

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PILARES METÁLICOS E
MISTOS AÇO-CONCRETO APLICADOS EM EDIFÍCIOS DE
MÚLTIPLOS PAVIMENTOS**
*COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN STEEL COLUMNS AND
MIXED STEEL-CONCRETE APPLIED IN MULTI-STOREY BUILDINGS*

Michelle Dias Ornelles¹
Gregório Sandro Vieira²

Resumo

O tempo de execução de uma estrutura e as características físicas dos materiais, são parâmetros que podem definir a escolha de um sistema construtivo. Nesse contexto, as estruturas metálicas vêm ganhando a espaço em muitos projetos, por possibilitar execução rápida e apresentar peças leves e com seção transversal reduzida. Entretanto, essas estruturas encontram limitações quanto a esbeltez reduzida de suas peças, que resultam em problemas de instabilidade e flambagem, e necessitam de proteção adicional contra o fogo e a corrosão. Tendo em vista as limitações das estruturas metálicas, surgiu então um novo arranjo estrutural, onde o concreto trabalha em conjunto com os perfis metálicos, com o auxílio de conectores de cisalhamento, melhorando o comportamento da estrutura de aço isolada, a essa nova configuração estrutural deu-se o nome de estruturas mistas de aço e concreto. Em vista disso, o objetivo principal do trabalho foi comparar pilares mistos de aço e concreto com pilares metálicos, usando como modelo uma edificação de 30 pavimentos, sendo feita a análise de possíveis reduções na taxa de aço com o intuito de apontar a aplicabilidade ou não destes elementos mistos. Para alcançar este objetivo, se fez uso do programa computacional STRAP® para a modelagem e análise das estruturas. Os resultados mostraram que nem todos os perfis laminados comercializados podem ser utilizados no dimensionamento de colunas mistas, de acordo com as normas brasileiras vigentes, devido a limitações geométricas, e estas influenciaram diretamente no resultado do estudo. Por fim, foi possível confirmar a redução da taxa de aço nos pilares mistos, e esta foi mais significativa em pilares sujeitos a maiores cargas axiais de compressão.

Palavras-chave: Estruturas mistas; Pilar misto de aço e concreto; Pilar metálico; Taxa de aço

(1) Acadêmica, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia

(2) Professor Doutor, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia

Abstract

The execution time of a structure and the physical characteristics of the materials are parameters that can define the choice of a constructive system. In this context, metallic structures have been gaining ground in many projects, for they allow a fast execution and light beams with reduced section. However, these structures have limitations on the reduced slenderness of their parts, which result in instability and buckling problems, and require additional protection against fire and corrosion. Considering the limitations of the metallic structures, a new structural arrangement arose, in which the concrete works together with the metallic profiles, with the help of shear connectors, improving the behavior of the isolated steel structure, this new structural configuration was named mixed structures of steel and concrete. Therefore, the main objective of this work was to compare mixed steel and concrete pillars with metal pillars, using a 30-story building as a model, and the analysis of possible reductions in the steel rate in order to indicate the applicability or not of these mixed elements. In order to reach this objective, was made use of the STRAP® computational program for the modeling and analysis of the structures. The results showed that not all commercially available rolled profiles can be used in the design of mixed columns according to current Brazilian standards due to geometric limitations, and it has a direct influence on the results of the study. Finally, it was possible to confirm the reduction of the steel rate in the mixed columns, and it was more significant in columns under higher axial loads of compression.

Keywords: Composite steel and concrete structures; Mixed steel and concrete pillar; Steel column; Steel rate.

1. INTRODUÇÃO

A escolha de um sistema estrutural passa por diversos parâmetros de projeto, que vão desde características dos materiais, até o tempo de execução da estrutura. Segundo Oliveira (2018), as estruturas metálicas têm sido cada vez mais utilizadas nas construções civis, devido a sua elevada resistência, gerando elementos estruturais com seção transversal reduzida e, portanto, mais leves quando comparadas com estruturas de outros materiais, outra vantagem atribuída a estrutura metálica é a velocidade de montagem e a utilização de peças pré-fabricadas.

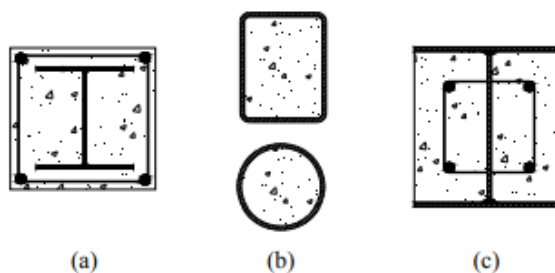
As seções reduzidas da estrutura metálica apresentam esbelteza reduzida, sendo muito suscetíveis a situações de instabilidade. Além disso, a corrosão e a baixa resistência ao fogo também são situações que devem ser criteriosamente consideradas.

Tendo em vista a necessidade de prolongar a vida das estruturas metálicas em situações de incêndio, e proteger os perfis da corrosão, propôs-se a utilização do concreto para esse fim. Entretanto, inicialmente, sua colaboração na seção resistente era ignorada. Após pesquisas científicas, comprovou-se que o concreto também garante estabilidade e rigidez ao sistema.

Com a utilização das estruturas mista, fez-se necessário confeccionar uma norma específica para auxiliar o seu dimensionamento. Em 1986 a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), incluiu o dimensionamento de vigas mistas em um de seus anexos. Atualmente, o dimensionamento dos elementos mistos de aço e concreto são feitos, no Brasil, com o auxílio da norma brasileira ABNT NBR 8800:2008, que em seus Anexos O, P, Q e R aborda o dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto, pilares mistos de aço e concreto, lajes mistas de aço e concreto e ligações mistas, respectivamente.

O Anexo P da norma ABNT NBR 8800:2008 propõe três formas de executar um pilar misto: os pilares totalmente revestidos, Figura 1 (a), onde o concreto envolve a totalidade do perfil, os pilares preenchidos, Figura 1(b), onde se faz uso de perfis com seção transversal fechada, que são preenchidos por concreto, e os pilares mistos parcialmente revestidos, Figura 1 (c), onde o concreto está presente apenas entre as mesas do perfil.

Figura 1 – Pilares mistos: (a) Totalmente revestidos; (b) Preenchidos; (c) Parcialmente revestidos



Fonte: Pereira, 2017

Para os pilares mistos total ou parcialmente revestidos a norma ABNT NBR 8800:2008 exige que esses contenham armaduras longitudinais e transversais, para combater a expansão lateral do concreto e prevenir sua desagregação, devendo essas ser dimensionadas atendendo aos requisitos da norma ABNT NBR 6118:2014. A norma ABNT NBR 8800:2008 indica ainda que a armadura longitudinal pode ou não, ser considerada na resistência e na rigidez do pilar misto. Para os pilares mistos preenchidos a norma ABNT NBR 8800:2008 não exige a utilização de armaduras.

A armadura nos pilares parcialmente revestidos, quando soldada a alma do perfil de aço, também tem a função transmitir os esforços cisalhantes do concreto para o perfil de aço e vice versa. Uma outra forma de execução dos pilares mistos parcialmente revestidos é com a utilização de conectores de cisalhamento soldados a alma do perfil, nessa configuração a seção transversal do pilar apresenta dois estribos como armadura transversal, posicionados um de cada lado da alma do perfil metálico.

A escolha de um ou outro perfil misto deve passar pelas exigências de projeto como, a necessidade de redução da utilização de formas e, se a superfície metálica pode ficar exposta ou não. Na Tabela 1 é demonstrado um comparativo com as principais características dos tipos de perfis mistos

Tabela 1 – Comparativo entre perfis mistos

Pilar Misto	Proteção ao fogo	Superfície exposta	Armadura adicional	Necessidade de formas
Totalmente revestido	Sim	Concreto	Sim	Sim
Parcialmente revestido	Parcialmente	Metálica/ Concreto	Sim	Parcialmente
Preenchido	Não	Metálica	Não	Não

Na Tabela 1, pode ser observado alguns aspectos como, apesar de os pilares totalmente revestidos apresentarem proteção ao fogo, por ter a superfície exposta de concreto, ele necessita de armaduras adicionais e formas. O pilar misto preenchido, por outro lado, não necessita de armaduras adicionais e nem de formas, porém apresenta baixa resistência ao fogo.

O propósito da combinação aço-concreto é unir a resistência do concreto à compressão, o menor peso dos materiais em aço e sua capacidade de vencer vãos maiores, em estruturas apertadas, além de oferecer vantagens como rapidez na execução e economia de recursos (ALVA, 2005).

De acordo com Pereira (2014), a rigidez e a resistência do concreto contribuem para que o comportamento à compressão dos perfis metálicos, em situações de instabilidade local e global, seja melhorado, quando comparado com o perfil metálico isolado. Ao mesmo tempo em que, na região de concreto comprimido o seu comportamento passa a ser mais dúctil, quando comparado com o pilar de concreto armado.

A associação destes materiais resulta na redução no consumo de materiais e, conseqüentemente, na redução das dimensões dos elementos e maior área livre por pavimento. As estruturas mistas de aço e concreto possuem, também, vantagem quando se observa requisitos como racionalização e rapidez na construção, pois seus elementos, de maneira geral, podem ser pré-fabricados industrialmente, sendo necessário apenas içar e montar a estrutura no canteiro de obras (PEREIRA,2017).

De Nardin et al. (2010) afirma que o emprego de elementos mistos de aço e concreto contribui para industrializar e modernizar a Construção Civil, além de reduzir ou dispensar formas e escoramentos, diminuir custos com materiais e mão-de-obra, reduzir o peso próprio da estrutura e ainda reduzir o consumo de aço estrutural.

Lima (2017), em seu trabalho de conclusão de curso, já apresentou um comparativo entre pilares metálicos e mistos de aço e concreto empregados em uma edificação de 10 pavimentos, em que a estrutura metálica apresentou maior redução da taxa de aço. Em sua conclusão Lima (2017) sugere que fosse feito um novo estudo com o mesmo comparativo, porém com pilares empregados em edifícios de maior porte.

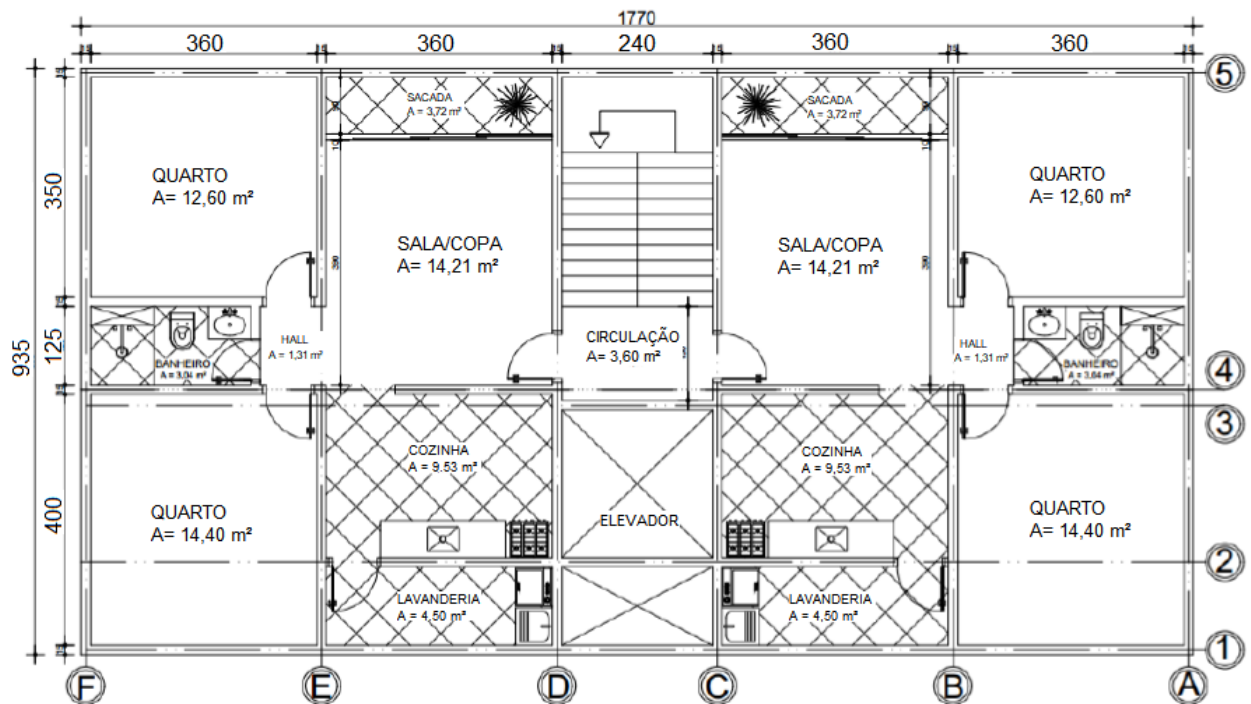
1.1 Objetivo

O presente trabalho trata da comparação de pilares mistos de aço e concreto com pilares metálicos, dimensionados para um edifício residencial de 30 pavimentos, com o intuito de analisar possíveis reduções na taxa de aço e apontar se há aplicabilidade, ou não, dos pilares mistos.

2. METODOLOGIA

O modelo adotado trata de uma edificação residencial de 30 pavimentos, com planta baixa didática contendo apenas dois apartamentos por andar, porém com dimensões internas dos ambiente correspondentes com as empregadas atualmente em empreendimentos residenciais verticais. A Figura 2 mostra a planta baixa do modelo adotado.

Figura 2 – Planta baixa do modelo adotado



Fonte: Autora, 2019

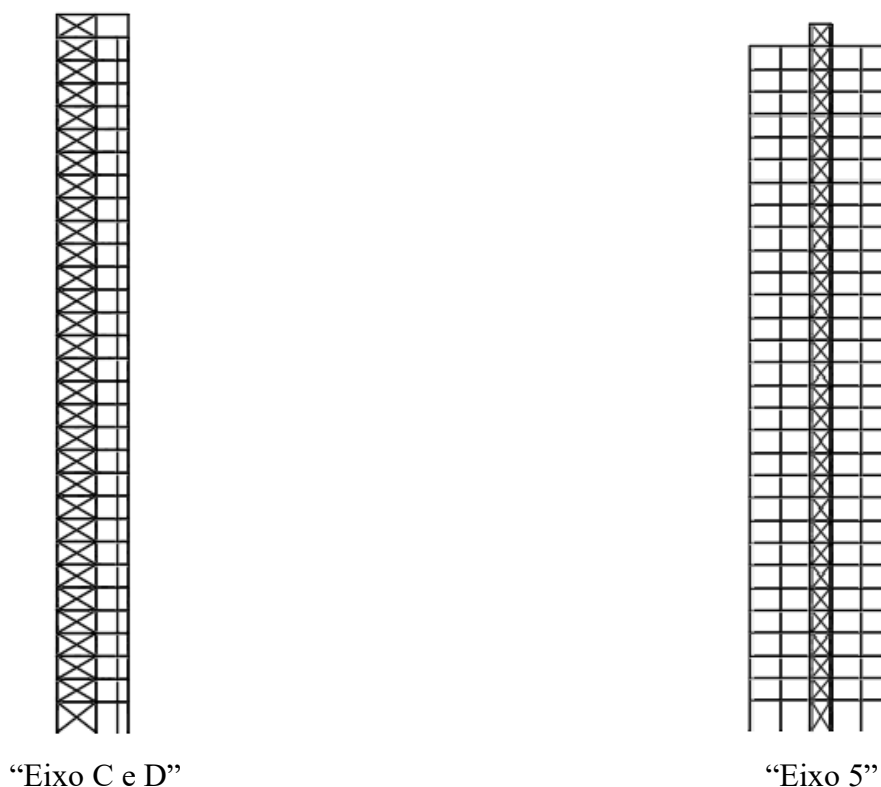
O edifício apresenta 58 unidades habitacionais, distribuídas em 29 pavimentos tipo, além de pilotis, reservatório superior e casa de máquinas. Cada pavimento do edifício conta com 165,50 m² de área total, e cada unidade residencial com 71,53 m². O pilotis e o estacionamento possuem um pé direito de 4 metros, os demais pavimentos possuem pé direito de 3 metros.

A resistência característica do concreto (f_{ck}) empregado em todos os modelos foi de 30 MPa (vigas e pilares mistos). Todas as lajes são maciças de concreto-armado. As vinculações entre pilar/viga e viga/viga foram rotuladas, exceto nos casos em que tais ligações gerassem hipostaticidade. As vigas foram dimensionadas como vigas mistas. A ligação entre os apoios dos pilares e a barras de ancoragem foram engastes. Os perfis de aço utilizado foram do grupo laminado das séries “W” e “HP”, e quando esses não se mostraram suficientemente resistentes

as cargas aplicadas, utilizou-se de perfis formados por chapas de aço soldadas. Em todos os casos se fez uso de aço ASTM 572 Gr.50, em que o limite de escoamento é de 345 MPa e a resistência à ruptura de 450 MPa.

A estrutura foi contraventada (Figura 3), nos eixos “C”, “D” e “5”, para limitar a deformação na direção horizontal, por meio de contraventamento metálico, com seções compostas por perfis U enrijecidos, e paredes de concreto, formando um núcleo indeslocável.

Figura 3 – Eixos contraventados.



Fonte: Autora, 2019

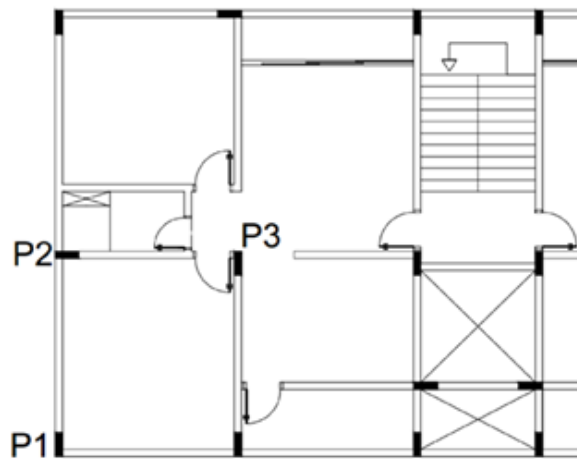
A largura efetiva da mesa de concreto em todas as vigas mistas foi calculada de acordo com os critérios da ABNT NBR 8800:2008. Não houve detalhamento da quantidade e resistência dos conectores de cisalhamento. Foi considerada a interação total entre as vigas metálicas e as lajes de concreto.

O edifício foi submetido a ações permanentes como peso próprio dos elementos estruturais, das lajes, das paredes do reservatório, alvenaria de fechamento e da divisão interna e variáveis considerando as ações do vento para uma edificação localizada na cidade de Uberlândia – MG, com velocidade básica do vento igual a 34 m/s, e sobrecarga de utilização

conforme a ABNT NBR 6120: 1980. O dimensionamento foi feito de acordo com os critérios estabelecidos na norma ABNT NBR 8800:2008.

Para análise de resultados foram escolhidos três pilares, sendo eles: um pilar de canto (P1); um pilar de extremidade (P2); e um pilar intermediário (P3) que representam, de modo geral, toda a estrutura. A Figura 4 mostra o posicionamento dos pilares analisados.

Figura 4 – Posição dos pilares analisados.



Fonte: Autora, 2019

O estudo foi dividido em dois modelos: o modelo I, com pilares metálicos e vigas mistas e o modelo II considerando pilares mistos e vigas mistas. Para este modelo foram considerados pilares mistos totalmente revestidos e com aderência completa entre os elementos.

Foram considerados, para ambos os modelos, o aproveitamento máximo do comprimento das barras de perfil de aço, de modo que a troca de perfil, para o dimensionamento, foi feita a cada 12 metros, contados do topo para a base do edifício. Essa escolha simulou a otimização da utilização das formas para a concretagem dos pilares mistos, de maneira que fossem utilizadas em pelo menos quatro pavimentos.

O dimensionamento de ambas as estruturas, foi feito com o auxílio do programa computacional israelense STRAP®, na versão de 2009.

O dimensionamento dos pilares misto pelo programa computacional STRAP®, apresentou algumas falhas, em seu processamento interno o programa considera os efeitos da flexão atuando apenas no perfil de aço, aplicando os efeitos da compressão no perfil de aço e na seção de concreto, de modo que os pilares mistos ficariam superdimensionados. Por esse motivo estes pilares necessitaram ser recalculados através de uma planilha de cálculo, contemplando o as exigências do modelo de cálculo II presente na norma ABNT NBR 8800:2008.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos para o modelo I: pilar metálico, estão descritos na Tabela 2, a qual mostra os perfis dimensionados para os pilares analisados, separados por pavimento e a porcentagem de utilização da peça, que a razão entre os esforços solicitantes e os resistentes da seção estrutural.

Tabela 2 – Dimensionamento Modelo I pilares P1e P2

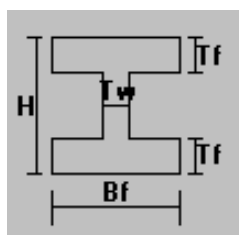
Pavimento	P1 - Canto		P2 - Extremidade		P3 - Intermediário	
	Perfil Escolhido	Uso (%)	Perfil Escolhido	Uso (%)	Perfil Escolhido	Uso (%)
Pilotis	HP 310X125	102	SE 4	103	SE 1	98
1°	HP 310X125	82	SE 4	84	SE 1	88
2°	W 250X89,0	97	SE 3	77	W 610X155	88
3°	W 250X89,0	91	SE 3	70	W 610X155	83
4°	W 250X89,0	86	SE 3	68	W 610X155	80
5°	W 250X89,0	83	SE 3	65	W 610X155	78
6°	W 250X73,0	97	SE 2	86	W 310X117	99
7°	W 250X73,0	93	SE 2	82	W 310X117	95
8°	W 250X73,0	89	SE 2	78	W 310X117	90
9°	W 250X73,0	85	SE 2	75	W 310X117	87
10°	HP 250X62,0	95	W 610X155	99	W 310X97,0	99
11°	HP 250X62,0	90	W 610X155	94	W 310X97,0	94
12°	HP 250X62,0	85	W 610X155	89	W 310X97,0	89
13°	HP 250X62,0	80	W 610X155	84	W 310X97,0	84
14°	W 200X52,0	94	HP 310X125	98	HP 310X79,0	98
15°	W 200X52,0	88	HP 310X125	93	HP 310X79,0	92
16°	W 200X52,0	82	HP 310X125	86	HP 310X79,0	85
17°	W 200X52,0	75	HP 310X125	79	HP 310X79,0	80
18°	W 200X41,7	96	HP 310X93,0	97	HP 250X62,0	94
19°	W 200X41,7	88	HP 310X93,0	88	HP 250X62,0	86
20°	W 200X41,7	79	HP 310X93,0	79	HP 250X62,0	78
21°	W 200X41,7	70	HP 310X93,0	71	HP 250X62,0	69
22°	W 150X29,8	90	HP 250X62,0	96	W 310X44,7	100
23°	W 150X29,8	77	HP 250X62,0	83	W 310X44,7	85

24°	W 150X29,8	64	HP 250X62,0	69	W 310X44,7	71
25°	W 150X29,8	52	HP 250X62,0	56	W 310X44,7	58
26°	W 150X22,5	54	W 200X35,9	84	W 150X22,5	92
27°	W 150X22,5	41	W 200X35,9	57	W 150X22,5	63
28°	W 150X22,5	41	W 200X35,9	36	W 150X22,5	41
29°	W 150X22,5	34	W 200X35,9	30	W 150X22,5	34

O pilar P1 apresentou peso total do aço de 4.339 kg, já o pilar P2 teve como peso total do aço 8.573 kg e, o pilar P3 apresentou 14.995 kg de peso total do aço. O modelo I como todo apresentou 193.234 kg de aço, sendo que 122.199 kg o peso total do aço empregado nos pilares. O peso total por coluna representa o peso total dos elementos, que se somam as reações, e solicitam as fundações.

Foram necessários dimensionar 104 metros com perfis especiais, diferente dos perfis laminados comercialmente vendidos, esses perfis foram mencionados nas Tabelas 2 com a sigla SE seguida de um número cardinal, de 1 a 4. Esses perfis foram formados por chapas de aço soldadas de forma a obter um perfil em formato de “H”. A Tabela 3 traz as dimensões definidas para os perfis especiais e a Figura 5 traz a nomenclatura adotada pelo programa para as seções especiais

Figura 5 – Dados de entrada para seções especiais



Fonte: STRAP®, 2019

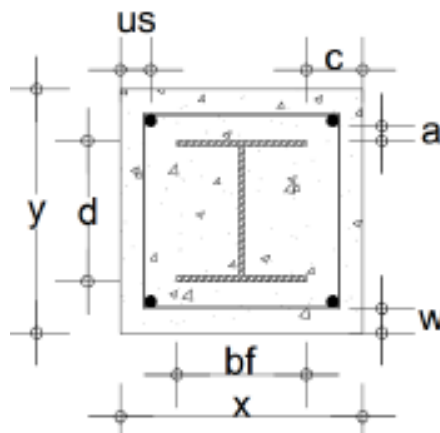
Tabela 3 – Perfis especiais.

Seção	H(mm)	Bf(mm)	Tf (mm)	Tw(mm)	Massa linear (kg/m)
SE1	700	700	14,29	14,29	232
SE2	700	700	15,88	15,88	260
SE3	700	700	19,05	19,05	308
SE4	700	700	22,23	22,23	359

Para o dimensionamento do modelo II, considerando pilares totalmente revestidos, se fez necessário retirar alguns perfis de aço comercializados, pois nem todos atendiam as exigências dos padrões geométricos, da ABNT NBR 6118:2014 e da ABNT NBR 8800:2008, simplificados na Equação 1 e na Figura 6.

$$c_x \text{ e } c_y \geq a + \varnothing_l + \varnothing_t + w \geq 40\text{mm} \quad \text{Equação 1}$$

Figura 6: Seção transversal pilar misto



Sendo que:

c: cobertura nominal, de acordo com a ABNT 8800:2008;

a: distância entre extremidade interna da armadura longitudinal e a face do perfil de aço;

w: distância entre extremidade externa da armadura de estribo e face de concreto;

\varnothing_l = diâmetro da armadura longitudinal, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014;

\varnothing_t = diâmetro da armadura transversal, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014.

Desta forma foram excluídos da lista de perfis utilizáveis para colunas mista 26 perfis de aço, o que representa cerca de 30% do total de perfis laminados comercializados. Foram considerados pilares totalmente revestidos e aderência total entre os elementos

Foi adotado armadura mínima para as colunas, com o intuito de variar ao máximo a taxa de aço do perfil. Foi considerado também, como distância entre o perfil de aço e a armadura, o espaçamento vertical descrito na ABNT NBR 6118:2014, esta decisão foi tomada devido à falta dessa informação na norma ABNT NBR 8800:2008. O volume de concreto utilizado para as três colunas analisadas foi de, aproximadamente 30 m³ e 716,35 kg de barras de aço CA-50. As Tabela 4 trazem os perfis dimensionados para o modelo II e a porcentagem de utilização do elemento, calculado da mesma forma do modelo I.

Tabela 4 – Dimensionamento do modelo II, pilares P1 e P2.

Pavimento	P1 - Canto		P2 - Extremidade		P3 - Intermediário	
	Perfil Escolhido	Uso (%)	Perfil Escolhido	Uso (%)	Perfil Escolhido	Uso (%)
Pilotis	W 200X59,0	101	W 610X155,0	77	HP 310X79,0	88
1°	W 200X59,0	80	W 610X155,0	68	HP 310X79,0	76
2°	W 310X38,7	94	W 610X101,0	99	HP 250X62,0	95
3°	W 310X38,7	91	W 610X101,0	95	HP 250X62,0	91
4°	W 310X38,7	87	W 610X101,0	91	HP 250X62,0	88
5°	W 310X38,7	84	W 610X101,0	88	HP 250X62,0	84
6°	W 200X35,9	96	HP 310X79,0	99	W 410X53,0	95
7°	W 200X35,9	92	HP 310X79,0	95	W 410X53,0	91
8°	W 200X35,9	87	HP 310X79,0	91	W 410X53,0	87
9°	W 200X35,9	83	HP 310X79,0	86	W 410X53,0	82
10°	W 200X35,9	79	W 530X72,0	91	W 310X44,5	97
11°	W 200X35,9	75	W 530X72,0	86	W 310X44,5	92
12°	W 200X35,9	71	W 530X72,0	81	W 310X44,5	87
13°	W 200X35,9	67	W 530X72,0	76	W 310X44,5	82
14°	W 200X35,9	63	W 410X53,0	100	W 200X35,9	97
15°	W 200X35,9	59	W 410X53,0	94	W 200X35,9	91
16°	W 200X35,9	54	W 410X53,0	87	W 200X35,9	85
17°	W 200X35,9	50	W 410X53,0	80	W 200X35,9	78
18°	W 200X35,9	46	W 310X38,7	97	W 200X35,9	72
19°	W 200X35,9	42	W 310X38,7	88	W 200X35,9	65
20°	W 200X35,9	38	W 310X38,7	79	W 200X35,9	59
21°	W 200X35,9	38	W 310X38,7	70	W 200X35,9	52
22°	W 200X35,9	38	W 200X35,9	74	W 200X35,9	46
23°	W 200X35,9	38	W 200X35,9	63	W 200X35,9	40
24°	W 200X35,9	38	W 200X35,9	53	W 200X35,9	38
25°	W 200X35,9	38	W 200X35,9	42	W 200X35,9	38
26°	W 200X35,9	38	W 200X35,9	38	W 200X35,9	38
27°	W 200X35,9	38	W 200X35,9	38	W 200X35,9	38
28°	W 200X35,9	38	W 200X35,9	38	W 200X35,9	38
29°	W 200X35,9	32	W 200X35,9	32	W 200X35,9	32

A coluna P1 apresentou peso total de aço de 3.469 kg, já a coluna P2 teve como peso total do aço 4.204 kg, e o pilar P3 apresentou 6.094 kg de peso total do aço. O modelo II como todo apresentou 136.655 kg de aço, sendo que 77.604 kg representam apenas o peso total do aço empregado nos pilares.

Na Tabela 7 é feito o comparativo entre os modelos I e II, com a porcentagem de redução por trecho dos três pilares analisados.

Tabela 7 – Redução da taxa de aço do modelo I para o modelo II

Pavimento	Redução da taxa de aço		
	P1	P2	P3
Pilotis/1º Pavimento	53%	66%	57%
2º/3º/4º/5º Pavimento	57%	60%	67%
6º/7º/8º/9º Pavimento	51%	55%	70%
10º/11º/12º/13º Pavimento	42%	54%	54%
14º/15º/16º/17º Pavimento	31%	55%	58%
18º/19º/20º/21º Pavimento	14%	42%	58%
22º/23º/24º/25º Pavimento	-18%	20%	42%
26º/27º/28º/29º Pavimento	-37%	-37%	0%
Total de aço	20%	51%	59%

É possível observar, que em todos os pilares analisados houve reduções significativas na taxa de aço, porém os últimos pavimentos ou apresentaram aumento da taxa de aço, identificado com o sinal negativo, ou se utilizou o mesmo perfil. Isso é consequência do redução da quantidade de perfis laminados disponíveis para o dimensionamento dos pilares mistos totalmente revestidos.

Pode-se observar também, que as maiores reduções das taxas de aço, ocorreram nas colunas onde havia as maiores cargas de compressão e menores momentos de flexão. Isto pode ser afirmado devido a classificação dos pilares em intermediário, de extremidade e de canto, onde a coluna P3 apresenta a maior carga axial de compressão e a coluna P1 o maior momento fletor.

Quantitativamente, o modelo I apresentou massa total, para os pilares analisados, de 27.908 kg e o modelo II de 15.234 kg, onde são somadas a massa total de aço, concreto e armaduras que individualmente pesam 13.768 kg, 750 kg e 716 kg, respectivamente. Portanto, em uma análise quantitativa, o modelo misto, apresentou em relação ao modelo metálico, uma

redução de aproximadamente 45% na massa total dos pilares analisados. É importante ressaltar que os pilares escolhidos para esta análise foram os pilares intermediário, de canto e de extremidade com maiores solicitações, o que comprova a redução de massa global do edifício em estrutura mista quando comparado com o edifício de estrutura metálica.

4 CONCLUSÃO

O objetivo do estudo foi comparar os elementos estruturais verticais para o dimensionamento de um edifício metálico e outro misto de aço e concreto, com o auxílio do programa computacional STRAP®. Apesar de o programa computacional apresentar um superdimensionamento para os elementos mistos, foi possível comprovar a redução da taxa de aço e da carga global transmitida para as fundações, através de uma planilha de cálculo feita com base no modelo de cálculo II, sendo este o mais exigente dentre os apresentados pela norma ABNT NBR 8800:2008.

Para o dimensionamento do modelo I, se fez necessário confeccionar perfis diferentes dos comumente comercializados. Estes perfis, formados por chapas de aço soldadas, além de apresentar massa linear superior ainda tem maior custo, quando comparado com os perfis laminados da série “W” e “HP”.

O modelo II, apresentou uma baixa utilização das peças empregadas nos trechos menos carregados, devido ao alto percentual de perfis leves excluídos. A consequência dessa limitação, foi o aumento da taxa de aço nos pilares dos últimos pavimentos. Dessa forma pode se afirmar que, quando se tem como objetivo a redução da taxa de aço, há desvantagem da utilização de pilares mistos para estruturas pouco carregadas, limitando a sua utilização a edifícios de maior porte.

Na comparação entre os modelos I e II, pode-se comprovar efetiva redução da taxa de aço no modelo misto, não só pontualmente, mas também de forma global, podendo chegar a 70% em alguns trechos e a 45% de redução da taxa de aço total da estrutura. Apesar do acréscimo de armaduras e do volume de concreto, a estrutura mista se mostrou mais econômica do ponto de vista do dimensionamento das fundações, pois esta apresenta menor peso total. A estrutura mista também apresenta vantagens com relação a não necessidade da compra de perfis especiais, que em geral oneram os custos de uma edificação.

Os trechos da estrutura mista que apresentaram menores cargas e baixa taxa de utilização das peças, poderiam ter sua utilização otimizada se pensássemos, para esses trechos, no emprego de perfis metálicos isoladamente, pois desta forma, todos os perfis laminados comercializados poderiam ser utilizados e o peso total da estrutura seria ainda menor.

REFERENCIAS

ALVA, G. M. S. Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto, *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos, v. 7, n. 25, p. 51-84, 2005. Disponível em: < http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/nova_versao/pdf/cee25_51 >. Acesso em: 10 jun. 2019

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 6118: Concreto - Projeto de estruturas de concreto - procedimento. *Rio de Janeiro*, p. 1-238, 2014.

_____. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço concreto de edifícios. *Rio de Janeiro*, p. 1-237, 2008.

DE NARDIN, S. et al. Viabilidade da utilização de pilares mistos parcialmente revestidos em edifícios de múltiplos pavimentos: estudo de caso– Contribuição técnica nº 8, *Construmetal* 2010. Disponível em: < <https://www.abcem.org.br/construmetal/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/ct08.pdf> >. Acesso em: 07 jan. 2019

LIMA, P. V. C. Análise comparativa entre pilar misto aço-concreto e metálico através de programa comercial. 2017, 69 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/14126>>. Acesso em: 15 fev. 2019

OLIVEIRA, L. C. Estudo Comparativo entre Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto Aplicadas a Edifícios de Múltiplos Andares. 2018. 155f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Bacharelado em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018. Disponível em: < <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9805> >. Acesso em: 05 mar. 2019

PEREIRA, M. F. Análise experimental e numérica de pilares mistos de aço e concreto. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-20032014-090621/pt-br.php>>. Acesso em: 15 jun. 2019

PEREIRA, M. F. Comportamento estrutural de pilares mistos parcialmente revestidos submetidos a flexo-compressão. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Pulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-22062017-104032/pt-br.php>>. Acesso em: 17 jun. 2019.