

ANÁLISE DE SEÇÃO TRANSVERSAL DE PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO SUBMETIDOS A ESFORÇO AXIAL DE COMPRESSÃO

RAMOS, Rafael Arteman¹; DA SILVA, Domingos Jorge Ferreira²

Discente do curso de Eng. Civil¹; Docente do curso de Eng. Civil²;
rafael_arteman@live.com¹; domingosjsilva@ufgd.edu.br²;

RESUMO – Com a busca da otimização dos materiais utilizados na construção civil as estruturas mistas de aço e concreto tem grande potencial de utilização no Brasil, tendo diversas vantagens como resistência ao fogo, corrosão, alta resistência a compressão e redução da flambagem local. A utilização das estruturas mistas tem se mostrado muito eficiente em edifícios altos e reforços estruturais. Este trabalho aborda um estudo comparativo da capacidade resistente a compressão simples entre pilares de concreto armado e pilares mistos de aço e concreto totalmente preenchidos dimensionados seguindo as recomendações do anexo P da ABNT NBR 8800:2008 através de planilha eletrônica Excel. Para efeito comparativo da capacidade resistente de carga foi dimensionado vários pilares armados com barras longitudinais seguindo as recomendações da ABNT NBR 6118:2014 e dimensionados com auxílio do software gratuito PCalc v1.4. A análise teve enfoque no comparativo de seções transversais diferentes a fim de buscar a maior capacidade resistente para compressão normal simples e o menor custo para a execução dos pilares. Os resultados obtidos foram satisfatórios, visto que se constatou uma diferença de custos compensatória para a execução de pilares mistos de aço e concreto totalmente preenchidos.

Palavras-chave: Estrutura mista, Pilar misto, Compressão normal simples.

ABSTRACT – With the search for optimization of materials used in civil construction, mixed steel and concrete structures have great potential for use in Brazil, having several advantages such as fire resistance, corrosion, high compressive strength and reduced local buckling. The use of composite structures has been very efficient in tall buildings and structural reinforcements. This article presents the study of steel-concrete filled composite columns, partially and completely coated, dimensioned following the recommendations of the annex P of the ABNT NBR8800:2008 through an excel-based spreadsheet. For comparison of the heavy duty capacity, a traditional pillar made of reinforced concrete was dimensioned following the recommendations in ABNT NBR 6118:2014 with the free software PCalc v1.4. The analysis was based on the comparison between cross section in order to find the largest resistance when a normal compression occurs.

Keywords: Mixed structures, Mixed Pillars, Simple Normal Compression

1 INTRODUÇÃO

O progresso das diversas modalidades de sistemas estruturais e construtivos fizeram-se necessário surgir sistemas mistos formados por elementos de concreto e aço, trabalhando de forma conjunta, visando aproveitar o melhor de cada material, no ponto de vista construtivo e estrutural. O concreto foi utilizado no início do século como revestimento, protegendo perfis de aço contra o fogo e corrosão natural, sem resistência considerada, diferentemente do cenário atual da construção civil, temos vigas, colunas, lajes mistas utilizadas em larga escala para vencer médios e grandes vãos, caracterizando-se pela rapidez de execução e redução significativo do peso da estrutura (VASCONCELLOS, 2006).

Segundo SILVA (2012), considera-se como sistema misto de aço e concreto aquele que usa um perfil de aço laminado, dobrado ou soldado, trabalhando de forma conjunta com o concreto armado. Assim, a ideia principal dos pilares mistos de concreto e aço consistem em um ou vários perfis metálicos ligados trabalhando em conjunto com o concreto simples ou armado para resistirem a esforços solicitantes. Os pilares podem ser basicamente revestidos ou preenchidos, armados ou não armados.

As estruturas mistas tiveram origem nos Estados Unidos no final do século XIX, objetivando proteger os elementos metálicos contra corrosão e fogo. Pesquisas realizadas por FABER (1956) e JONES e RIZK (1963) concluíram que pilares mistos tem uma considerável redução no consumo de aço estrutural, redução do seu peso próprio e volume da estrutura. Comparando as estruturas comuns de concreto e aço com as mistas, tem um aumento da rigidez e resistência da seção, com eliminação ou redução drástica da flambagem nos perfis metálicos.

Alguns exemplos de construções que utilizam pilares mistos:

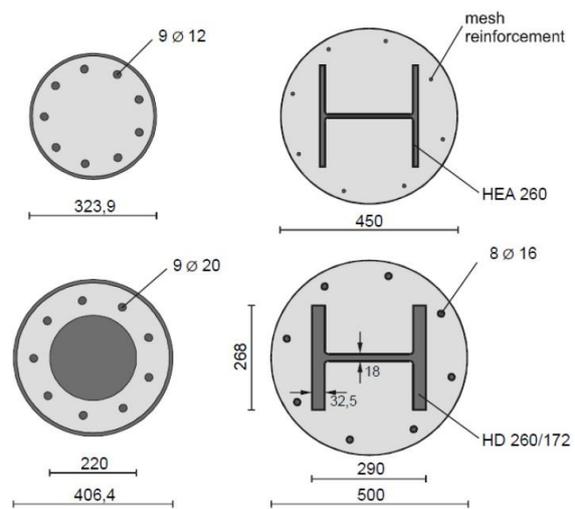
1. *Millenium Tower* (Figura 1), construída em Vienna na Áustria, tem 202 metros de altura e 50 pavimentos. Para a construção da torre foram utilizados quatro tipos de pilares mistos (Figura 2).
2. Edifício *AQWA corporate*, a ser construído no Rio de Janeiro, na área portuária de Porto Maravilha, terá 74 mil m² de área locável, 90 metros de altura e 22 pavimentos. Serão duas torres com mega colunas inclinadas em formas de V e Y, com elementos de pilares mistos que em alguns encontros utilizaram concreto de alta resistência de 85 Mpa (Figura 3).

Figura 1 - Millenium Tower, Vienna,



Fonte: SILVA, (2008).

Figura 2 - Seção dos pilares utilizados na construção da Millennium Tower



Fonte: HUBER, (2001).

Figura 3 - AQWA corporate



Fonte: NAZARETH, (2018).

O objetivo principal é traçar um comparativo entre um tipo de pilar misto descrito na ABNT NBR 8800:2008 e um pilar de concreto armado descrito na ABNT NBR 6118:2014, analisando a seção transversal, capacidade de resistência a compressão normal simples e custos para construção dos pilares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ESTRUTURAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

O concreto e o aço são utilizados em larga escala sendo a principal configuração para o mercado da construção civil atual e na constante busca por otimização dos materiais surgiram as estruturas mistas. Com a construção de grandes edifícios em estrutura metálica no final do século XIX surgiu a necessidade de uma solução construtiva para os elementos

de aço que apresentam baixa resistência ao fogo, surgiu-se a ideia de envolvê-los com perfis metálicos, com intuito de minimizar essas deficiências. Inicialmente o concreto não tinha função estrutural pois não havia grande aderência entre o concreto e o aço, posteriormente com o surgimento de conectores de cisalhamento a aderência na interface aço-concreto aumentou e resultou na criação de vigas, lajes e pilares mistos (DIVERSAKORE LLC, 2009).

As estruturas mistas foram concebidas para aproveitar a alta resistência compressão do concreto juntamente da leveza e esbeltez e alta resistência a tração do aço, sendo de extrema importância a aderência entre os materiais para a trabalhabilidade em conjunto. A rapidez na execução e dispensa de escoras e formas parcial ou integralmente na maioria dos casos são qualidades construtivas das estruturas mistas, exigindo mão de obra reduzida e diminuição do peso total da edificação (CARINI, 2014).

2.2 PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO

O concreto proporciona uma alta resistência a corrosão e proteção contra o fogo. Pilares preenchidos ou revestidos de concreto tem aplicações desde estruturas pequenas até prédios de múltiplos andares. Pilares mistos podem ser utilizados em galpões de armazenagem geral, pavilhões de eventos, terminais rodoviários etc., onde houver a necessidade de proteção da estrutura metálica contra a corrosão, incêndios e impactos diretos de veículos ou motivo estético. (GRIFFIS, 1994).

Uma aplicação muito usual para pilares mistos é em recuperação de estruturas. Pilares de aço ou de concreto armado que por algum motivo precisarem ser recuperados ou reforçados são transformados em pilares mistos. Um pilar de aço que precisa ser reforçado pode ser submetido a técnica de preenchimento de concreto ou dependendo da geometria este pode ser envolvido posteriormente com concreto, tendo ganhos consideráveis de resistência. Em pilares de concreto armado a serem reforçados, a opção é a utilização de chapas ou perfis metálicos que vão atuar juntamente do concreto armado existente, aumentando assim sua resistência e não acarretando no aumento drástico da seção transversal (FIGUEIREDO, 1998).

2.3 CLASSIFICAÇÃO DE PILARES MISTOS

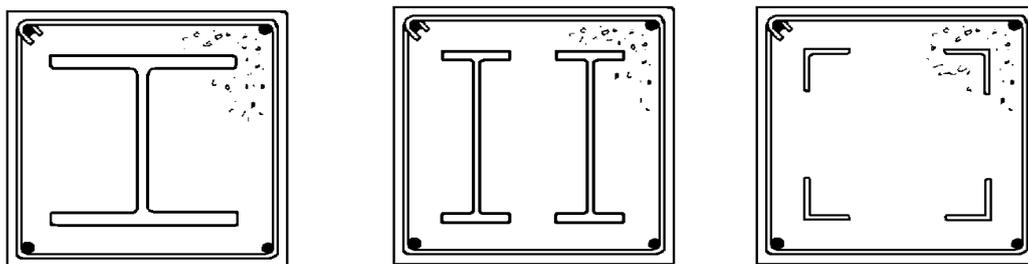
2.3.1 PILARES MISTOS REVESTIDOS

Os pilares mistos revestidos são elementos estruturais de aço, formados por um ou mais perfis ligados entre si, podendo ser laminados, soldados ou formados a frio. É recomendado a utilização de armadura transversal para combater a expansão lateral do

concreto e evitar desagregação do revestimento do concreto. O aumento da resistência desse tipo de pilar misto vem da adição de um material que trabalhe junto com o aço, impedindo flambagens global e local, de forma indireta prevenindo a corrosão e contato direto com fogo.

A grande desvantagem desse tipo de pilar misto é a necessidade do uso de formas para a concretagem, porém pode ser executado em diversas geometrias, como: quadrada, retangular, triangular, circular entre outros. Na figura 4 temos as seções mais usuais que são as seções quadradas e retangulares, com barras longitudinais nas extremidades e com armadura transversal, permitindo a ligação de vigas em pilares sem interromper a continuidade da armação vertical. (FIGUEIREDO, 1998).

Figura 4 – Seções típicas de pilares mistos revestidos



Fonte: FIGUEIREDO, (1998).

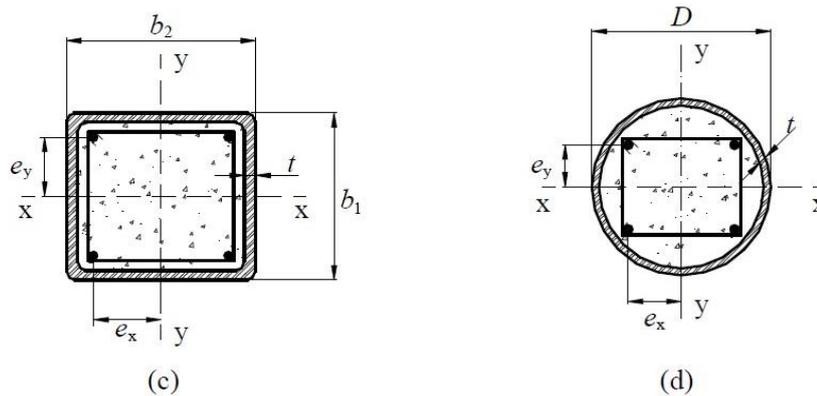
2.3.2 PILARES MISTOS PREENCHIDOS

Os pilares mistos preenchidos podem ter geometria de seção transversal variada, sendo principalmente retangulares e circulares, preenchidos de concreto, constituídos de perfis metálicos tubulares e dispensando armadura e forma, sendo sua principal característica e vantagem. Nos pilares circulares o efeito de confinamento é considerado, pois o tubo metálico que envolve o pilar aumenta a capacidade de resistência a compressão. Esse efeito aumenta a resistência final do pilar.

(FIGUEIREDO, 1998), ressalta duas desvantagens deste tipo de pilar misto: o concreto melhora a resistência do pilar ao fogo, mas não providencia total proteção a ele, sendo necessário a utilização de uma maneira alternativa de proteção e a dificuldade na armação de estribos quando houver a necessidade destes.

Quanto a tipologia a ABNT NBR 8800:2008 mostra dois tipos de pilares mistos preenchidos (Figura 5) sendo tubos retangulares de aço preenchidos com concreto (5.c) ou circulares armados ou não-armados (5.d), todas as seções com barras longitudinais embutidas.

Figura 5 - Tipos de pilares mistos preenchidos.
Fonte: NBR 8800, (2008).



A ABNT NBR 8800:2008 determina que o concreto do preenchimento deve ter densidade normal, os pilares com seções transversais total ou parcialmente revestidas com concreto devem possuir perfil de aço I ou H, soldado ou laminado. Os pilares preenchidos com concreto devem possuir perfil de aço tubular retangular ou circular.

3 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos de comparação entre as seções transversais dos pilares mistos e de concreto armado, foi utilizada as seguintes metodologia:

Revisão bibliográfica: indispensável para qualquer estudo de caráter científico, envolvendo estruturas de concreto armado e estruturas mistas. O embasamento teórico vem de pesquisas já realizadas, livros, normas e artigos publicados na área de estruturas mistas que auxiliaram no cálculo do dimensionamento das estruturas.

Elaboração do modelo numérico: O dimensionamento dos pilares mistos de concreto armado foi baseado no anexo P (Pilares mistos de aço e concreto) da ABNT NBR 8800:2008 e o desenvolvimento do modelo numérico foi feito através do *software* Excel disponibilizada pelo MSc. Antonio Carlos Pulido, professor da Faculdade Integrado de Campo Mourão – PR. Para o dimensionamento dos pilares de concreto armado foi utilizado o *software* gratuito PCalc v1.4 desenvolvido por Sander David Cardoso Junior.

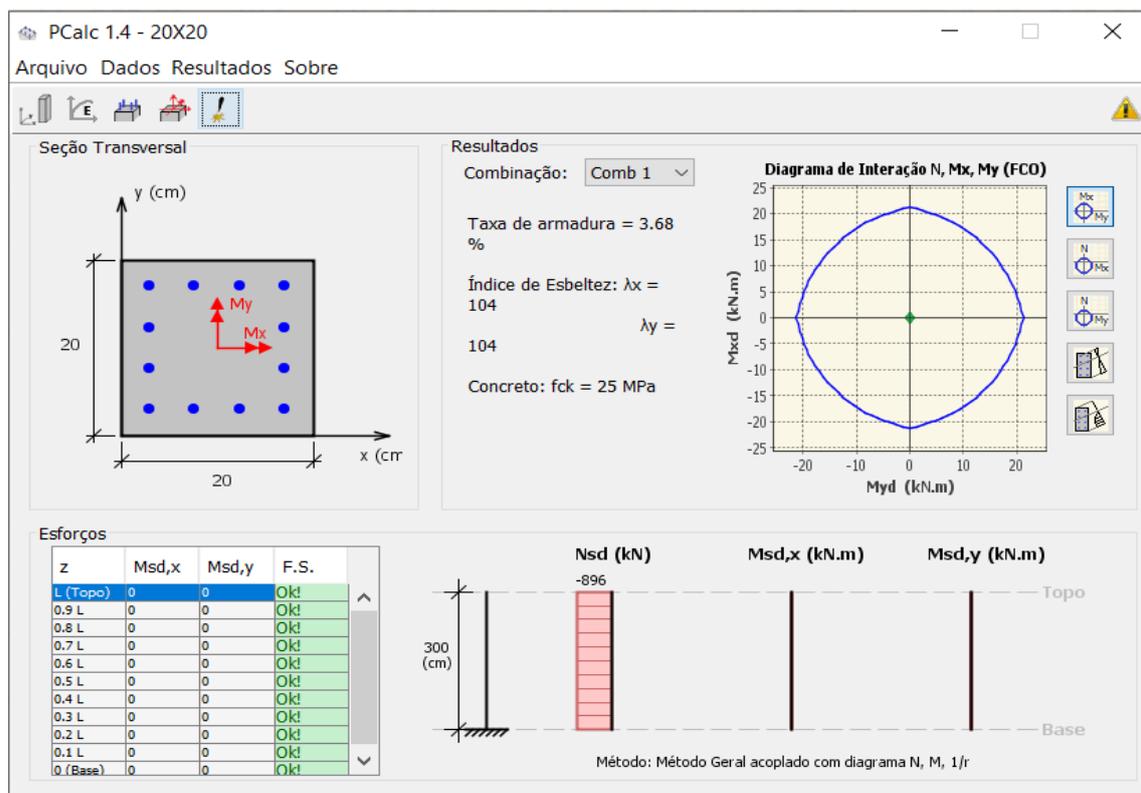
3.1 CONCEPÇÃO ESTRUTURAL E CONSIDERAÇÕES

Foram feitas algumas considerações para os dimensionamentos dos pilares, tais como, altura do pilar foi definida como 300cm, medida usual de pé direito para edificações de múltiplos andares, a base do pilares considerada engastada e a outra extremidade livre para fins de cálculo, densidade do concreto de 25MPa para ambos os casos, seção

transversal do pilar duplamente simétrica para atender as recomendações do anexo P da NBR 8800:2008, sendo definido as seções de 20x20 cm, 25x25 cm, 30x30 cm, 35x35 cm, 40x40 cm e 45x45 cm, para ambos os pilares.

O dimensionamento dos pilares de concreto armado, realizado através do *software* PCalc v1.4 (Figura 6) foi baseado na ABNT NBR 6118:2014, selecionado dentro do software o modelo de cálculo para pilares “Método Geral”, com o roteiro de cálculo descrito no item 15.8.3.2 da respectiva norma. O cobrimento foi definido em 3cm com base na tabela 7.2 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal da NBR 6118:2014, considerando classe de agressividade II, moderada, para viga/pilar. De acordo com o item 17.3.5.2.4 da ABNT NBR 6118:2014 aconselha que a taxa de armadura máxima não exceda $0,04 \cdot A_c$, sendo A_c a área da seção transversal do pilar, assim o dimensionamento do pilar de concreto armado foi baseado na maior quantidade de aço possível dentro de cada seção transversal, considerando a combinação entre a bitola e a quantidade de armadura que levasse o pilar a maior capacidade resistente a compressão normal simples.

Figura 6 - Exemplo de dimensionamento e verificação no Software PCalc v1.4



Fonte: JUNIOR, (2014).

Para o dimensionamento do pilar misto foi escolhido o tipo totalmente preenchido, de seção quadrada e composto de concreto na parte interna, com espessuras do perfil de

3,75 mm, 4,75 mm, 6,3 mm e 8 mm, seguindo as mesmas seções transversais do pilar de concreto armado descrito acima.

O cálculo feito através do *software* Excel (Figura 7), sendo possível inserir os dados de uma seção mista qualquer ou selecionar um perfil de um conjunto de perfis cadastrados na tabela, verificando os limites de aplicabilidade descritas na seção P.1.3 da NBR 8800, levando em consideração o fator de contribuição do aço δ , a relação altura espessura (b/t) e a esbelteza relativa do pilar “ λ_{rel} ” definida no item P.3.2 da norma. A tabela abrange todas as verificações, verificação de Força axial de compressão resistente, flexo-compressão reta e flexão oblíqua, seguindo o modelo I e II de cálculo, descrito no item P.5.2 e P.5.3 do anexo P na NBR 8800:2008, para a verificação a compressão simples de acordo com a seção transversal escolhida, Nrd (kN) – Força resistente de cálculo, foi utilizada o item P.3 e P.4 da norma.

Figura 7 - Planilha para verificação a compressão simples

CÁLCULO DE PILAR MISTO À FLEXO-COMPRESSÃO PARA SEÇÃO RETANGULAR														
PERFIL	PERFIL DO USUÁRIO							Condições de Cálculo			Verificação a Compressão Simples			
	Dimensões							b/h	larg/esp.	δ	Nrd(kN)	Nsd (kN)	Aproveit.	Resultado
RETANGULAR	m (kg)	A(cm²)	bw(mm)	bt(mm)	t=tn (mm)	ri (mm)								
300 X 300 X 6,30	57,49	73,24	300	150	6,30	6,30	ok	ok	ok	2.641,05			passa	
PERFIL PADRONIZADO - VALLOUREC														
PERFIL	Dimensões							b/t	larg/esp.	δ	Nrd(kN)	Nsd (kN)	Aproveit.	Resultado
RETANGULAR	m (kg)	A(cm²)	bw(mm)	bt(mm)	t=tn (mm)	ri (mm)								
60 X 40 X 3,60	5,05	6,43	60	20	3,60	3,60	ok	ok	ok	7,00			passa	
60 X 40 X 3,90	5,41	6,90	60	20	3,90	3,90	ok	ok	ok	7,34			passa	
60 X 40 X 4,40	6,00	7,65	60	20	4,40	4,40	ok	ok	ok	7,85			passa	
60 X 40 X 4,80	6,46	8,23	60	20	4,80	4,80	ok	ok	não ok	8,21			passa	
60 X 40 X 5,20	6,90	8,79	60	20	5,20	5,20	ok	ok	não ok	8,52			passa	
60 X 40 X 5,60	7,33	9,34	60	20	5,60	5,60	ok	ok	não ok	8,80			passa	
60 X 40 X 6,40	8,14	10,36	60	20	6,40	6,40	ok	ok	não ok	9,23			passa	
60 X 40 X 7,10	8,79	11,20	60	20	7,10	7,10	ok	ok	não ok	9,49			passa	
60 X 50 X 3,60	5,61	7,15	60	25	3,60	3,60	ok	ok	ok	12,14			passa	
60 X 50 X 3,90	6,03	7,68	60	25	3,90	3,90	ok	ok	ok	12,77			passa	
60 X 50 X 4,40	6,70	8,53	60	25	4,40	4,40	ok	ok	ok	13,73			passa	
60 X 50 X 4,80	7,21	9,19	60	25	4,80	4,80	ok	ok	ok	14,43			passa	
60 X 50 X 5,20	7,72	9,83	60	25	5,20	5,20	ok	ok	não ok	15,07			passa	
60 X 50 X 5,60	8,21	10,46	60	25	5,60	5,60	ok	ok	não ok	15,64			passa	
60 X 50 X 6,40	9,14	11,64	60	25	6,40	6,40	ok	ok	não ok	16,61			passa	
60 X 50 X 7,10	9,91	12,62	60	25	7,10	7,10	ok	ok	não ok	17,27			passa	
70 X 40 X 3,60	5,61	7,15	70	20	3,60	3,60	ok	ok	ok	8,07			passa	

Fonte: PULIDO, (2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos dimensionamentos dos pilares de concreto armado e dos pilares mistos preenchidos, obteve-se todas as informações necessárias para efetuar a análise comparativa obtendo os valores máximos de resistência de cada pilar. Na Tabela 1 temos as características dos pilares de concreto armado com suas respectivas capacidades de resistência a compressão normal simples que estão divididas pelo coeficiente de ponderação do concreto no ELU $\gamma_c = 1,4$.

Tabela 1 – Dados geométricos e comparativo de resultados de ensaios com pilares de concreto armado

PILARES DE CONCRETO ARMADO COM BARRAS LONGITUDINAIS									
DIMENSÕES GEOMÉTRICAS			CARACTERÍSTICAS DA ARMADURA DE AÇO				PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA		VERIFICAÇÃO A COMP.
Seção Transversal (cm)	Área da seção (cm ²)	Altura (m)	Taxa de armadura (%)	Bitola nominal (mm)	Qntd. Barras long.	Área de aço As (cm ²)	Resistência do concreto fck (MPa)	Tensão de escoamento do aço - fyk (MPa)	Resistência normal a compressão (kN)
20x20	400	3	3,68	12,5	8	9,84	25	500	896,00
25x25	625	3	3,93	12,5	12	14,76	25	500	1050,00
30x30	900	3	3,57	16,0	10	20,10	25	500	1792,00
35x35	1225	3	3,94	16,0	14	28,14	25	500	2828,00
40x40	1600	3	3,93	20,0	12	37,68	25	500	3920,00
45x45	2025	3	3,72	20,0	14	43,96	25	500	5012,00

Fonte: Autor, (2019).

Para o cálculo da resistência a compressão dos pilares mistos preenchidos foi utilizado a planilha Excel desenvolvida por PULIDO (2012), que resultou na verificação do perfil de aço proposto e de sua capacidade resistente a compressão, resultados apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Dados geométricos e comparativo de resultados de ensaios com pilares mistos totalmente preenchidos

PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO TOTALMENTE PREENCHIDOS									
DIMENSÕES GEOMÉTRICAS			CARACTERÍSTICAS DA ARMADURA DE AÇO				PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA		VERIFICAÇÃO A COMPRESSÃO
Seção Transversal (cm)	Área da seção (cm ²)	Altura (m)	Espessura de parede t(mm)	Massa (kg)	Área de aço As(cm ²)	Taxa de armadura (%)	Resistência do concreto - fck(MPa)	Tensão de escoamento do aço - fyk(MPa)	Resistência normal a compressão Nrd(kN)
20x20	400,00	3,00	3,75	22,89	29,16	7,29	25,00	300,00	845,59
20x20	400,00	3,00	4,75	28,78	36,66	9,17	25,00	300,00	977,77
20x20	400,00	3,00	6,30	37,71	48,04	12,01	25,00	300,00	1175,24
20x20	400,00	3,00	8,00	45,24	57,63	14,41	25,00	300,00	1355,93
25x25	625,00	3,00	4,75	36,23	46,16	7,39	25,00	300,00	1578,70
25x25	625,00	3,00	6,30	47,60	60,64	9,70	25,00	300,00	1870,98
25x25	625,00	3,00	8,00	57,80	73,63	11,78	25,00	300,00	2143,68
30x30	900,00	3,00	6,30	57,49	73,24	8,14	25,00	300,00	2641,05
30x30	900,00	3,00	8,00	70,36	89,63	9,96	25,00	300,00	3006,75
35x35	1225,00	3,00	6,30	67,38	85,84	7,01	25,00	300,00	3482,72
35x35	1225,00	3,00	8,00	82,92	105,63	8,62	25,00	300,00	3941,15
40x40	1600,00	3,00	8,00	95,48	121,63	7,60	25,00	300,00	4946,74
45x45	2025,00	3,00	8,00	108,48	121,63	6,01	25,00	300,00	6024,19

Fonte: Autor, (2019).

Com os resultados dos ensaios de pilares mistos e de concreto armado obtivemos valores de resistência diferentes de acordo com a seção transversal e a espessura do perfil. Para efeito de comparação com os pilares de concreto armado foi escolhido os resultados dos ensaios de pilares mistos que tiveram valor de resistência próximos entre si. Na Tabela 3 podemos analisar a taxa de armadura, área de aço, massa total de aço e resistência a compressão de cada seção transversal para pilares de concreto armado e mistos.

Tabela 3 – Comparativo dos resultados obtidos nos ensaios com pilares mistos e de concreto armado

COMPARATIVO PILARES DE CONCRETO ARMADO E PILARES MISTOS PREENCHIDOS										
DIMENSÕES GEOMÉTRICAS			TAXA DE ARMADURA (%)		ÁREA DE AÇO - AS(cm ²)		MASSA (kg)		RESISTÊNCIA NORMAL A COMPRESSÃO (kN)	
Seção Transversal (cm)	Área da seção(cm ²)	Altura (m)	ARMADO	MISTO	ARMADO	MISTO	ARMADO	MISTO	ARMADO	MISTO
20x20	400,00	3,00	3,68	12,01	9,84	48,04	23,11	37,71	896,00	1175,24
25x25	625,00	3,00	3,93	9,70	14,76	60,64	34,67	47,60	1050,00	1870,98
30x30	900,00	3,00	3,57	8,14	20,10	73,24	47,34	57,49	1792,00	2641,05
35x35	1225,00	3,00	3,94	8,62	28,14	105,63	66,28	82,92	2828,00	3941,15
40x40	1600,00	3,00	3,93	7,60	37,68	121,63	88,78	95,48	3920,00	4946,74
45x45	2025,00	3,00	3,72	6,01	43,96	121,63	103,57	108,48	5012,00	6024,19

Fonte: Autor, (2019)

Os valores de taxa de armadura, relação entre a área total da seção transversal pela área de aço, mostrou que para todos os casos os pilares mistos apresentam porcentagem maior para atingir valor próximo da resistência a compressão dos pilares de concreto armado com a mesma seção transversal. Para valores de resistência próximos entre si para os dois tipos de pilares, em cada seção transversal obteve-se uma maior área de aço de pilares mistos do que de pilares de concreto armado, com massa total de aço menor alguns casos para os pilares mistos.

A diminuição na massa total de aço para os pilares mistos, tendo maior capacidade de resistência a compressão gera economia na aplicação final dos pilares na construção de uma edificação, pois nas seções transversais analisadas, os pilares de concreto armado estão no limite da resistência a compressão, para maior resistência com a mesma altura deve-se alterar a seção transversal do pilar. Já os pilares mistos apresentam relativamente o mesmo valor de resistência a compressão, porém a resistência pode ser muito maior

aumentando a espessura do perfil de aço, alternativa que não é possível para os pilares de concreto armado pois não haveria espaçamento suficiente para mais barras segundo as recomendações da ABNT NBR 6118:2014 ou adotar diâmetros maiores para as barras longitudinais.

No apêndice A temos um orçamento realizado através da tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) (SINAPI, 2019) onde conseguimos comparar os custos para execução de pilares de concreto armado e pilares mistos de acordo com a respectiva seção transversal citada anteriormente. Na Tabela 4 temos os dados de custo para execução de cada pilar, levando em conta a concretagem com todos os custos de mão de obra e transporte e o custo das barras e perfis metálicos. Fica visível a vantagem econômica do pilar misto em relação ao pilar de concreto armado, que mesmo exigindo mais de aço por pilar ainda assim é compensatório financeiramente, reduzindo os custos totais da execução de uma edificação.

Tabela 4 – Comparativo de custos para execução de pilares de concreto armado e pilares mistos de acordo com a seção transversal

CUSTOS PARA EXECUÇÃO EM REAIS (R\$)				
Seção Transversal (cm)	CONCRETO ARMADO	ESTRUTURA MISTA	DIFERENÇA DE CUSTOS	DIFERENÇA DE CUSTOS (%)
20x20	204,01	257,09	-53,08	-21
25x25	280,76	337,96	-57,20	-17
30x30	388,59	424,43	-35,84	-8
35x35	540,13	541,80	-1,67	0
40x40	718,91	645,07	73,84	11
45x45	856,42	756,09	100,33	13

Fonte: Autor, (2019)

5 CONCLUSÃO

A comparação de solução estrutural para edifícios de múltiplos andares é um assunto muito extenso, ainda mais quando se envolve a comparação de custos entre as soluções. Cabe ao projetista analisar e adotar qual solução mais lhe convém. Este trabalho ajuda no objetivo de inserir o pilar misto de aço e concreto totalmente preenchido como solução estrutural para diversas edificações frente a muitas opções disponíveis no mercado.

Os resultados apresentados para cada seção transversal devem ser analisados para cada perfil de usuário e edificação da maneira que melhor se enquadre no perfil de trabalho. Diante do fato de existirem diversas outras variáveis que podem ser adicionadas ao

contexto do estudo de estruturas mistas, especificamente pilares mistos este trabalho deve ser considerado como ponto de partida para que sejam feitas análises complementares, do ponto de vista estrutural e econômico assim como fica evidente ao longo do trabalho.

O uso de pilares mistos preenchidos traz uma redução significativa no peso total da estrutura comparando com os pilares de concreto armado quando em grandes dimensões, facilitando sua concretagem dos pilares pois não necessita de caixaria de madeira, somente escoras, onde o próprio perfil metálico serve como molde para o lançamento do concreto, reduzindo custos e desperdício ao final da obra.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____. **Projeto e execução de estruturas de aço de edifícios: NBR 8800**. Rio de Janeiro, 2008.

Análise de Pilares de Concreto Armado – Flexão composta oblíqua. Software **P-Calc v1.4**. Disponível em: <https://sites.google.com/a/pcalc.com.br/home/> >. Acesso em: 08/11/2019 às 00:00.

CARINI, R. **Estruturas mistas de aço e concreto: projeto de edifício comercial**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

DIVERSAKORE LLC. **Brief History of Composite Steel Construction: tall buildings impossible without advances in technology**. Atlanta, c2009a. Disponível em: <http://www.diversakore.com/products_history.html>. Acesso em: 23 mar. 2014.

FABER, O. **Savings to be affected by the more rational design of encased stanchions as a result of recent full size tests**, *The Structural Engineer*, vol. 34, pp. 88–109, 1956.

FIGUEIREDO, L.M.B. **Projeto e construção de pilares mistos aço-concreto**. Germany: A.A.BALKEMA PUBLISHERS, 2001.

GRIFFIS, L. The 1994 T.R. **High Lecture: Composite Frame Construction**. Pittsburgh, Pennsylvania, 1994.

HUBER, G. **“Millennium Tower in Vienna: Semi-continuous connections between composite.”** In: *Tubular Structures IX*, por R. Puthli e S. Herion, 138-147.

JONES, R. and Rizk, A.A. **An investigation on the behaviour of encased steel columns under load**, *The Structural Engineer*, Vol. 41, N° 1, pp. 21–33, 1963.

JÚNIOR, S. D. C. **Sistema computacional para análise não linear de pilares de concreto armado**. Monografia – (Especialista em Gestão de Projetos de Sistemas Estruturais) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – São Paulo, 2014.

NAZARETH, A. ARCHDAILY – **Aqwa corporate / foster + partners**. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/897569/aqwa-corporate-foster-plus-partners/5afd3ce7f197ccb203000087-aqwa-corporate-foster-plus-partners-photo?next_project=no>. Acesso em: 22/03/2019 às 09:23h.

PULIDO, A. C. **Sistematização do dimensionamento a flexo-compressão de pilares mistos preenchidos de seção retangular**. Tese (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos – São Carlos, 2012.

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

SILVA, V. P. “**Consideração sobre as normas brasileiras de estruturas em situação de incêndio.**” Revista Incêndio, 2007.

SINAPI – Índices da Construção Civil. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/Paginas/default.aspx>. Acesso em 03 nov, 2019.

VASCONCELLOS, A. **Caracterização das construções mistas aço/concreto**. Artigo técnico – Construção Metálica, 2006.

7 APÊNDICES

Apêndice A – Orçamento sintético dos pilares de concreto armado e pilares mistos.

Planilha Orçamentária Sintética Com Valor do Material e da Mão de Obra						
Item	Banco	Descrição	Unid.	Quant.	Valor Unit	Total
1		PILARES DE CONCRETO ARMADO				
1.1		SEÇÃO 20X20				204,01
1.1.1	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 12,5 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	23,11	6,89	159,23
1.1.2	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,12	373,20	44,78
1.2		SEÇÃO 25X25				280,76
1.2.1	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	34,67	6,08	210,79
1.2.2	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,1875	373,20	69,97
1.3		SEÇÃO 30X30				388,59
1.3.1	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	47,34	6,08	287,83
1.3.2	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,27	373,20	100,76
1.4		SEÇÃO 35X35				540,13
1.4.1	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	66,28	6,08	402,98
1.4.2	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,3675	373,20	137,15
1.5		SEÇÃO 40X40				718,91

1.5.1	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	88,78	6,08	539,78
1.5.2	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,48	373,20	179,13
1.6		SEÇÃO 45X45				856,42
1.6.1	SINAPI	ARMAÇÃO DE PILAR OU VIGA DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 20,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015	KG	103,57	6,08	629,71
1.6.2	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,6075	373,20	226,71
2		PILARES MISTOS PREENCHIDOS				
2.1		SEÇÃO 20X20				257,09
2.1.1	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,12	373,20	44,78
2.1.2	ORSE	CHAPA AÇO GROSSA PRETA 1/4"(6,3mm), 49,39 kg/m ²	KG	37,71	5,63	212,31
2.2		SEÇÃO 25X25				337,96
2.2.1	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,1875	373,20	69,97
2.2.2	ORSE	CHAPA AÇO GROSSA PRETA 1/4"(6,3mm), 49,39 kg/m ²	KG	47,6	5,63	267,99
2.3		SEÇÃO 30X30				424,43
2.3.1	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,27	373,20	100,76
2.3.2	ORSE	CHAPA AÇO GROSSA PRETA 1/4"(6,3mm), 49,39 kg/m ²	KG	57,49	5,63	323,67
2.4		SEÇÃO 35X35				541,80
2.4.1	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A	m ³	0,3675	373,20	137,15

PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO

		0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015				
2.4.2	ORSE	CHAPA AÇO GROSSA PRETA 5/16"(8,0mm), 62,72 kg/m ²	KG	82,92	4,88	404,65
2.5		SEÇÃO 40X40				645,07
2.5.1	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,48	373,20	179,13
2.5.2	ORSE	CHAPA AÇO GROSSA PRETA 5/16"(8,0mm), 62,72 kg/m ²	KG	95,48	4,88	465,94
2.6		SEÇÃO 45X45				756,09
2.6.1	SINAPI	CONCRETAGEM DE PILARES, FCK = 25 MPA, COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM SEÇÃO MÉDIA DE PILARES MENOR OU IGUAL A 0,25 M ² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015	m ³	0,6075	373,20	226,71
2.6.2	ORSE	CHAPA AÇO GROSSA PRETA 5/16"(8,0mm), 62,72 kg/m ²	KG	108,48	4,88	529,3824