



XXXVII IBERIAN LATIN AMERICAN CONGRESS
ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING
BRASÍLIA - DF - BRAZIL

COMPORTAMENTO À FLEXO-COMPRESSÃO DE PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO TUBULARES CIRCULARES PREENCHIDOS COM CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

João Victor Fragoso Dias

Harley Davidson Gomes

Adenilcia Fernanda Grobério Calenzani

joaovfdias@gmail.com

harley.gomes@gmail.com

afcalenzani@gmail.com

Centro Tecnológico – UFES, Departamento de Engenharia Civil

Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, CEP 29075-910, Vitória - ES

Resumo. Pilares mistos de aço e concreto são muito utilizados em países da Europa, América e Ásia, mas no Brasil ainda possuem uso restrito. As normas NBR 8800 (2008) e NBR 16239 (2013) tratam do dimensionamento desses pilares, referenciando a NBR 6118 quanto a questões relativas à resistência do concreto estrutural. A versão de 2014 da NBR 6118 incorporou o uso de concretos de alto desempenho sendo assim, estudos são necessários para avaliar se as prescrições normativas permanecem válidas para pilares mistos preenchidos com concretos de maior resistência. No presente estudo, foi analisado o comportamento estrutural de pilares mistos tubulares circulares preenchidos com concreto de alto desempenho submetidos à flexo-compressão. Análises numéricas foram realizadas por meio do método dos elementos finitos utilizando-se o software ANSYS visando à obtenção das curvas de interação Esforço Nomal – Momento Fletor destes pilares. O modelo numérico foi devidamente aferido com resultados experimentais da literatura. A influência de parâmetros tais como a resistência do concreto, dimensões da seção transversal e a esbeltez global do pilar foi avaliada e os resultados obtidos nas simulações computacionais foram então confrontados com os previstos pelas normas brasileira, americana e europeia. Conclusões a respeito da aplicabilidade das normas de dimensionamento foram discutidas.

Palavras Chave: Pilar Misto Tubular, Análise Numérica, Concreto de Alto Desempenho, Resistência à Flexo-Compressão

1 INTRODUÇÃO

O uso de estruturas mistas, devido a diversas vantagens como proteção contra corrosão e incêndio, aumento da resistência e rapidez de execução, tem crescido internacionalmente. Os pilares mistos, formados pelo revestimento ou pelo preenchimento de uma seção de aço por concreto, têm sido extensamente utilizados em edifícios comerciais, residenciais, industriais, entre outros especialmente nos continentes europeu, americano e asiático. Concomitantemente, tem se popularizado a tecnologia do concreto de alto desempenho. Desta forma, os pilares mistos preenchidos por concretos com resistências mais elevadas têm se mostrado uma solução estrutural promissora.

Pilares mistos com concretos de resistência convencional, isto é, com resistência característica à compressão de 20 a 50 MPa são abordados pelas principais normas de dimensionamento brasileiras e internacionais. Por outro lado, pilares com concretos de resistência mais alta (até 90 MPa) não são abordados pelas normas e, portanto, faz-se necessário verificar se as formulações propostas nas normas NBR 8800 (2008) e NBR 16239 (2013), ANSI/AISC 360-10 (2010) e EN 1994-1-1 (2004) se mantêm válidas, apesar desse tipo de concreto não estar incluído em seus respectivos escopos.

Giakoumelis e Lam (2004) ensaiaram pilares mistos curtos com concretos de resistência até 104,9 MPa e observaram que os resultados obtidos pelas fórmulas de dimensionamento do EN 1994-1-1 (2004) eram consistentes com os resultados experimentais. Os autores constataram que as formulações propostas poderiam ser extrapoladas para concretos de alto desempenho. A previsão do ACI 318-95, por outro lado, se mostrou conservadora, fornecendo resultados 35% menores que a resistência real dos pilares por não levar em conta o efeito do confinamento no concreto.

A maioria das pesquisas trata de pilares mistos curtos com concreto de alto desempenho, fazendo-se necessário um estudo mais aprofundado que leve em consideração pilares mais esbeltos. Portolés et al. (2012) ensaiaram 37 pilares tubulares circulares com comprimentos até 3,1 metros submetidos à flexo-compressão e constataram que, para valores altos de excentricidade, o aumento da resistência do concreto não conduz a um aumento significativo da resistência última da seção mista (comparando concretos de 70 e 90 MPa). Apesar disso, a possibilidade de se alcançar um comportamento dúctil pode justificar seu uso. Observou-se que as previsões do EN 1994-1-1 (2004) eram bastante realistas. Parte dos resultados se mostrou contrário à segurança, mesmo que a diferença fosse pouca.

Por outro lado, Dundu (2012) ensaiou pilares de parede fina curtos e esbeltos preenchidos com concreto de resistência convencional submetidos à compressão pura e observou que os resultados do EN 1994-1-1 (2004) tendem a ser conservadores na maioria dos casos.

De Nardin (2003) realizou ensaios e análises numéricas e constatou que, apesar de não tratarem de concretos de alto desempenho, a maioria das normas de dimensionamento apresentou uma boa previsão para os resultados reais nesse caso. Observa-se, contudo, que os resultados do EN 1994-1-1 (2004) se apresentaram inseguros em alguns dos pilares ensaiados.

Gomes et al. (2015) realizaram análises numéricas de pilares mistos com concretos de resistência convencional e de alto desempenho submetidos à compressão normal e observaram que as prescrições das normas NBR 8800 (2008), ANSI/AISC 360-10 (2010) e EN 1994-1-1 (2004) conduzem a resultados bastante satisfatórios quando comparados aos resultados numéricos.

No presente trabalho, foram confeccionados modelos numéricos para simulação de pilares mistos de aço preenchidos por concretos de resistência convencional e de alto desempenho submetidos à flexo-compressão. Realizou-se uma análise paramétrica e as curvas

de interação esforço normal – momento fletor obtidas foram confrontadas com as prescrições das normas brasileira, americana e europeia.

2 ANÁLISE NUMÉRICA

Todos os modelos numéricos foram confeccionados por meio de linguagem de programação paramétrica APDL no software Ansys Mechanical APDL 14.0. Após a implementação dos modelos, os resultados numéricos foram confrontados com resultados experimentais e validados.

2.1 Elementos utilizados

O perfil de aço foi modelado utilizando o elemento SHELL181, adequado à modelagem de placas e cascas de paredes finas. Cada elemento do tipo SHELL181 possui 4 nós com 6 graus de liberdade (translação e rotação nos eixos x , y e z). O núcleo de concreto foi representado pelo elemento volumétrico de tipo SOLID65. Cada elemento volumétrico possui 8 nós com três graus de liberdade por nó (translação nos eixos x , y e z). Este elemento é apropriado para a modelagem de concreto armado, permitindo inclusive a adição de armaduras em três direções. Entre suas particularidades, estão as capacidades de simular fissuração e esmagamento do concreto em múltiplas direções. Existe ainda a capacidade de simular a plasticidade e fluência do concreto.

As malhas foram geradas como mapeadas, com elementos quadrilaterais para as cascas e como hexaédricos para os volumes. A Fig. 1 mostra a distribuição dos elementos tanto no volume de concreto quanto no perfil de aço em parte do modelo numérico.

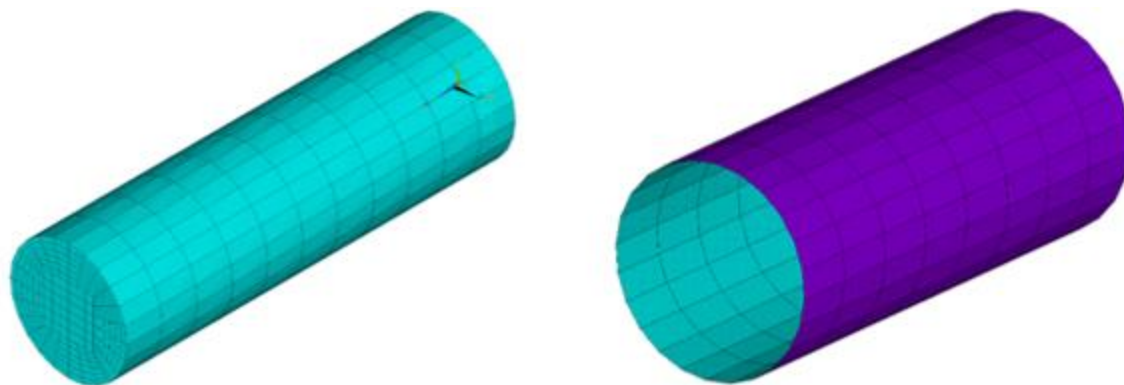


Figura 1 – Detalhe da malha de elementos finitos gerada. Na esquerda os elementos volumétricos de concreto e na direita os elementos da casca de aço.

2.2 Modelo constitutivo dos materiais

2.2.1 Aço

O material aço foi modelado como multilinear isotrópico, com plasticidade definida pelo critério de Von Mises. Seu comportamento uniaxial foi descrito pela curva tensão-deformação proposta por Maggi (2004) (Fig. 2). O coeficiente de Poisson e o módulo de elasticidade adotados foram 0,3 e 200 GPa respectivamente. As tensões residuais no perfil de aço não foram modeladas, uma vez que são pequenas em tubos circulares.

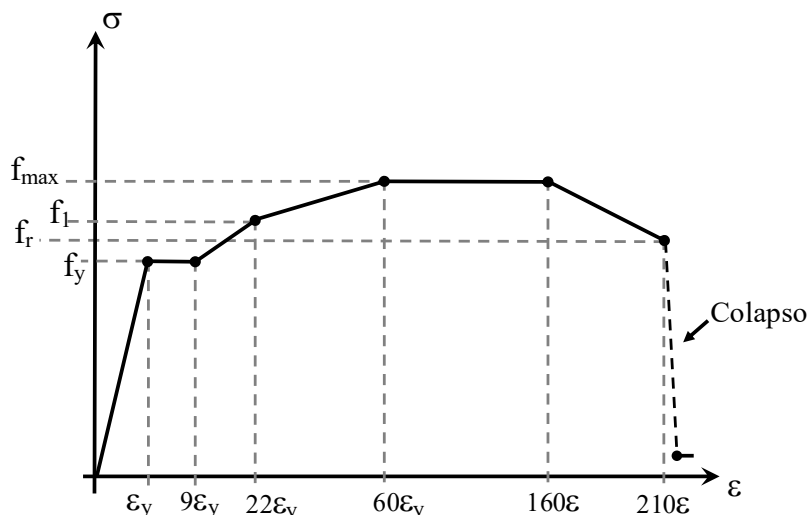


Figura 2 - Curva tensão-deformação do aço. (Maggi, 2004)

2.2.2 Concreto

O comportamento uniaxial do concreto foi definido segundo a curva tensão vs. deformação proposta pela NBR 6118 (2004) (Fig. 3). Os valores de módulo de elasticidade e de coeficiente de Poisson foram adotados segundo as prescrições da norma.

O critério de falha adotado foi o de Willam-Warnke, padrão do elemento SOLID65. Adotou-se o critério de material multilinear elástico (MELAS) do Ansys, com os coeficientes de transferência de cisalhamento em fissuras abertas e fechadas iguais a 0,6 e 0,9 respectivamente, conforme proposto por Contamine et al. (2001). A resistência à tração adotada foi de 10% do f_{ck} e o esmagamento foi desabilitado a fim de facilitar a convergência da solução, de maneira análoga a Queiroz (2003).

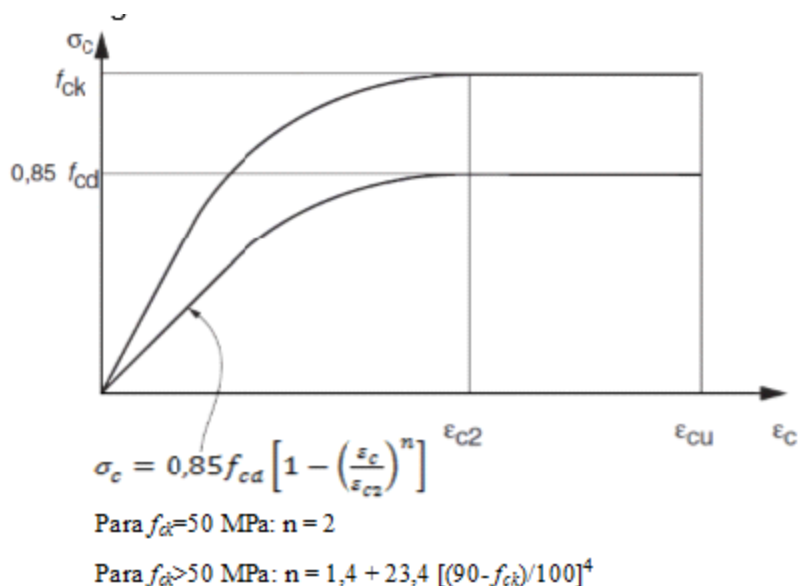


Figura 3 - Curva tensão vs. deformação do concreto. Fonte: NBR 6118:2014

2.3 Malha de elementos finitos

Com vistas a garantir a precisão dos resultados numéricos sem que se aumentasse excessivamente o tempo computacional, foi realizado um estudo para determinar a densidade de malha que conduziisse a resultados suficientemente precisos sem prejudicar a performance computacional. Malhas similares à já apresentada foram geradas, porém com densidades variadas.

Gerou-se uma malha mapeada definida pelo número de divisões ao longo de cada linha da seção transversal. A divisão na direção longitudinal foi definida de maneira que os elementos não fossem muito distorcidos, isto é, de maneira que não houvesse elementos com uma dimensão muito maior que as outras. No modelo utilizado, isso correspondeu a um número de divisões na direção longitudinal 15 vezes maior que na direção transversal. A quantidade de divisões foi então sucessivamente aumentada até que houvesse convergência de alguns dos resultados.

Para essa análise, utilizou-se um modelo simplificado que não contemplava as não-linearidades geométricas e dos materiais. Para cada número de divisões, anotou-se o número de elementos, a carga crítica de flambagem e o encurtamento do pilar. Obteve-se então a variação percentual relativa entre duas medições consecutivas. Os valores obtidos são apresentados nas Fig. 4 e Fig. 5.

Com base nesses resultados, optou-se por um modelo com seis divisões em cada linha da seção transversal (gerando um total de 19.008 elementos).

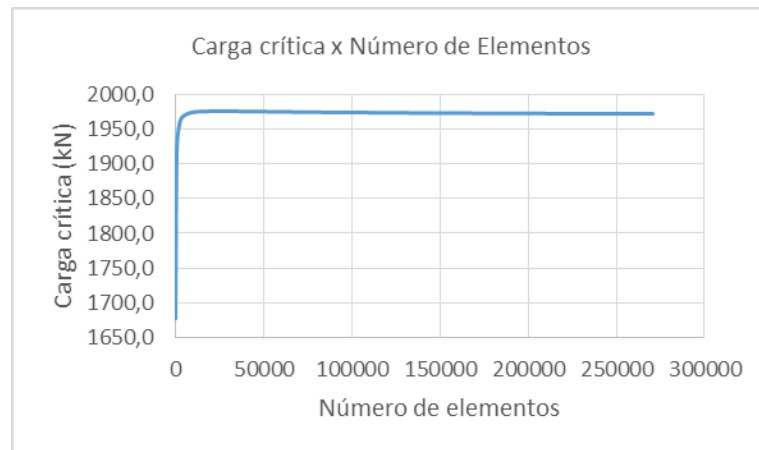


Figura 4 - Variação da carga crítica de flambagem com o aumento do número de elementos

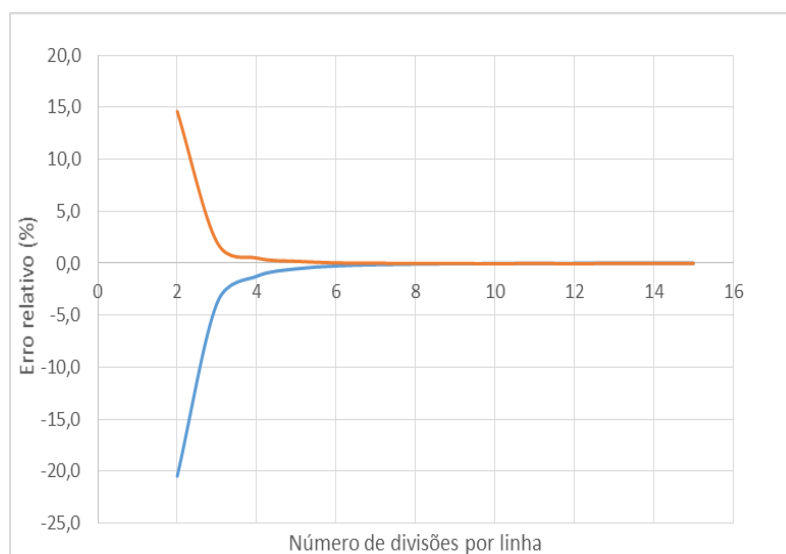


Figura 5 - Variação relativa entre medições de carga crítica de flambagem e de encurtamento do pilar com o aumento do número de divisões por linha

2.4 Modelo numérico

O modelo numérico confeccionado, além do tubo de aço e do volume de concreto, possuía duas placas de aço em suas extremidades com espessura de 100 mm para permitir uma melhor transmissão dos esforços nas regiões de aplicação da carga e do apoio. As dimensões em planta da chapa variaram de acordo com a excentricidade que se desejasse aplicar para o carregamento de flexo-compressão. A Fig. 6 apresenta um dos modelos confeccionados, mostrando o perfil tubular, o núcleo de concreto e as chapas utilizadas para transmissão dos esforços.

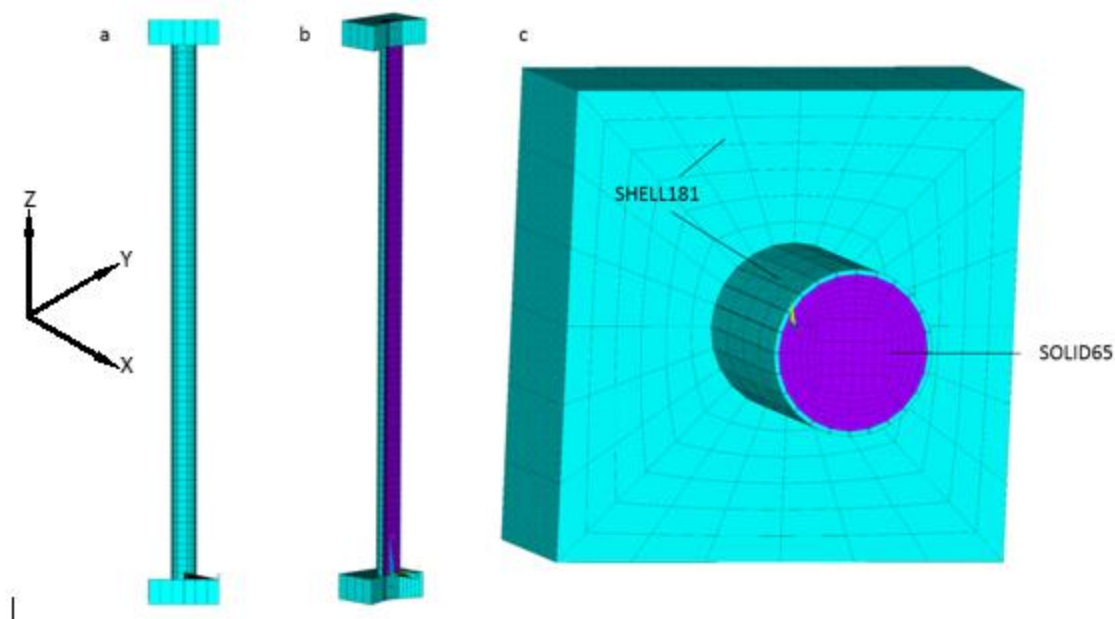
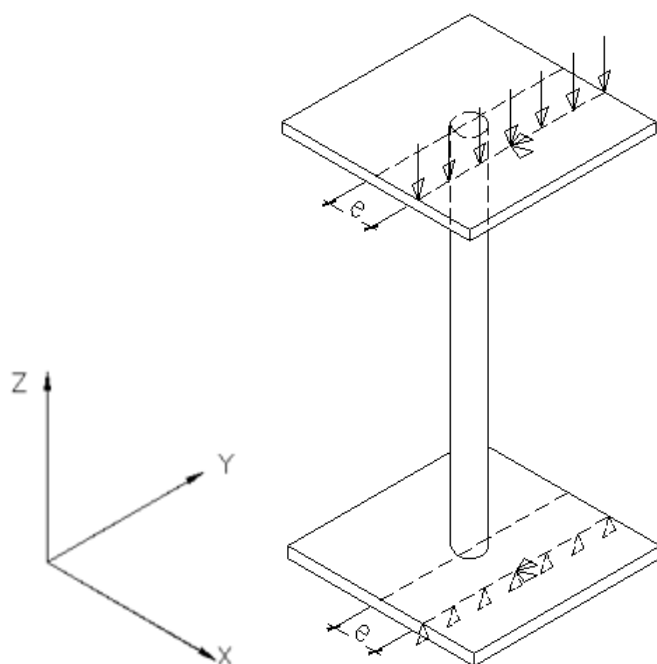


Figura 6 - Elevação, corte longitudinal e seção transversal do pilar, apresentando os tipos de elementos usados em cada parte do modelo.

2.5 Condições de contorno

Os nós selecionados para aplicação da força na placa superior foram aqueles cuja distância ao centro do pilar na direção X eram iguais à excentricidade desejada (e). No nó central deste eixo de aplicação de força, impediu-se as translações nas direções X e Y e a rotação na direção Z . Na placa inferior, os nós cuja distância ao centro na direção X eram iguais à excentricidade, tiveram a translação na direção Z impedida e além disso, no nó central deste eixo, as translações foram impedidas em todas as direções e a rotação em torno de Z , de forma que o pilar comportou-se como birrotulado. A Fig. 7 esclarece as condições de contorno aplicadas.



. Figura 7 - Condições de contorno e carregamento dos pilares.

2.6 Formulação da análise numérica e método de solução

A solução do modelo numérico foi realizada considerando-se não-linearidades tanto de material quanto geométricas com grandes deslocamentos. Para a solução, adotou-se o procedimento iterativo incremental completo de Newton-Raphson, dividido em 100 passos de carga e com até 200 iterações por passo.

2.7 Validação dos modelos

Foram confeccionados modelos simulando 5 protótipos ensaiados por Dundu (2012) e Portolés et al. (2011) a fim de validar a modelagem numérica. Dundu (2012) ensaiou 24 protótipos de pilares biengastados submetidos à compressão simples. Desses modelos, três (a saber, S1-2, S1-3 e S1-4) foram simulados e analisados. Neste caso, os nós de todas as chapas tiveram os deslocamentos restringidos nas direções X e Y e as rotações impedidas nas três direções. A chapa inferior teve os deslocamentos restritos na direção Z e o carregamento de compressão foi aplicado distribuído em toda a chapa superior (Fig. 8).

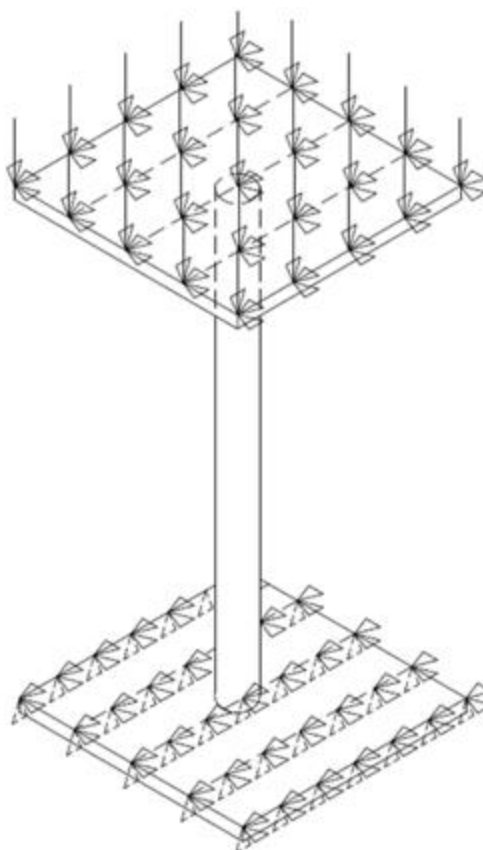


Figura 8 - Condições de contorno do modelo ensaiado por Dundu (2012).

Modelos equivalentes aos protótipos C100-3-2-30-20-1 e C100-3-2-70-20-1 de Portolés et al. (2011) também foram simulados. Nesse caso, as condições de contorno foram iguais às apresentadas no item 2.5. Os dados dos modelos de validação e as cargas últimas numéricas e experimentais estão apresentadas na Tabela 1. As curvas carga *vs.* deslocamento do centro do pilar foram comparadas (Fig. 9) no caso dos protótipos de Portolés et al. (2011). Para as simulações correspondentes aos pilares ensaiados por Dundu (2012), as curvas não puderam ser comparadas devido a imperfeições existentes no topo do pilar real que não podiam ser simuladas computacionalmente, mas produziam efeito significativo na curva experimental.

Tabela 1- Comparação dos resultados numéricos e experimentais para validação

<i>Protótipo</i>	<i>D</i> (mm)	<i>L</i> (m)	<i>f_y</i> (MPa)	<i>f_{ek}</i> (MPa)	<i>e</i> (mm)	<i>P_{num}</i> (kN)	<i>P_{exp}</i> (kN)	<i>Diferença</i> (%)
<i>SI-2</i>	114,85	1,5	354,05	40,3	0	705,3	688,2	-2,4
<i>SI-3</i>	114,85	2,0	354,05	40,3	0	688,0	632,2	-8,1
<i>SI-4</i>	114,85	2,5	354,05	40,3	0	525,0	566,1	7,8
<i>C100-3-2-30-20-1</i>	100,00	2,135	322,0	32,7	20	198,0	181,56	-8,3
<i>C100-3-2-70-20-1</i>	100,00	2,135	322,0	34,5	20	258,0	248,58	3,7

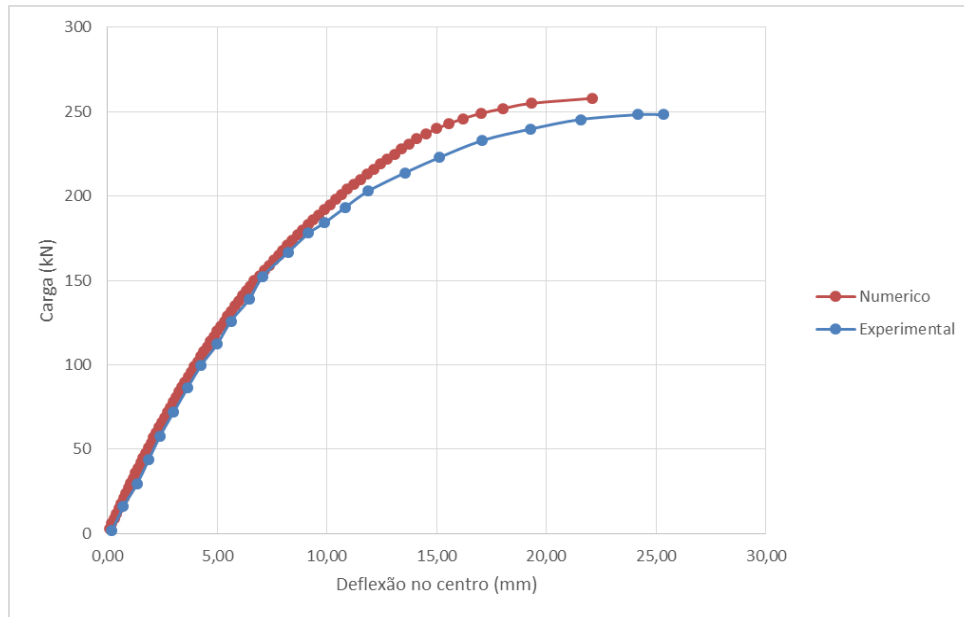


Figura 9 - Comparação das curvas de carga vs. deformação no centro para um dos ensaios de Portolés et al. (2011)

Em virtude das pequenas diferenças entre os resultados experimentais e numéricos, o modelo foi considerado validado.

3 ANÁLISE PARAMÉTRICA E RESULTADOS

Trezentos e trinta e dois modelos numéricos foram processados, variando-se a resistência à compressão do concreto, a excentricidade do carregamento e o diâmetro do tubo de aço. Dos modelos implementados, cento e quarenta possuíam diâmetro de 219,1 mm e f_{ck} igual a 30, 50, 70 e 90 MPa e os demais modelos possuíam diâmetro de 355,6 mm e as mesmas resistências de concreto. Todos os modelos possuíam comprimento de 3 metros e espessura de 8,8 mm (valor que, de acordo com as três normas avaliadas, não conduz a flambagem local do tubo de aço).

Os modelos foram simulados com excentricidade inicial de 2 mm, a qual foi então aumentada de 2 em 2 mm, até que se atingisse um ponto em que as tensões de tração no concreto passassem a ser muito grandes, acarretando problemas de convergência na solução. Para cada um dos valores de excentricidade, anotou-se a carga última numérica do pilar.

Os valores de momentos fletores últimos dos pilares foram calculados como o produto da carga última de compressão nos pilares pela excentricidade, a qual vale o valor inicial de excentricidade mais o deslocamento lateral no meio do comprimento do pilar. Assim sendo, o momento fletor foi calculado por meio da Eq. 1.

$$M = N_{máx,num} (e_0 + \delta_{centro}). \quad (1)$$

A partir desses resultados numéricos, foi possível traçar as curvas de interação com o eixo das ordenadas representando a razão entre a carga última e a força axial de compressão característica correspondente à plastificação total da seção (N_{pl}), e com o eixo das abscissas mostrando a razão entre o momento fletor correspondente à carga última e o momento fletor

característico de plastificação (M_{pl}). As curvas de interação foram então comparadas às previsões normativas dos três códigos já citados.

As Fig. 10 e Fig. 11 apresentam as curvas de interação obtidas e as curvas calculadas segundo as normas NBR 8800 (2008), ANSI/AISC 360-10 (2010) e EN 1994-1-1 (2004). Observa-se que os valores característicos obtidos pelo ANSI/AISC 360-10 (2010), quando comparados aos resultados numéricos, estão todos do lado seguro da curva. Esse modelo de cálculo foi o único a apresentar tal desempenho em todos os pilares analisados. Dos casos avaliados, as proposições da NBR 8800 (2008) apresentaram resultados bastante satisfatórios, especialmente no caso do diâmetro de 355,6 mm. Estes pilares apresentaram curvas de interação numéricas ligeiramente superiores às da norma brasileira em boa parte do intervalo avaliado, o que conduz à segurança. Observa-se que, à medida que o f_{ck} aumenta, a região em que os valores de resistência numéricos são inferiores às prescrições normativas diminui. Nos pilares com f_{ck} de 30 MPa, toda a curva se mostrou na área de segurança. Para f_{ck} de 50 MPa, a resistência numérica ficou abaixo da normativa em aproximadamente 80% de M_{pl} , enquanto para os pilares de 70 e 90 MPa esse intervalo é reduzido para 76% e 72% respectivamente. Nos pilares com menor diâmetro, as previsões normativas já não foram tão próximas aos resultados numéricos. A curva numérica se cruzou com a da norma para valores de 33%, 34%, 26% e 25% respectivamente para os valores de f_{ck} de 30, 50, 70 e 90 MPa.

As curvas de interação calculadas segundo o EN 1994-1-1 (2004) quase sempre se mostraram acima dos valores obtidos numericamente. Para o menor valor de diâmetro, a diferença entre os resultados foi considerável. Para o diâmetro de 355,6 mm, as previsões da norma europeia se mostraram bastante próximas dos resultados numéricos, apesar de estar insegura em alguns pontos. No caso do diâmetro de 219,1 mm, a curva europeia apresenta resistências maiores que os resultados numéricos para todos os casos, o que pode conduzir a insegurança da norma. Liu et al., Zegiche e Chaoui apud Portolés et al. (2011) e Caldas (2004) também registraram resultados inseguros para a referida norma.

Uma das justificativas para se obter melhores resultados segundo a norma europeia para os pilares de maior diâmetro pode residir no fato de esses pilares possuírem relações geométricas que atendem aos requisitos necessários para que se considere o efeito do confinamento do concreto. Desta forma, o fenômeno tem influência nas curvas de interação. Para os pilares mistos com f_{ck} de 70 e 90 MPa, a esbeltez reduzida era superior a 0,5, de maneira que as suas curvas não levam em consideração o efeito de confinamento, reduzindo o intervalo de resultados seguros.

Com relação às curvas numéricas obtidas, observa-se que o estudo se ateve a valores de razão N/N_{pl} superiores a 0,38. A partir desses valores, o excesso de tração no concreto dos pilares dificultou a convergência da solução e não foi possível realizar o traçado completo das curvas. Percebe-se que quanto maior a resistência à compressão do concreto (e consequentemente, maior a resistência à tração), maior foi a abrangência da curva. O aumento do diâmetro também permitiu que se obtivesse valores para um intervalo maior da curva. Para os pilares com $D = 219,1$ mm, as curvas atingiram 58%, 65%, 72% e 74% de M_{pl} para os pilares com concreto de 30, 50, 70 e 90 MPa respectivamente. Já os pilares com $D = 355,6$ mm as curvas numéricas alcançaram 68%, 85%, 95% e 106% de M_{pl} considerando a mesma sequência de classes de resistência do concreto.

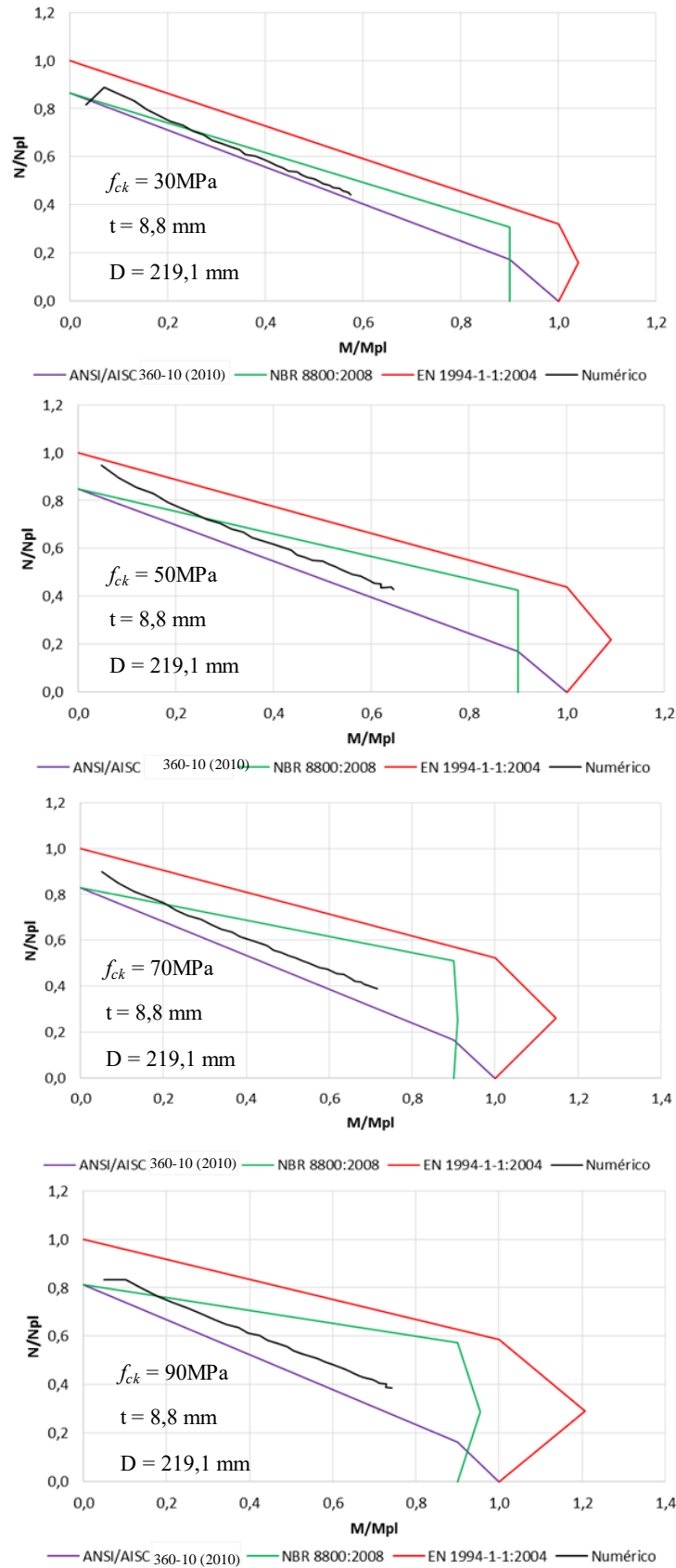


Figura 10- Curva de interação para os resultados numéricos, ANSI/AISC 360-10 (2010), NBR 8800 (2008) e EN1194-1-1 (2004). Modelo com diâmetro 219,1 mm; espessura 8,8 mm e (a) $f_{ck}=30 \text{ MPa}$; (b) $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$; (c) $f_{ck}=70 \text{ MPa}$ e (d) $f_{ck} = 90 \text{ MPa}$

COMPORTAMENTO À FLEXPRESSÃO DE PILARES MISTOS DE AÇO E CONCRETO TUBULARES CIRCULARES PREENCHIDOS COM CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

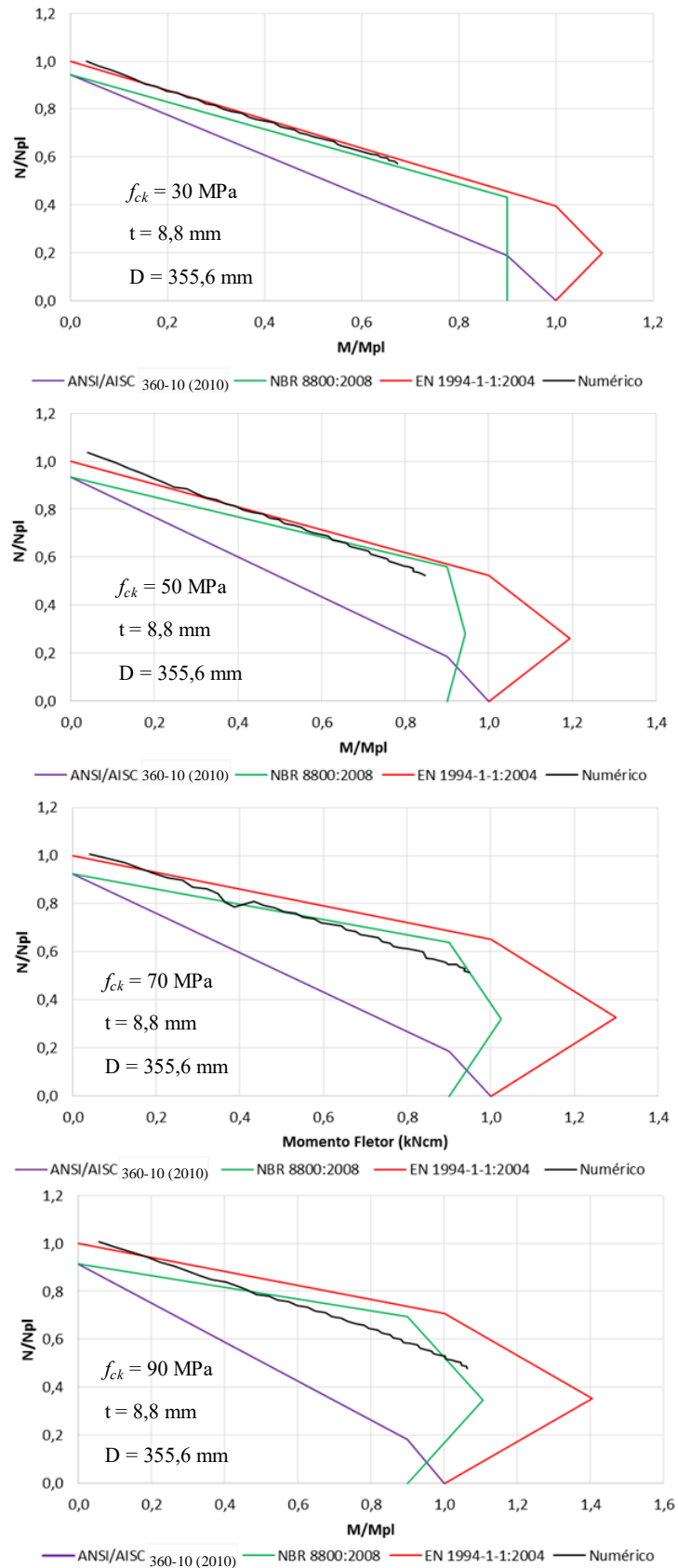


Figura 11 - Curva de interação para os resultados numéricos, ANSI/AISC 360-05:2005, NBR 8800:2008 e EN1194-1-1:2004. Modelo com diâmetro 355,6 mm; espessura 8,8 mm e (a) $f_{ck}=30$ MPa; (b) $f_{ck} = 50$ MPa; (c) $f_{ck}=70$ MPa e (d) $f_{ck} = 90$ MPa

As Fig. 12 e Fig. 13 mostram as curvas de interação esforço normal vs momento fletor para cada um dos diâmetros estudados conforme se varia a resistência do concreto. Como já era de se esperar, quanto mais resistente é o concreto, mais resistente será o pilar. Pode-se notar também que uma variação gradual na resistência à compressão do concreto (intervalos de 20 MPa) induziu a um aumento na capacidade resistente à flexo-compressão dos pilares levemente decrescente. Como exemplo, os pilares com $D = 355,6$ mm tiveram um aumento médio na resistência de 28,7% com a alteração do f_{ck} de 30 para 50 MPa, de 18,0% com a alteração do f_{ck} de 50 para 70 MPa e de 16,2% ao alterar o f_{ck} de 70 para 90 MPa. A Tabela 2 apresenta a variação para os dois diâmetros estudados. Estes resultados estão de acordo com as observações de Portolés et al. (2012).

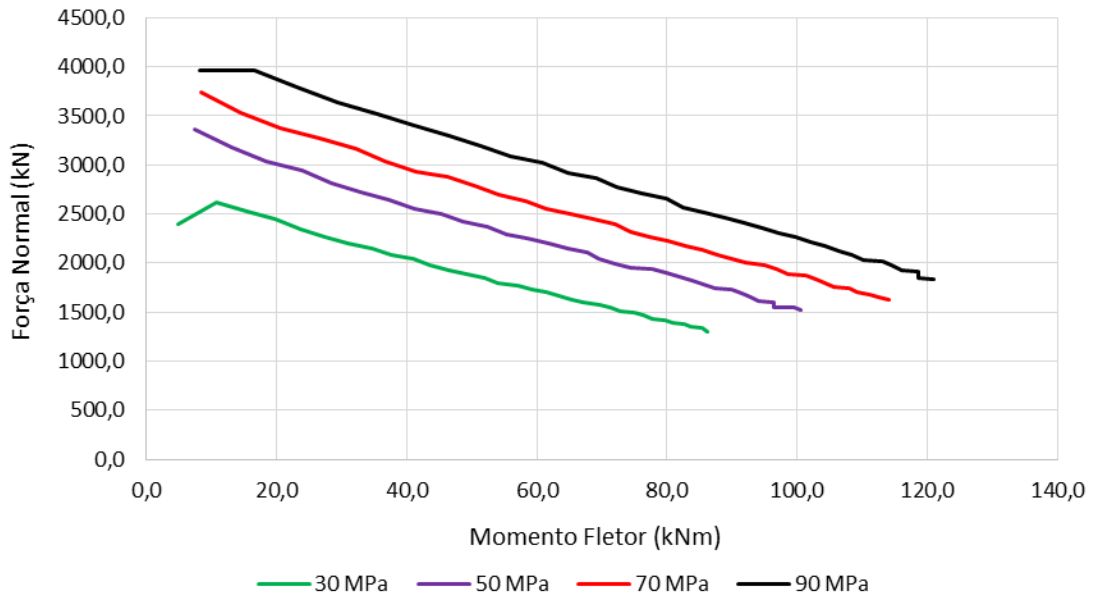


Figura 12 - Curva de interação para vários f_{ck} – Modelo com $D = 219,1$ mm; $t = 8,8$ mm.

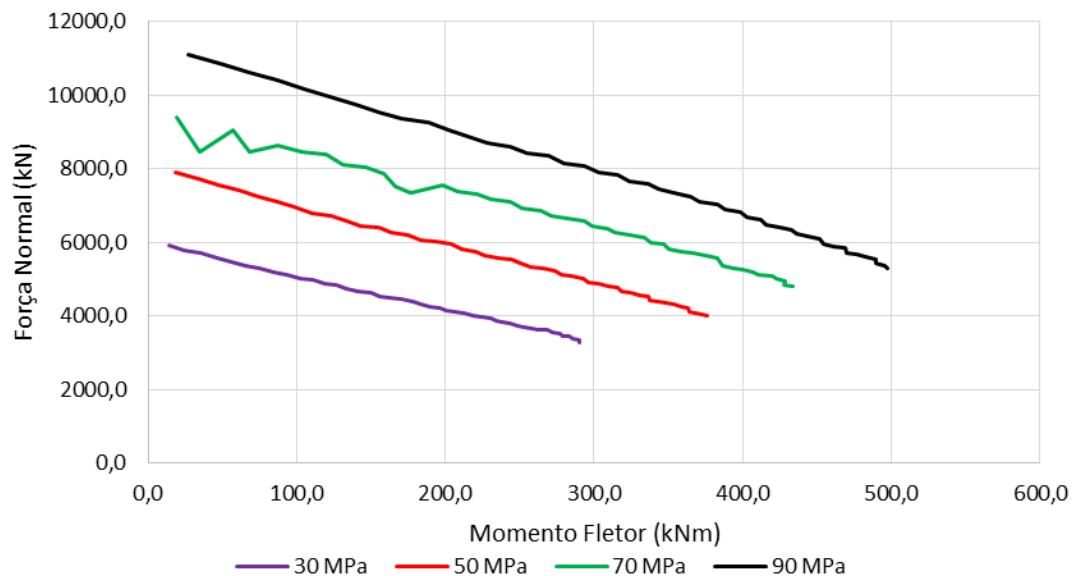


Figura 13 - Curva de interação para vários f_{ck} – Modelo com $D = 355,6$ mm; $t = 8,8$ mm.

Tabela 2 - Aumento percentual médio do esforço resistente dos pilares mistos devido ao aumento do f_{ck}

D (mm)	Aumento de 30 para 50 MPa	Aumento de 50 para 70 MPa	Aumento de 70 para 90 MPa
219,1	18,5%	10,9%	10,6%
355,6	28,7%	18,0%	16,25

4 CONCLUSÕES

No presente estudo, foram analisados os modelos numéricos de trezentos e trinta e dois pilares mistos de aço e concreto submetidos à flexo-compressão. Os resultados numéricos foram comparados com as resistências determinadas pelas normas de dimensionamento ABNT NBR 8800 (2008), ANSI/AISC 360-10 (2010) e EN 1994-1-1 (2004).

Observa-se, em geral, que a norma ANSI/AISC 360-10 (2010) apresenta, na maioria dos casos, resultados excessivamente conservadores. O EN 1994-1-1 (2004), por outro lado, apresenta frequentemente resultados de resistência superiores aos obtidos numericamente nesse estudo. As prescrições da ANBT NBR 8800 (2008), por sua vez, se mostraram as mais próximas dos resultados numéricos, fornecendo resistências às vezes superiores e às vezes inferiores aos valores obtidos numericamente. Aparentemente, o aumento do f_{ck} não aumenta ou diminui a precisão das normas, sugerindo que o escopo das mesmas pode ser expandido para f_{cks} até 90 MPa.

Também pode-se notar que um aumento gradual na resistência à compressão do concreto sempre induziu ao aumento da capacidade resistente à flexo-compressão dos pilares, porém em uma tendência levemente decrescente. Os modelos também apresentaram uma elevação na sua capacidade resistente com o aumento do diâmetro do tubo de aço que é em média superior ao aumento da área do núcleo de concreto do pilar analisado.

Os autores recomendam mais pesquisas com protótipos experimentais e também numéricos, sobretudo em pilares mistos preenchidos com concretos de alto desempenho, a fim de aprimorar e ratificar as conclusões obtidas neste estudo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do Espírito Santo, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil dessa universidade e às instituições brasileiras de apoio à pesquisa CAPES, CNPq e FAPES.

6 REFERÊNCIAS

American Institute of Steel Construction. *ANSI/AISC 360-10. Specification for structural steel buildings*. Chicago, 2010.

ANSYS, *Finite element program user's manuals*, Versão 14.0, ANSYS, Inc.,Crononsburg, Estados Unidos, 2011.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *NBR 16239. Design of steel and composite structures for buildings using hollow sections*. Rio de Janeiro, 2013.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *NBR 6118. Design of concrete structures - Procedure*. Rio de Janeiro, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. *NBR 8800. Design of steel and composite structures for buildings*. Rio de Janeiro, 2008.

Caldas, R. B.. *Análise Numérica de Pilares Mistos Aço-Concreto*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Ouro Preto, 2004.

Contamine, R.; Si-Larbi, A.; Than, N.Q.; Hamelin, P. *Numerical Modeling of Reinforced Concrete Beams Under Shear Stress With and Without External Textile-Reinforced Concrete Reinforcement*. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol 30 (15), p. 1293-1303, 2011.

De Nardin, S (2003). *Pilares mistos preenchidos: estudo da flexo-compressão e de ligações viga-pilar*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2003.

Dundu, M. *Compressive Strength of Circular Concrete Filled Steel Tube Columns*. *Thin-Walled Structures*, Vol 56, p. 62-70, 2012.

European Committee of Standardization. *EN 1994-1-1: Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1.1: General rules and rules for buildings*. Bruxelas, 2004.

Giakomelis, G.; Lam, D. *Axial capacity of circular concrete-filled tube columns*. *Journal of Constructional Steel Research*, V. 60, p. 1049-1068, 2004.

Gomes, H. D.; Dias, J. V. F.; Calenzani, A. F. G. *Análise Numérica de Pilares Mistos de Aço e Concreto Tubulares Circulares com Concreto de Alto Desempenho Submetidos à Compressão Pura*. Trabalho apresentado no CILAMCE 2015, Rio de Janeiro, RJ, 2015

Maggi, Yuri Ivan. *Análise do Comportamento Estrutural de Ligações Parafusadas Viga-Pilar com Chapa de Topo Estendida*. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004.

Portolés, J. M.; Romero, M. L.; Bonet, J. L.; Filippou, F. C. Experimental study of high strength concrete-filled circular tubular columns under eccentric loading. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol 67 (4), p. 623-633, 2011.

Queiroz, F. D. *Modelos para análise de pilares mistos pelo método dos elementos finitos*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia, Belo Horizonte, 2003.