensionamento através da ABNT NBR 8800:2008. Utilizou-se então, as modificações apresentadas pela ABNT NBR 16239:2013, para cálculo da rigidez efetiva à flexão e empregando o modelo de cálculo para pilares submetidos à flexo-compressão.

Baseado nos procedimentos de cálculo estudados de pilares mistos, com auxílio do programa Excel, foi elaborada uma planilha fragmentada para facilitar a visualização e o entendimento, de acordo com o procedimento normativo.

O dimensionamento do pilar em concreto armado foi feito através do método pilar padrão, de acordo com a NBR 6118:2014, aplicando o roteiro de cálculo apresentado na apostila “Pilares de Concreto Armado”, do Prof. Dr. Paulo Sérgio dos Santos Bastos (2015) e utilizando-se o exemplo de planta de fôrma (Figura 2), na apostila “Concreto Armado: Projeto Estrutural de Edifícios” do José Samuel Giongo (2007).

O pilar escolhido para o dimensionamento foi o P5, por apresentar o maior carregamento, sendo classificado como pilar intermediário. Conforme Alva et al. (2008), são classificados pilares intermediários, aqueles que estão preponderantemente submetidos às forças axiais de compressão, devido à pequena intensidade dos módulos dos momentos fletores, em referência às ações verticais, desprezando-se assim, as excentricidades iniciais. Diante disso, foi possível correlacionar pilares de concreto armado e pilares mistos.

Para alcançar os objetivos propostos, fez-se necessária a elaboração de um roteiro para dimensionamento de pilares mistos, seção tubular, de acordo com as respectivas normativas já citadas, frisando a seção utilizada, modelo tubular retangular preenchido de concreto.

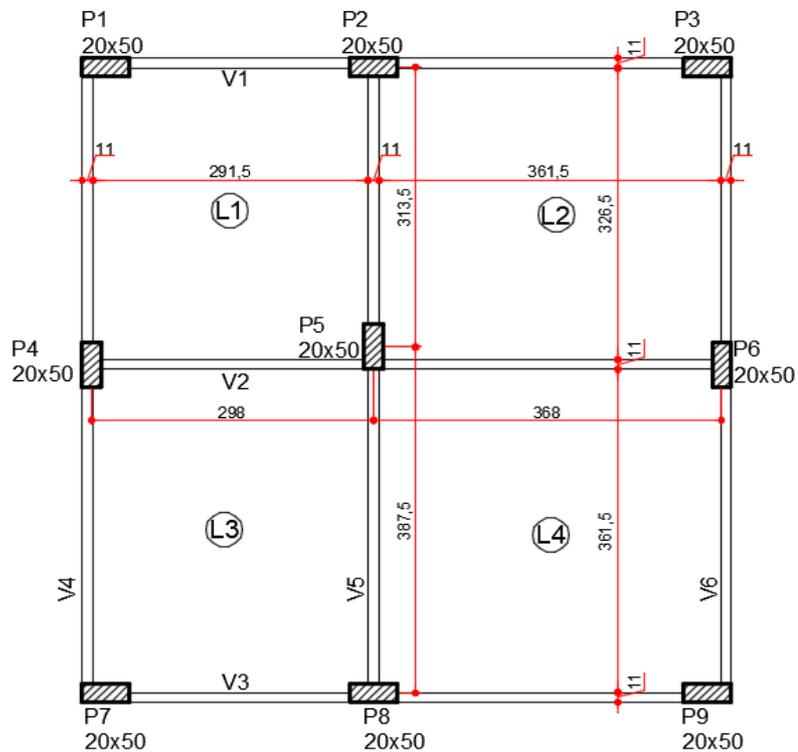


Figura 2 – Exemplo para dimensionamento com cotas em cm
Fonte: Adaptada de GIONGO (2007).

a) Limites de aplicabilidade

- Força axial de compressão resistente de cálculo à plastificação total

$$N_{pl,Rd} = N_{pl,a,Rd} + N_{pl,c,Rd} + N_{pl,s,Rd} \quad (1)$$

Com:

$$N_{pl,a,Rd} = f_{yd} \cdot A_a \quad (2)$$

$$N_{pl,c,Rd} = f_{cd1} \cdot A_c \quad (3)$$

$$N_{pl,s,Rd} = f_{sd} \cdot A_s \quad (4)$$

Onde:

$N_{pl,a,Rd}$ é a força axial resistente de cálculo somente do perfil de aço;

$N_{pl,c,Rd}$ é a força axial resistente de cálculo do concreto;

$N_{pl,s,Rd}$ é a força axial resistente de cálculo da armadura longitudinal;

A_a é a área da seção transversal do perfil de aço;

A_c é a área da seção transversal do concreto;

A_s é a área da seção transversal da armadura longitudinal;

f_{yd} é a resistência de cálculo ao escoamento do aço;

f_{sd} a resistência de cálculo ao escoamento do aço da armadura;

f_{cd1} é igual ao produto αf_{cd} ;

α é um coeficiente igual a 0,95 para seções tubulares circulares preenchidas com concreto e 0,85 para as demais seções.

- Fator de contribuição do perfil de aço

O valor de δ deve ser superior a 0,2 e inferior a 0,9 para que seja considerado como um pilar misto. Sendo que se for igual ou inferior a 0,2, o pilar deverá ser dimensionado, conforme a ABNT NBR 6118:2014 como pilar de concreto e, se for igual ou superior a 0,9, o pilar deverá ser dimensionado, de acordo com a ABNT NBR 8800:2008, como pilar de aço.

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{pl,Rd}} \quad (5)$$

b) Verificação da flambagem local dos elementos de aço para seções tubulares retangulares preenchidas com concreto

$$\frac{b_i}{t} \leq 2,26 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \quad (6)$$

Onde:

b_i é a maior dimensão paralela a um eixo de simetria da seção tubular retangular;

t é a espessura do perfil de aço;

E é o módulo de elasticidade do aço;

f_y é a resistência ao escoamento do aço.

c) Pilares submetidos a compressão axial

- Força axial de compressão resistente

$$N_{pl,R} = f_y \cdot A_a + \alpha \cdot f_{ck} \cdot A_c + f_{ys} \cdot A_s \quad (7)$$

Onde:

f_y , f_{ys} são limites de escoamento dos aços do perfil e da armadura, respectivamente;

f_{ck} é a resistência característica do concreto a compressão;

A_a , A_c , A_s e α são definidos no item (a).

- Rigidez efetiva à flexão

$$(EI)_e = E_a \cdot I_a + 0,70 \cdot E_c \cdot I_c + E_s \cdot I_s \quad (8)$$

E_a é o módulo de elasticidade do aço;

I_a é o momento de inércia da seção transversal do perfil de aço;

E_c é o módulo de elasticidade secante do concreto;

I_c é o momento de inércia da seção transversal do concreto não fissurado;

E_s é o módulo de elasticidade do aço da armadura do concreto;

I_s é o momento de inércia da seção transversal da armadura do concreto.

- Força axial de flambagem elástica

$$N_e = \frac{\pi^2 \cdot (EI)_e}{(KL)^2} \quad (9)$$

Onde:

$(EI)_e$ é a rigidez efetiva à flexão;

KL é o comprimento de flambagem do pilar;

L é o comprimento do pilar;

K é o coeficiente de flambagem de barras comprimidas, determinado de acordo com a ABNT NBR 8800:2008.

- Índice de esbeltez reduzido

$$\lambda_{0,m} = \sqrt{\frac{N_{pl,R}}{N_e}} \quad (10)$$

Onde:

$N_{pl,Rd}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo da seção transversal à plastificação de acordo com a equação (1);

N_e é a força axial de flambagem elástica.

- Fator de redução χ

$$\text{Para } \lambda_{0,m} \leq 1,5: \chi = 0,658^{\lambda_{0,m}^2} \quad (11)$$

$$\text{Para } \lambda_{0,m} > 1,5: \chi = \frac{0,877}{\lambda_{0,m}^2} \quad (12)$$

- Força axial resistente de cálculo de pilares mistos axialmente comprimidos

$$N_{Rd} = \chi \cdot N_{pl,Rd} \quad (13)$$

Onde:

$N_{pl,Rd}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo da seção transversal à plastificação de acordo com a equação (1);

χ é um fator de redução e será calculado de acordo com as equações (11) e (12), em função do índice de esbeltez reduzido.

d) Momentos fletores de plastificação de cálculo

$$M_{pl,Rd} = f_{yd}(Z_a - Z_{an}) + 0,50.f_{cd1}(Z_c - Z_{cn}) + f_{sd}(Z_s - Z_{sn}) \quad (14)$$

Onde:

Z_a é o módulo de resistência plástico da seção do perfil de aço;

Z_c é o módulo de resistência plástico da seção de concreto;

Z_s é o módulo de resistência plástico da seção da armadura do concreto;

Z_{an} , Z_{cn} , Z_{sn} são módulos de resistência plásticos, e são definidos por:

- Para seção tubular retangular:

A Figura 3 exibe a seção do pilar misto em função das nomenclaturas apresentadas logo abaixo.

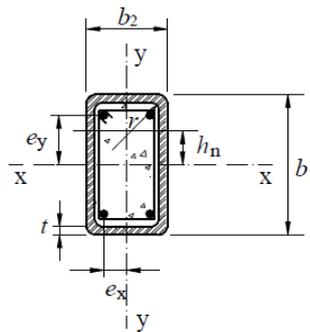


Figura 3 – Seção tubular retangular preenchida com concreto; sem escala
Fonte: ABNT NBR 8800 (2008).

- Eixo x

$$Z_c = \frac{(b_2 - 2t)(b_1 - 2t)^2}{4} - \frac{2}{3}r^3 - r^2(4 - \pi)\left(\frac{b_1}{2} - t - r\right) - Z_s \quad (15)$$

$$Z_s = \sum_{i=1}^n |A_{si} e_i| \quad (16)$$

$$h_n = \frac{A_c \cdot f_{cd1} - A_{sn}(2 \cdot f_{sd} - f_{cd1})}{2 \cdot b_2 \cdot f_{cd1} + 4t(2 \cdot f_{yd} - f_{cd1})} \quad (17)$$

$$Z_{cn} = (b_2 - 2t)h_n^2 - Z_{sn} \quad (18)$$

$$Z_{an} = b_2 \cdot h_n^2 - Z_{cn} - Z_{sn} \quad (19)$$

$$Z_{sn} = \sum_{i=1}^n |A_{sni} e_{yi}| \quad (20)$$

Onde:

e_i é a distância do eixo da barra da armadura de área A_{si} ao eixo de simetria relevante da seção;

A_{sni} é a área de cada barra da armadura na região de altura $2h_n$;

e_{yi} é a distância do eixo da barra da armadura ao eixo x.

- Eixo y

Devem ser utilizadas as equações relativas ao eixo x, permutando-se entre si as dimensões b_1 e b_2 , bem como os índices subscritos x e y.

e) Modelo de cálculo para pilares submetidos à flexo-compressão

- para $N_{Sd} \leq N_{c,Rd}$

$$\frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (21)$$

- para $N_{Sd} > N_{c,Rd}$

$$\frac{N_{Sd} - N_{c,Rd}}{N_{Rd} - N_{c,Rd}} + \frac{M_{x,Sd}}{M_{x,Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} \leq 1,0 \quad (22)$$

Onde:

N_{Sd} é a força axial de compressão solicitante de cálculo;

$N_{c,Rd}$ é a força axial de compressão resistente de cálculo referente a parcela de concreto, que é calculada pelo produto $\chi N_{pl,c,Rd}$, de acordo com a ABNT NBR 8800;

$M_{x,Sd}$ e $M_{y,Sd}$ são os momentos fletores solicitantes de cálculo, em relação aos eixos de x e y, respectivamente, da seção transversal do pilar misto;

$M_{x,Rd}$ e $M_{y,Rd}$ são momentos fletores resistentes de cálculo, em relação aos eixos de x e y da seção transversal do pilar misto, dados por $0,9 M_{pl,Rdx}$ e $0,9M_{pl,Rdy}$, respectivamente.

Resultados e discussão

- Pilar de concreto armado

Com a seção do pilar pré-definida por Giongo (2007), ilustrado na Figura 2, e considerando um edifício de 11 pavimentos mais um pavimento térreo, onde foram admitidos os seguintes dados de projeto apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Dados do pilar P5

Dados	
Aço	CA-50
f_{ck} (MPa)	25
Classe de Agressividade	II
Controle rigoroso (mm)	5
h_{VIGA} (cm)	40
L_0 (m)	3,10
Reação da V5 (kN)	129,28
Reação da V2 (kN)	121,20

Fonte: Próprio autor (2018).

De posse desses dados, o pilar P5 apresenta um carregamento de cálculo (N_d) de 3125,11 kN, peso próprio de 85,25 kN e o seguinte detalhamento ilustrado na Figura 4; com nomenclatura de N1 e N2, respectivamente, barras das armaduras longitudinais e transversais.

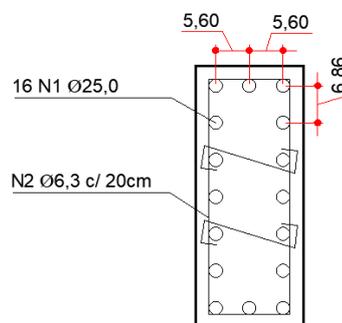


Figura 4 – Detalhamento com cotas em cm e bitolas em mm; sem escala
Fonte: Próprio autor (2018).

- Pilar misto

Para o cálculo da parcela de concreto, assumiu-se o mesmo f_{ck} do pilar de concreto armado, sendo 25 MPa e utilizando a NBR 6118:2014, sucedendo nos dados obtidos pelo Quadro 2.

Quadro 2 – Dados pertinentes de concreto

Concreto	
f_{ck} (MPa)	25
E_{cs} (GPa)	24
f_{cd} (kN/cm ²)	1,79

Fonte: Próprio autor (2018).

Já, para a parcela de aço, utilizou-se o catálogo da Vallourec – Tubos Estruturais Seção Circular, Quadrada e Retangular, para escolha do tipo de aço, obtenção da resistência ao escoamento do aço e módulo de elasticidade, expostos no Quadro 3.

Quadro 3 – Dados do aço

Aço	
Tipo de Aço	ASTM A 500
f_y (MPa)	250
E (GPa)	200

Fonte: Adaptado do Catálogo da Vallourec (2018).

Para os esforços solicitantes no Quadro 4, considerou-se a somatória da parcela de aço com a de concreto armado, para força axial de compressão solicitante de cálculo e para os momentos fletores solicitantes de cálculo. O peso próprio da estrutura, somando a parcela contribuinte de aço e do concreto é de 79,65 kN, sucedendo em redução de 6,57% do peso próprio do pilar P5, em comparação com o de concreto armado.

Quadro 4 – Esforços solicitantes pilar misto

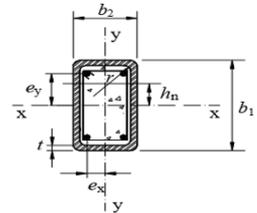
Esforços Solicitantes	
N_{sd} (kN)	3123,02
$M_{x,Sd}$ (kN.m)	9375,33
$M_{y,Sd}$ (kN.m)	9469,08

Fonte: Próprio autor (2018).

Baseado nas informações e nas formulações apresentadas, computou-se os dados e, inicialmente, atribuiu-se uma seção similar ao do pilar de concreto armado (20x50cm), até deparar-se com a seção ideal, que satisfizes os parâmetros da norma e que possua o menor peso próprio. O Quadro 5 apresenta o resultado completo obtido através das formulações. Ressalva-se que a estrutura não desfruta de armadura transversal, em virtude de o pilar misto ser preenchido.

Quadro 5 – Planilha completa do dimensionamento do pilar misto seção tubulares

PERFIL (mm)											
B1 (cm)	B2 (cm)	t (cm)	L (altura) cm	Aa (cm ²)	Ix (cm ⁴)	Iy (cm ⁴)	rx (cm)	ry (cm)	Zax (cm ³)	Zay (cm ³)	
28	24	1,42	310	138	14150	11170	10,1	8,99	1235	1112	
FATOR DE CONTRIBUIÇÃO DO PERFIL DE AÇO											
Npl,a,Rd (kN)	Npl,c,Rd (kN)	Npl, Rd (kN)	δ								
3000,12	810,03	3810,15	0,79								
FLAMBAGEM											
bi (cm)	bi/t	Verificação									
28	19,72	Ok									
PILARES SUBMETIDOS À COMPRESSÃO AXIAL											
Npl, R (kN)	(E)I _{ex} kN/cm ²	(E)I _{ey} kN/cm ²	N _{ex} (kN)	N _{ey} (kN)	λ _{o,mx}	λ _{o,my}	χ _x	χ _y	NR _{dx} (kN)	NR _{dy} (kN)	Verificação
4581,33	330181920	256772263	33910,14	26370,87	0,37	0,42	0,94	0,93	3581,54	3543,44	Ok
					Ok	Ok					
PILARES SUBMETIDOS À FLEXO-COMPRESSÃO											
Z _{cx} (cm ³)	h _{nx} (cm ²)	Z _{cnx} (cm ³)	Z _{anx} (cm ³)	M _{pl,Rdx} (kN.cm)	Z _{cy} (cm ³)	h _{ny} (cm ²)	Z _{cny} (cm ³)	Z _{any} (cm ³)	M _{pl,Rdy} (kN.cm)	Verificação	
2444,67	2,6	143,04	19,2	28182,46	2221,63	2,5	157,25	17,75	25359,47	Ok	
										0,785	



Fonte: Próprio autor (2018).

Por meio do Quadro 5 e Figura 5, é perceptível a redução da seção transversal, comparada com a de concreto armado.

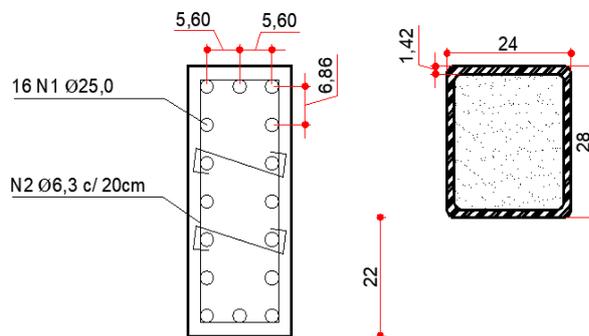


Figura 5 – Diferenças de seções com cotas em cm e bitolas em mm, sem escala

Fonte: Próprio autor (2018).

A redução de 20x50 cm para 24x28 cm mostra que em sua totalidade, houve cerca de 32,8% de redução de seção, propiciando em ganho de área útil.

- Comparativos de custo

Fundamentado nos resultados obtidos do pilar em concreto armado e do pilar misto, foi elaborado um orçamento com as particularidades de cada elemento, com sua respectiva mão-de-obra (Quadro 6). Os orçamentos dos materiais foram realizados no Município de Rio Verde – Goiás. Referente a mão-de-obra, as informações foram obtidas através da tabela da SINAPI-GO, cujo valor final exibido, apenas contabiliza o preço real para execução dos elementos, sem inclusão do BDI. Para efeito de quantificação, o orçamento foi estipulado em apenas um pavimento.

O Quadro 6 é composto pelo orçamento do pilar de concreto armado com a armadura longitudinal de 25 mm e do pilar misto. Evidencia-se assim, que o custo da execução do pilar misto é superior ao do pilar em concreto armado. Tal fato justifica-se pelo orçamento ser feito apenas de um pilar. Entretanto, caso se tratasse de uma estrutura totalmente mista, tal diferença não seria tão significativa, devido a redução do peso próprio da estrutura, aliviando as fundações e possibilitando a diminuição da quantidade de pilares. Observa-se também a diminuição na porcentagem de concreto, cerca de 46,77%.

Quadro 6 – Orçamento para execução do elemento estrutural; (1) Pilar em concreto armado e (2) Pilar misto de aço e concreto

PLANILHA ORÇAMENTÁRIA - 29 de Outubro de 2018								
Ítem	Descrição de Serviços	Unid.	Qtde.	Valores Unitários (R\$)				Valor Total (R\$)
				Material	MO/ Serviços	Total Material	Total MO/ Serv.	
1	Pilar de concreto armado (3,10 m)							
1.1	Concreto usinado fck 25MPa	m³	0,31	R\$ 300,00		R\$ 93,00	R\$ -	R\$ 93,00
1.2	Aço 25.0mm CA-50	Br.	4,14	R\$ 215,00		R\$ 890,10	R\$ -	R\$ 890,10
1.3	Aço 6.3mm CA-50	Br.	1,94	R\$ 15,50		R\$ 30,07	R\$ -	R\$ 30,07
1.4	Fôrmas	m	4	R\$ 7,00		R\$ 28,00	R\$ -	R\$ 28,00
1.5	Lançamento do concreto	m³	0,31		R\$ 30,00	R\$ -	R\$ 9,30	R\$ 9,30
1.6	Armador e Servente (Mão-de-obra)	h	6		R\$ 21,60	R\$ -	R\$ 129,60	R\$ 129,60
1.8	Montagem das Fôrmas	m²	4,34		R\$ 27,69	R\$ -	R\$ 120,17	R\$ 120,17
							TOTAL	R\$ 1.300,24
2	Pilar misto (3,10 m)							
2.1	Concreto usinado fck 25MPa	m³	0,165	R\$ 300,00		R\$ 49,51	R\$ -	R\$ 49,51
2.2	Perfil tubular retangular	t	0,34	R\$ 5.950,00		R\$ 2.023,00	R\$ -	R\$ 2.023,00
2.3	Montagem do perfil metálico (Mão de Obra)	unid.	1		R\$ 240,00	R\$ -	R\$ 240,00	R\$ 240,00
2.4	Lançamento do concreto	m³	0,165		R\$ 30,00	R\$ -	R\$ 4,95	R\$ 4,95
2.5	Caminhão munck para içamento do perfil	h	1		R\$ 150,00	R\$ -	R\$ 150,00	R\$ 150,00
2.6	Primer base epóxi	unid.	1	R\$ 104,50		R\$ 104,50	R\$ -	R\$ 104,50
							TOTAL	R\$ 2.571,96

Fonte: Próprio autor (2018).

Conclusões

O estudo aqui proposto, visou verificar o custo-benefício da implantação de pilares mistos, bem como a disponibilização de um roteiro de cálculo para o dimensionamento de pilar misto com seção tubular retangular preenchida com concreto.

Apesar da superioridade de custo exposto no trabalho, cujo justificado por ser orçado apenas um pilar de 3,10 metros de altura, pode-se constatar que, a utilização de pilares mistos provoca a redução da seção transversal, acarretando em ganho de área útil; redução do peso próprio do elemento, proporcionando diminuição de carga na fundação; dispensa o uso de fôrmas, possibilitando uma obra mais limpa e otimizada; agilidade de execução, por se tratar de elementos pré-moldados e, por fim, desfrutar de mão-de-obra qualificada, provocando melhor controle de execução.

Sabe-se que conforme Nardim (1999), os pilares mistos têm um melhor comportamento em situação de incêndio e abalos sísmicos, quando comparados com os de concreto armado. Um dos estudos sugeridos é um entendimento mais abrangente do

comportamento dos pilares mistos nessas situações. Propõe-se também, o dimensionamento da edificação totalmente mista, afim de confrontar com os resultados obtidos através do presente trabalho, em especial, o custo da implantação do elemento.

Referências

ALVA, G. M. S.; EL DEBS, A. L. H. C.; GIONGO, J. S. Concreto armado: projeto de pilares de acordo com a NBR 6118:2003. Universidade de São Paulo. Disciplina SET 410 – Estruturas de Concreto Armado II – Turma 1. 2008.

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

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

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

BASTOS, P. S. S. Pilares de concreto armado. Apostila, Estruturas de Concreto II. Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual Paulista. 2015.

BRAGA, A. C. G. Estudo de pilares mistos aço-concreto com comparações entre soluções em aço e em concreto armado. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, 2006.

BRAGA, A. C. G.; FERREIRA, W. G. Pilares mistos aço-concreto e comparativo de custo com pilares de aço e pilares de concreto armado. Rem: Revista Escola de Minas [online], vol.64, n.4, pp.407-414, 2011.

CALDAS, R. B. Análise numérica de pilares mistos de aço-concreto. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, 2004.

CAMPOS, A. S. Estudo sobre os critérios de dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2006.

CANALES, A. F. Estudo do dimensionamento de pilares de aço tubulares e pilares mistos de perfis tubulares preenchidos com concreto de acordo com a ABNT NBR 16239:2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2014.

GAIGA, F. Análise da distribuição das tensões de cisalhamento na interface aço-concreto de pilares mistos parcialmente revestidos. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil e Arquitetura. Campinas – São Paulo, 2008.

GIONGO, J. S. Concreto Armado: Projeto estrutural de edifícios. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, fevereiro de 2007.

GRIFFIS, L.G. The 1994 T.R. High Lecture: Composite Frame Construction. In: National Steel Construction Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, 18 - 20maio, 1994. Proceedings. New York, AISC. v.1, p.1.1-1.72.

NARDIN, S. Estudo teórico-experimental de pilares mistos compostos por tubo de aço preenchidos com concreto de alta resistência. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, 1999.

NARDIN, S. Pilares mistos preenchidos: estudo da flexo-compressão e de ligações vigapilar. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, 2003.

NÓBREGA, A. P. M. Análise do comportamento de pilares mistos aço-concreto em situação de incêndio. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Estruturas. Belo Horizonte, Minas Gerais, 2003.

OLIVEIRA, W. L. A. Análise teórico-experimental de pilares mistos preenchidos de seção circular. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2008.

PEREIRA, M. F. Análise experimental e numérica de pilares mistos parcialmente revestidos. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

RODRIGUES, A. C. A; PEIXOTO, L. J. Estabilidade global de estruturas mistas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Goiás, 2016.

SERAFIM, J. A. Pilares mistos de aço e concreto parcialmente revestidos: comportamento isolado, inserção em galpões industriais e comparativos com pilares de sistemas estruturais usuais. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, 2013.

SILVA, P. H. L. Dimensionamento de pilares mistos de aço e concreto. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

SILVA, R. D. Estudo da aderência aço-concreto em pilares mistos preenchidos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

VALLOUREC TUBOS DO BRASIL. Tubos Estruturais Seção Circular, Quadrada e Retangular: catálogo. Belo Horizonte, Minas Gerais. 56 p. Disponível em: <<http://www.vallourec.com/COUNTRIES/BRAZIL/PT/Products-and-services/tuboindustriais/estruturais/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 03 de agosto de 2018.