

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS ENTRE PILARES MISTOS, DE AÇO E DE CONCRETO ARMADO

Denise Alves Leal¹

Maria de Lourdes Teixeira Moreira²

INTRODUÇÃO

Segundo a NBR 6118 (2014), pilares são elementos de eixo reto, normalmente dispostos na vertical, em que as forças normais de compressão são preponderantes. A maior funcionalidade em resistir a esforços de compressão e os custos relativamente baixos fizeram do concreto armado o principal material utilizado nas estruturas no Brasil. No entanto, inconvenientes como elevado peso específico, heterogeneidade e presença de fissuras limitam substancialmente sua utilização (CARVALHO; FIGUEIREDO FILHO, 2007). Em segunda posição, no que se refere à utilização, encontra-se o aço que, a despeito de seu alto custo, de sua necessidade de mão-de-obra e equipamentos especializados, possui vantagens significativas como alto índice de resistência, ductilidade, isotropia e rapidez de execução (PFEIL; PFEIL, 2009). Os pilares mistos surgem neste cenário como uma alternativa à utilização isolada destes dois tipos de pilar, com o intuito de aliar os aspectos positivos de cada técnica e minimizar as desvantagens presentes nas suas aplicações individuais.

A utilização de estruturas mistas ainda é considerada uma prática pouco comum no Brasil apesar de sua grande funcionalidade, enquanto nos Estados Unidos e em vários países da Europa e Ásia diversas pesquisas têm sido realizadas para a elaboração de normas relacionadas a este tema.

Elementos mistos representam considerável eficiência estrutural e econômica se forem adotadas metodologias adequadas ao seu processo construtivo. Se comparados com pilares em concreto armado, os pilares mistos apresentam configuração mais esbelta e, por consequência, são mais leves, o que possibilita a execução de fundações menos robustas e mais econômicas, sem contar que ocupam menos espaço interno. Além disso, elementos mistos são mais dúcteis, podem ser utilizados como escoramento na fase construtiva, são mais precisos devido à grande aproximação entre os cálculos teóricos e a prática em virtude da homogeneidade do aço e possuem maior resistência à abrasão. Um traçado comparativo aponta para o 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).

Sendo assim, o presente trabalho visou analisar comparativamente os custos de produção dos pilares tradicionalmente utilizados no Brasil (aço e concreto armado) com os pilares mistos, levando em consideração exclusivamente os materiais utilizados em sua fabricação. Aqui se apresentam resultados de uma investigação teórica baseada na simulação de pilares previamente carregados com momentos fletores e esforço de compressão.

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

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

METODOLOGIA

- Dimensionamento dos pilares

O levantamento dos custos dos pilares se deu, em primeiro lugar, através do dimensionamento otimizado e análise da resistência de cada um dos elementos de acordo com o seu material componente. A análise levou em consideração situações de flexão normal, flexão oblíqua com momento máximo no eixo x e flexão oblíqua com momento máximo no eixo y para pilares de concreto armado, de aço e mistos, totalizando 9 situações distintas. O carregamento dos pilares foi obtido para uma situação real de pilares localizados no subsolo de um prédio residencial de 23 pavimentos (Tabela 1).

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

De acordo com Arya (2009), pilares devem ser analisados principalmente em consideração a dois efeitos: compressão e flexão.

Os pilares de concreto armado 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 (2014), tendo sido analisados, entre outros fatores, os momentos de cálculo total ($M_{d,total}$) dos elementos:

$$M_{d,total} = \alpha_b M_{1d,A} + N_d \frac{\ell_e^2}{10 r} \geq M_{1d,A} \quad (1)$$

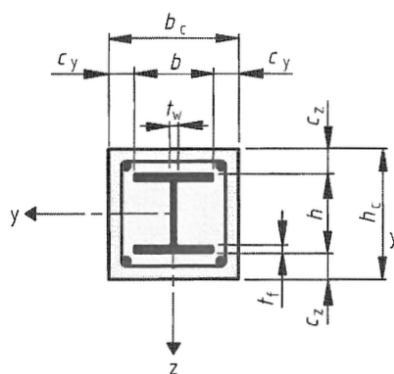
A escolha dos pilares de aço baseou-se na utilização da seção de menor área capaz de resistir à compressão e flexão bem como na análise da capacidade da seção, que nada mais é que a combinação destes dois efeitos. Além disto, considerou-se para o cálculo dos pilares de aço o efeito de flambagem pelo fato de serem elementos bem mais esbeltos que os de concreto e admitiu-se extremidades completamente engastadas, de modo a fornecer comprimento equivalente metade do valor original. Os cálculos aplicados foram retirados da NBR 8800 (2008).

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_{c,Rd}} + \frac{8}{9} \times \left[\frac{M_{d,x}}{M_{Rd,x}} + \frac{M_{d,y}}{M_{Rd,y}} \right] \leq 1,0 \quad (2)$$

$$\frac{N_{c,Sd}}{N_e} + \frac{B_{1,x} M_{d,x}}{M_{Rd,x}} + \frac{B_{1,y} M_{d,y}}{M_{Rd,y}} \leq 1,0 \quad (3)$$

Os pilares mistos tiveram seu dimensionamento respaldado pelo anexo P da NBR 8800 (2008) considerando-os do tipo revestido (Figura 1).

Figura 1: Seção típica de pilar misto revestido



Fonte: Eurocode 4 (2004, p. 64)

Para o 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.

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + 0,85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd} \quad (4)$$

$$M_{pl,Rd} = f_{yd}(Z_a - Z_{an}) + 0,5 f_{cd}(Z_c - Z_{cn}) + f_{sd}(Z_s - Z_{sn}) \quad (5)$$

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

Após o dimensionamento dos pilares (Tabela 2) e a confirmação da adequação do uso de cada um dos pilares aos esforços determinados (Tabela 1), estes puderem ser orçados e ter seus preços comparados.

- Levantamento dos custos dos pilares

Os custos dos pilares em questão foram determinados levando-se em consideração as principais fases de produção de cada um. As etapas e suas unidades foram fornecidas pela TCPO (PINI, 2008); as quantidades de cada produto foram obtidas através dos dados adquiridos em cálculo; os preços unitários foram encontrados por meio de consulta no comércio local ou por tabelas do SINAPI (CEF, 2016) durante o mês de abril de 2016.

De acordo com a TCPO (PINI, 2008), os principais componentes relacionados à produção de pilares de concreto são formas para concretagem, armaduras transversal e longitudinal e concreto estrutural e os pilares de aço se resumem à utilização do perfil metálico adequado. Os pilares mistos são representados por uma mescla destes dois pilares tradicionais, tendo a utilização tanto de um perfil metálico adequado como de armações e concreto estrutural.

RESULTADOS

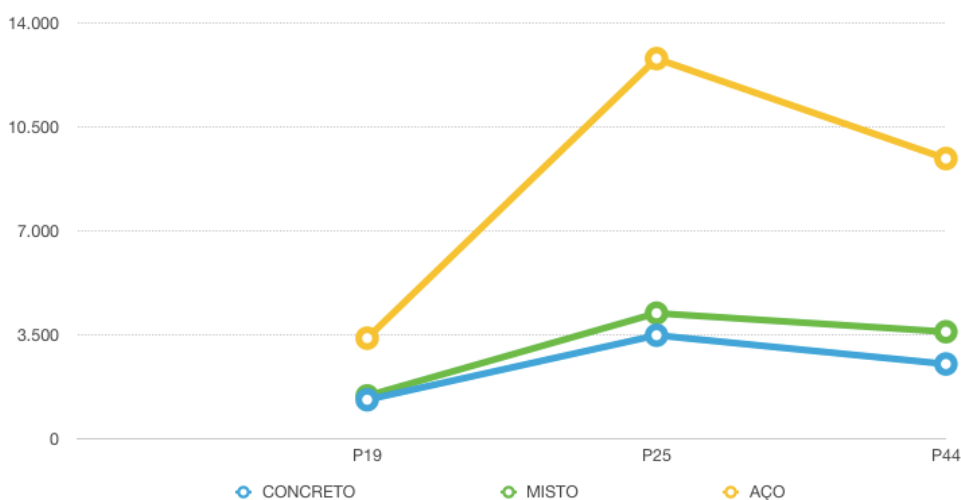
Os resultados encontrados partiram da exigência primária de que todos os pilares dimensionados se mostraram resistentes aos esforços aplicados e que foram escolhidas seções ótimas para seus orçamentos.

Tabela 3: Custos finais dos pilares

Pilar	Material	Preço
P19	Concreto armado	R\$ 1.293,81
	Aço	R\$ 3.369,69
	Misto	R\$ 1.424,08
P25	Concreto armado	R\$ 3.468,32
	Aço	R\$ 12.792,73
	Misto	R\$ 4.211,61
P44	Concreto armado	R\$ 2.499,20
	Aço	R\$ 9.423,03
	Misto	R\$ 3.586,01

Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 2: Gráfico comparativo dos custos dos pilares mistos, de aço e de concreto



Fonte: Elaborada pelo autor.

Através da Tabela 3, é possível notar que os custos dos pilares mistos situam-se numa posição intermediária entre os demais. Era de se esperar que os pilares mistos apresentassem preços mais baixos que os de aço, já que estes representam um consumo bem mais elevado deste material e requerem perfis mais robustos e menos populares, onerando substancialmente sua produção. O concreto armado utilizado no perfil misto acaba por baratear ainda mais o preço final da estrutura.

De forma análoga, os preços dos pilares de concreto se mostraram mais econômicos que os demais, por possuírem matéria-prima abundante e economicamente viável no Brasil. Pilares de aço chegaram a apresentar custos até 3 vezes maiores que os mistos, e estes, por sua vez, se mostraram até 1,4 vezes mais onerosos que os de concreto. Comparados aos de aço, os pilares de concreto continuaram se mostrando uma opção mais vantajosa chegando a ser até 73% mais econômicos.

Em última análise, percebe-se que os pilares mistos representam uma grande economia de espaço

útil para as construções em comparação com os pilares de concreto armado devido a suas dimensões reduzidas. Isto representa, mesmo que de forma indireta, uma diminuição final dos gastos para aqueles pilares. Em contrapartida, os pilares de aço, apesar de onerosos, ainda são os mais adequados no aspecto de otimização de área livre de uma edificação (Vide Figura 2).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação entre os custos calculados mostrou-se bastante favorável ao uso de pilares mistos em detrimento dos pilares de aço (vantagem variando entre 58% e 67%) e razoavelmente mais favoráveis aos de concreto com relação aos mistos (vantagem variando de 9% a 30%). A Figura 2 permite a melhor visualização dos resultados, ilustrando de forma clara a proximidade dos resultados obtidos para os pilares de concreto armado e os mistos.

Conclui-se que os pilares mistos podem certamente se tornar uma promissora alternativa no ramo da construção civil, uma vez que se mostraram estruturalmente capazes de suportar as solicitações e ainda se destacaram no aspecto financeiro. Vale enfatizar, no entanto, a necessidade de avaliação de outros critérios extremamente relevantes como cálculo da estrutura mista como um todo, estabilidade global da estrutura e disponibilidade de mão-de-obra especializada e matéria-prima no mercado.

REFERÊNCIAS

ARYA, C. ***Design of structural elements***. 3. ed. Oxfordshire: Taylor & Francis, 2009. 523 p.

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.

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.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). **Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil**. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 17 de abril de 2016.

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

EUROCODE 4, Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Final draft, British Standards Institution, UK, 2004.

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

TCPO. **Tabela de Composição de Preços para Orçamentos**, 13a ed. São Paulo: PINI, 2008. 640p.