

DIMENSIONAMENTO E ANÁLISE COMPARATIVA DE FLEXIBILIDADE ENTRE PILARES MISTOS, DE AÇO E DE CONCRETO ARMADO

Denise Alves Leal¹

Maria de Lourdes Teixeira Moreira²

INTRODUÇÃO

Pilares são elementos que possuem duas dimensões de ordem de grandeza semelhante, sendo ambas muito inferiores à terceira dimensão, podendo ser conhecidos como barras ou estruturas lineares, tendo como esforço solicitante principal a força normal de compressão (BASTOS, 2006).

A resistência de materiais como o concreto armado e o aço para este tipo de função é inegável, embora tragam consigo diversas desvantagens inerentes aos elementos que os compõem. Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2007), o concreto, apesar de conferir à peça estrutural resistência à compressão, facilidade de moldagem, resistência às influências atmosféricas, ao desgaste mecânico e ao fogo, é responsável pelo elevado peso específico da estrutura. O aço, por outro lado, embora forneça alto índice de resistência, ductilidade, isotropia e rapidez na execução da estrutura, possui grande necessidade de tratamento superficial contra oxidação e de mão de obra e equipamentos especializados (PFEIL; PFEIL, 2008).

Opções alternativas à utilização individual destes dois materiais vêm gradativamente ganhando espaço no Brasil e têm sido pesquisadas com o intuito de sugerir propostas eficientes e racionais de utilização de pilares mistos aço-concreto tendo em vista a otimização do uso destes dois materiais (aço e concreto) e a minimização das desvantagens presentes nas suas aplicações individuais.

A utilização de elementos mistos na composição de sistemas estruturais apresenta considerável eficiência estrutural e econômica se forem adotadas metodologias adequadas ao seu processo construtivo. Se comparados com pilares em concreto armado, os pilares mistos, além de possuírem maior resistência à abrasão, apresentam configuração mais esbelta e, por consequência, são mais leves, o que possibilita a execução de fundações menos robustas e mais econômicas. Estudos também apontam para aumento da rigidez geral da estrutura, maior resistência em situações de incêndio, boa proteção contra corrosão e redução considerável do aço estrutural caso seja utilizado o método construtivo de pilares mistos em detrimento dos pilares de perfis de aço tradicionais (BRAGA; FERREIRA, 2011).

Tendo em vista as vantagens garantidas pelos pilares mistos, este trabalho teve como principal objetivo a análise do comportamento estrutural de três pilares (P19, P25 e P44) confeccionados com os materiais acima mencionados submetidos à flexão normal, flexão oblíqua com momento máximo no eixo x e flexão oblíqua com momento máximo no eixo y de modo a verificar a resistência da seção e a estabilidade dos pilares. Os carregamentos dos elementos estruturais foram obtidos para uma situação real de pilares localizados no subsolo de um prédio residencial de 23 pavimentos.

¹ Graduada do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Piauí. Email: denisealvesleal1@gmail.com

² Engenharia Civil. Doutora em Estruturas. Professora da Graduação da Universidade Federal do Piauí. Teresina, Piauí, Brasil. Email: mmoreira@ufpi.edu.br

METODOLOGIA

Com o intuito de analisar pilares econômicos, estes foram dimensionados de modo a selecionar as menores seções possíveis capazes de resistir satisfatoriamente aos esforços aplicados (Tabela 1). O dimensionamento de cada tipo de pilar baseou-se em normas brasileiras específicas para cada caso.

Tabela 1: Informações sobre os pilares existentes em projeto original

Pilar	Comprimento (cm)	Dimensão em x (cm)	Dimensão em y (cm)	Mx (kN.cm)	My (kN.cm)	N (kN)
P19	466	50	30	0	8200	2192
P25	466	140	30	-2300	100500	7468
P44	466	30	120	84800	2100	5871

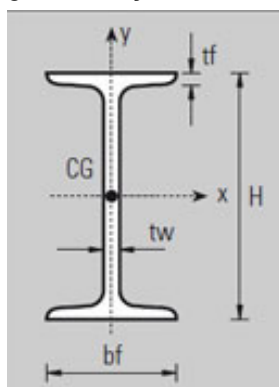
Fonte: Elaborada pelo autor

Os pilares de concreto armado, de formato retangular, tiveram suas dimensões pré-estabelecidas baseadas em projeto de edificação existente e sua armação calculada para tal situação. Para este tipo de pilar foi considerado momento uniforme ao longo de todo o seu comprimento. O dimensionamento se baseou na NBR 6118 (ABNT, 2014), em que foram analisados, entre outros fatores, o momento de cálculo total e a esbeltez da estrutura para que fossem comparados com valores mínimos aceitáveis.

A escolha dos pilares de aço baseou-se na utilização da seção de menor área capaz de resistir à compressão e flexão bem como na análise da capacidade da seção, que combina os dois efeitos simultaneamente. Além disto, considerou-se para o cálculo dos pilares de aço o efeito de flambagem pelo fato de serem elementos bem mais esbeltos que os de concreto e admitiu-se extremidades completamente engastadas, de modo a fornecer comprimento equivalente a metade do valor original. Os cálculos aplicados seguiram metodologia prescrita pela NBR 8800 (ABNT, 2008) e os perfis escolhidos foram obtidos em tabelas da empresa Tata Steel, por oferecerem perfis mais robustos capazes de resistir de forma independente às solicitações (Figura 1).

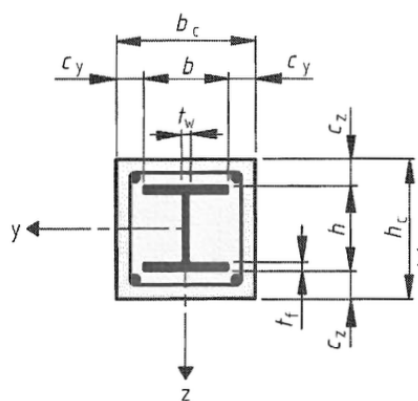
Os pilares mistos tiveram seu dimensionamento respaldado pelo anexo P da NBR 8800 (ABNT, 2008) considerando-os do tipo revestido (Figura 2), já que este proporciona melhor proteção da armadura quanto à corrosão e requer menos manutenção da estrutura. Para seu dimensionamento foi considerada uma rigidez efetiva equivalente ao trabalho simultâneo da armação de aço, do perfil metálico e do concreto armado. Os valores obtidos foram, então, utilizados para a análise da seção quanto ao esforço normal e momento fletor.

Figura 1: Seção metálica I



Fonte: Portal Metalica (2016)

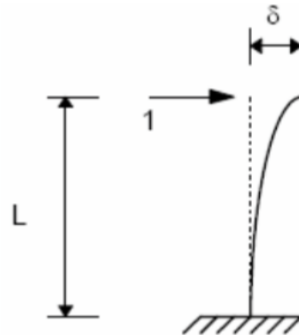
Figura 2: Seção típica de pilar misto revestido



Fonte: Eurocode 4 (2004, p. 64)

Todos os exemplares foram avaliados quanto à flexibilidade de forma simplificada (Figura 3), em que uma força unitária horizontal atuante no topo dos pilares foi aplicada com o intuito de medir os deslocamentos sofridos, levando em consideração a rigidez efetiva de cada um.

Figura 3: Modelo simplificado de análise de flexibilidade e rigidez de um pilar



Fonte: Faculdades Kennedy (2013)

RESULTADOS

Para todos os pilares buscaram-se aproximações adequadas entre as solicitações e as resistências dos pilares de modo a obter uma comparação mais fiel entre cada material. As seções escolhidas encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2: Especificações das dimensões dos pilares

Pilar	Concreto armado	Aço	Misto
P19	50x30	254x254 167	30x30 e W 200x53
P25	140x30	356x406 634	75x45 e W 610x155
P44	30x120	356x406 467	75x45 e W 610x125

Fonte: Elaborada pelo autor

Os pilares de concreto armado são dimensionados e armados para situações específicas e, diferentemente dos demais pilares, possuíram aproximação bastante significativa entre os valores obtidos e os desejados, variando de 0,33% a 14% de imprecisão.

O trabalho realizado para o dimensionamento dos pilares de aço e mistos difere dos de concreto armado por envolverem um processo de verificação e adequação de um perfil pré-determinado e, por isso, se distanciam um pouco mais dos resultados obtidos. Pode-se observar pela Tabela 3 que, em pelo menos um dos critérios (resistência da seção ou à flambagem), os pilares obtiveram considerável aproximações com os valores limites de segurança reafirmando a intenção de uso das menores seções possíveis que cumprissem seu papel no cenário em questão. O uso de seções menores não foi possível porque, apesar de satisfazer os critérios de flambagem, eram insuficientes para a resistência da seção.

Tabela 3: Comparação de resistências dos pilares de aço

Pilar	Resistência da seção (%)	Flambagem (%)
P19	62,0	24,5
P25	69,9	36,0
P44	78,7	43,0

Fonte: Elaborada pelo autor

Partindo do mesmo princípio de economia de material através da utilização das menores seções possíveis para os pilares mistos, observa-se na Tabela 4 que os perfis foram otimizados e resistiram de forma satisfatória às solicitações de projeto.

Tabela 4: Comparação de resistências dos pilares mistos

Pilar	Resistência normal (%)	Resistência momento em x (%)	Resistência ao momento em y (%)
P19	79,6	Não solicitado	53,2
P25	85,7	4,9	78,0
P44	79,0	80,2	6,4

Fonte: Elaborada pelo autor

Finalmente, levando-se em consideração o deslocamento causado pela força unitária no topo dos pilares, observam-se nas Tabelas 5 e 6 as seguintes porcentagens com relação aos pilares mistos:

Tabela 5: Comparação dos deslocamentos dos pilares de concreto e mistos

Pilar	Concreto (cm)	Misto (cm)	% Aumento
P19	0,115	0,384	233,91
P25	0,041	0,056	36,59
P44	0,003	0,011	266,67

Fonte: Elaborada pelo autor

Tabela 6: Comparação dos deslocamentos dos pilares de aço e mistos

Pilar	Aço (cm)	Misto (cm)	% Aumento
P19	0,171	0,384	124,56
P25	0,017	0,056	229,41
P44	0,009	0,011	22,22

Fonte: Elaborada pelo autor

Para os esforços analisados, os pilares de concreto e de aço se mostraram bastante robustos apresentando pesos consideravelmente superiores aos pilares mistos. As seções mais avantajadas dos pilares de concreto em comparação com os mistos justificam o grande deslocamento destes com relação àqueles.

É válido notar que os pilares de aço não sofreram tanto deslocamento quanto os mistos em virtude de sua elevada rigidez proveniente do elevado momento de inércia para que cada pilar suportasse principalmente a compressão axial. Em todos os cálculos de pilares de aço, houve necessidade de aumento das seções (apesar de satisfeita a checagem dos momentos fletores) de modo a suportarem os esforços normais de compressão, o que reduziu substancialmente seu deslocamento unitário. A proposta do trabalho de utilizar um só pilar para uma mesma carga impossibilitou a redistribuição da carga em mais elementos de modo a exigir seções menores e mais econômicas pois dificultaria a visibilidade e a comparação dos resultados.

As Tabelas 5 e 6 ilustram a notável diferença entre os deslocamentos teóricos sofridos pelos pilares mistos em comparação com os pilares de concreto e de aço. Seria necessária, no entanto, uma avaliação mais criteriosa que levasse em consideração a estrutura como um todo e o seu comportamento com relação às cargas reais aplicadas e outras ações como vento, acomodação da estrutura, recalque do solo.

Os pilares mistos não apresentaram significativa rigidez em comparação com os demais exemplares, pois exigiram menores perfis em combinação com o concreto armado para apresentarem resultados satisfatórios. Seriam obtidos deslocamentos menores para os pilares mistos em comparação com os de aço se fossem utilizados perfis maiores e ainda assim certamente representariam menores custos, porém não seria a opção mais econômica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise dos resultados, conclui-se que os pilares mistos representam uma opção bastante satisfatória no que diz respeito à resistência à compressão, momentos fletores, capacidade da seção e esbeltez. Os pilares mistos se sobressaem aos pilares de concreto armado por possuírem seções reduzidas que, além de diminuir seu peso próprio, conferem uma economia de espaço. Ao mesmo tempo, os pilares mistos revestidos dispensam a necessidade de tratamento superficial do perfil metálico.

Não obstante, os estudos realçaram a instabilidade representada pelos pilares mistos em comparação com os demais. Faz-se necessário o aprofundamento de pesquisas no tocante à estabilidade da estrutura para garantir sua real viabilidade.

REFERÊNCIAS

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 e execução de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

BASTOS, P.S.S. **Histórico e principais elementos estruturais de concreto armado**. 2006. 16 f. Notas de aula – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru. 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**. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 64, n. 4, p. 407-414, 2011.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. São Carlos: EdUSCar, 2007. 368 p.

FACULDADES KENNEDY. Rigidez de pilares sujeitos a um esforço horizontal aplicado na extremidade superior. Disponível em: <<https://jpd09.files.wordpress.com/2013/05/rigidez-apoios.pdf>> Acessado em: 15/08/2016

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 8 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 382 p.

PORTAL METALICA. **Perfil I laminado**. Disponível em: <<http://wwwo.metalica.com.br/tabelas/perfil-i-laminado>> Acessado em: 18/08/2016