

COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS NORMATIVOS PARA O CÁLCULO DA RESISTÊNCIA DE PILARES MISTOS DE SEÇÃO CIRCULAR PREENCHIDOS COM CONCRETO

A COMPARATIVE STUDY OF STANDARDIZED METHODS FOR CALCULATING THE RESISTANCE OF CONCRETE-FILLED STEEL TUBES

*Emerson Alexandro Bolandim*¹

*Renato Silva Nicoletti*²

*Guilherme Augusto Nascimento Amorim*¹

*Alex Sander Clemente de Souza*³

Resumo: Nos pilares mistos de seção tubular preenchidos com concreto, conhecidos como “*concrete filled steel tubes*” (CFSTs), o efeito de confinamento passivo fornecido pelo tubo de aço para o núcleo de concreto tem elevada importância. Visto isso, o presente trabalho buscou comparar, por meio de análises numéricas, a capacidade resistente à compressão de modelos numéricos de pilares mistos de seção tubular, preenchidos com concreto, com a previsão das principais normas técnicas existentes. Para tanto, inicialmente foi construído e verificado um modelo numérico e, posteriormente, conduziu-se uma análise paramétrica com 10 CFSTs, variando o diâmetro e a espessura do perfil circular, a taxa de aço e o comprimento destravado. Verificou-se que, conforme a relação D/t dos CFSTs aumentou, menor foi a divergência percentual entre as resistências dos modelos analíticos e a do modelo numérico, o que se atribui à redução do efeito de confinamento ocasionada pelo aumento da relação D/t . Algumas normas apresentaram previsões de capacidade resistente superiores à do modelo numérico, porém a maior divergência foi de apenas 7%.

Palavras-chaves: Confinamento; Pilares mistos de aço e concreto; Análises numéricas.

Abstract: *In concrete-filled steel tube (CFST) composite columns, the passive confinement effect provided by the steel tube to the concrete core is of high importance. In light of this, the present study aimed to compare, through numerical analyses, the compressive strength capacity of numerical models of concrete-filled tubular section pillars with the predictions of the main existing technical standards. To achieve this, initially, a numerical model was constructed and verified, followed by a parametric analysis involving 10 CFSTs. The parameters varied included the diameter and thickness of the circular profile, the steel ratio, and the unbraced length. It was observed that as the D/t ratio of CFSTs increased, there was a lower percentage divergence between the strengths of the analytical models and that of the numerical model. This was attributed to the reduction of the confinement effect caused by the increased D/t ratio. Some standards provided predictions of strength capacity higher than that of the numerical model, although the greatest discrepancy was only 7%.*

Keywords: *Confinement; Steel-concrete composite columns; Numerical analyzes.*

¹Universidade Estadual Paulista, Campus Ilha Solteira/SP – Brasil, emerson.bolandim@unesp.br, guilherme.n.amorim@usp.br

²Universidade de São Paulo, Campus São Carlos/SP – Brasil, nicolettisrenato@gmail.com

³Universidade Federal de São Carlos, Campus São Carlos/SP – Brasil, alex@ufscar.br

1 Introdução

Os pilares mistos de seção tubular preenchidos com concreto, conhecidos como "*concrete filled steel tubes*" (CFSTs), são elementos estruturais com elevada capacidade resistente à compressão, grande ductilidade e excelente desempenho em situações de sismo e incêndio. Nessa condição específica, a resistência do pilar misto preenchido não resulta simplesmente na soma das resistências dos componentes de aço e concreto. Isso ocorre devido ao aumento na capacidade de resistência à compressão axial do pilar preenchido, decorrente do efeito de confinamento do concreto pelo tubo de aço.

O confinamento é estabelecido pela aplicação de pressões laterais, o que promove não apenas o aumento da capacidade de resistência, mas também da ductilidade. Esse confinamento pode ser ativo, quando obtido por meio da aplicação de protensão transversal ou de materiais expansivos confinados. Alternativamente, ele pode ser alcançado passivamente, quando as pressões laterais são geradas pela restrição da expansão lateral do concreto, utilizando estribos, tubos de aço e camisas de compósitos coladas (CARRAZEDO, 2002).

Em relação ao confinamento passivo em pilares mistos com seção circular, conforme De Nardin (1999) descreve, à medida que as deformações longitudinais aumentam, a expansão lateral do concreto não confinado ultrapassa gradualmente a do aço. Isso resulta na geração de pressões radiais na interface aço-concreto. O concreto envolvido pelo perfil tubular assume um estado triaxial de tensões, enquanto o perfil tubular se encontra em um estado biaxial de tensões. Devido a esse estado biaxial de tensões, o perfil não consegue manter sua resistência ao escoamento, levando à transferência de esforços para o núcleo de concreto.

Para compreender como o comportamento do concreto é modificado pelo efeito de confinamento, é possível examinar o mecanismo de falha desse material sob compressão axial. Em relação à microestrutura, aproximadamente 75% do concreto consiste em uma variedade de agregados (GERIN, 2020). Dado que os agregados são elementos rígidos no concreto, as forças de compressão se propagam por meio deles (Fig. 1a). Para manter o equilíbrio, surgem esforços laterais (Fig. 1b), os quais, no concreto não confinado, originam-se da coesão da pasta de cimento (CARRAZEDO, 2002). Uma vez superada a coesão, as primeiras microfissuras aparecem entre os agregados e a pasta de cimento (Fig. 1c). À medida que a força aplicada aumenta, as microfissuras se expandem, e o concreto atinge a ruptura com fissuração paralela à aplicação da força. O efeito de confinamento intensifica a coesão, resultando em um aumento na resistência à compressão do material (Fig. 1d). Vale ressaltar que o efeito do confinamento é potencializado devido à forma circular da coluna, o que leva a uma distribuição uniforme das tensões no concreto (HAN; LI; BJORHOVDE, 2014; AZEVEDO, 2018).

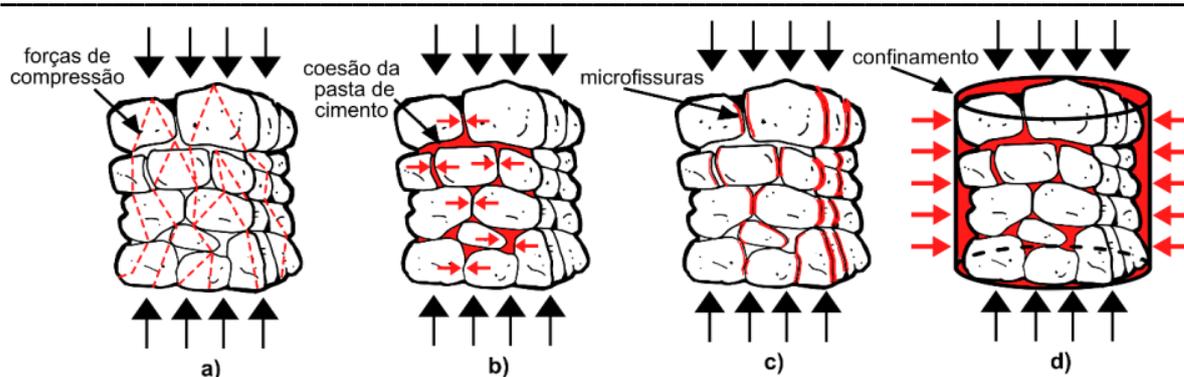


Figura 1. Ilustração do efeito de confinamento do concreto.

Fonte: Gerin (2020)

Por conta, sobretudo, do efeito do confinamento passivo, o mecanismo de falha dessas colunas é amplamente influenciado pela geometria, comprimento, diâmetro e espessura do tubo de aço, bem como pela resistência do concreto e do aço. Além disso, parâmetros como o grau de confinamento do concreto, fluência, retração, tensões residuais e o tipo de carregamento exercem um efeito significativo sobre o comportamento das CFSTs (GOURLEY *et al.*, 2008).

Mundialmente, há diversas normas técnicas que apresentam modelos para o cálculo da resistência à compressão plástica (N_{pl}) de CFSTs. Dentre elas, vale destacar as normas brasileiras NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 16239 (ABNT, 2013), a norma europeia EN 1994-1-1 (CEN, 2004), a norma americana AISC S360 (AISC, 2022) e a norma chinesa DBJ 13-51 (2010). O presente trabalho tem o objetivo de comparar, por meio de análises numéricas, a capacidade resistente à compressão de modelos numéricos de pilares mistos de seção tubular, preenchidos com concreto, com a previsão das principais normas técnicas existentes.

2 Materiais e Métodos

A etapa inicial da metodologia deste trabalho consistiu em desenvolver um modelo numérico que representasse o comportamento de CFSTs. Para tanto, um dos modelos experimentais de Gupta *et al.* (2007) foi verificado (vide Seção 2.1). Em seguida, utilizando como base o modelo numérico aferido, conduziu-se uma análise paramétrica com 10 CFSTs, variando o diâmetro e a espessura do perfil circular, a taxa de aço e o comprimento destravado. Em todos os modelos, a esbeltez reduzida foi mantida fixa em 0,20 e, com base em tal valor, o comprimento destravado do pilar foi calculado. Como o estudo foca na avaliação da resistência plástica da seção mista, buscou-se manter uma esbeltez reduzida que garantisse o desenvolvimento da plastificação completa da seção, antes de qualquer efeito de flexão, segunda ordem, e/ou instabilidade.

A Tabela 1 apresenta as principais características dos modelos da análise paramétrica. Por meio das simulações, determinou-se a capacidade resistente plástica à compressão da seção mista. Por fim, os resultados foram comparados com os obtidos pelos métodos analíticos das normas NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 16239 (ABNT, 2013), EN 1994-1-1 (CEN, 2004), AISC S360 (AISC, 2022) e DBJ 13-51 (2010), os quais estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 1 - Características dos modelos da análise paramétrica

Modelo	D [mm]	t [mm]	D/t	L [mm]	n _B	d _B [mm]
1	323,80	6,30	51,40	13.470	6	20,00
2	406,00	6,30	64,44	1.684	6	20,00
3	508,00	8,00	63,50	2.122	8	20,00
4	610,00	8,00	76,25	2.524	8	20,00
5	711,00	9,50	74,84	2.953	8	20,00
6	813,00	9,50	85,58	3.347	8	20,00
7	914,00	12,50	73,12	3.809	12	20,00
8	1.016,00	12,50	81,28	4.203	12	20,00
9	1.118,00	16,00	69,88	4.682	12	20,00
10	1.219,00	16,0	76,19	5.071	12	20,00

Nota: D e t são, respectivamente, o diâmetro externo e a espessura do perfil de aço circular, L é o comprimento destravado, n_B é o número de barras de armadura longitudinal e d_B é o diâmetro delas.

Fonte: Autoria própria (2024)

Tabela 2 - Métodos analíticos para o cálculo da resistência plástica à compressão de CFSTs

Norma técnica	Expressões para o cálculo da resistência última à compressão
NBR 8800 e NBR 16239	$N_{pl} = f_y A_a + 0,95 f_c A_c + f_s \cdot A_s$
EN 1994	$N_{pl} = \eta_a \cdot A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_c \left(1 + \eta_c \cdot \frac{t}{D} \cdot \frac{f_y}{f_c} \right) + A_s \cdot f_s$ $\eta_a = 0,25 \cdot (3 + 2 \cdot \lambda_0) \text{ e } \eta_c = 4,9 - 18,5 \cdot \lambda_0 + 17 \cdot \lambda_0^2$
AISC 360	$N_{pl} = f_y A_a + 0,95 \cdot f_c \left(A_c + A_s \cdot \frac{E_s}{E_c} \right)$ $N_{pl} = f_{sc} (A_a + A_c) + f_{sd} \cdot A_s$
DBJ 13-51-2010	$\xi = \frac{f_y A_a}{f_c A_c}$ $f_{sc} = f_c (1,14 + 1,02 \xi)$

Nota: N_{pl} é a resistência à compressão plástica; A_a, A_s e A_c são, respectivamente, as áreas da seção transversal do aço do perfil circular, das armaduras longitudinal e do concreto. λ₀ é a esbeltez reduzida do CFST, definida pelo item 6.7.3.3 do EN 1994-1-1 (CEN, 2004); e ξ é o índice de confinamento, calculado pelo quociente entre as resistências do aço do perfil e a do concreto.

Fonte: Autoria própria (2024)

Observando as formulações da Tabela 2, nota-se que apenas a norma DBJ 13-51 (2010) considera o efeito de confinamento por meio da variável ξ. Por sua vez, a norma europeia EN 1994-1-1 (CEN, 2004) considera tanto o efeito de confinamento de concreto quanto a redução da resistência do aço por meio dos parâmetros η_a e η_c, da esbeltez reduzida do pilar e da relação t/D. Por fim, as normas NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 16239 (ABNT, 2013) e AISC S360 (AISC, 2022) consideram uma melhora da capacidade resistente em seções circulares devido ao efeito de confinamento, por meio do fator multiplicador de 0,95, ao invés do tradicional 0,85, associado à redução da resistência do concreto devido ao efeito

deletério das cargas de longa duração. Vale ressaltar que o EN 1994-1-1 (CEN, 2004) também considera, no item 6.7.3.2-(1), a melhora da capacidade resistente de seções preenchidas, não necessariamente circulares, substituindo o fator multiplicador de $A_c \cdot f_{cd}$ de 0,85 por 1,0. O item 6.7.3.2-(6), apresenta um equacionamento específico para seções de pilares mistos circulares (Tabela 2).

Considerou-se cobertura de 25 mm e estribos com diâmetro de 5 mm espaçados a cada 10 cm. Além disso, os módulos de elasticidades longitudinais do aço do perfil, do aço da armadura e do concreto foram adotados como $E_a = 200$ GPa, $E_s = 210$ GPa e $E_c = 29,75$ GPa, respectivamente. Foi considerada uma resistência à compressão do concreto (f_c) de 40 MPa, enquanto as resistências ao escoamento do aço do perfil tubular e da armadura foram admitidas como $f_y = 345$ MPa e $f_s = 500$ MPa, respectivamente. As resistências plásticas calculadas neste trabalho não consideram os coeficientes minoradores para resistências de cálculo dos materiais.

2.1 Modelo numérico

Para as análises numéricas, o pacote computacional Abaqus® 6.13 (DASSAULT SISTÈMES SIMULIA, 2013) foi utilizado. Para constituir a malhas do perfil tubular e do núcleo de concreto, empregou-se o elemento de casca S4R. Para a representação das armaduras de aço, foram empregados elementos de treliça T3D2. A malha (Fig. 2) foi definida por análise paramétrica, resultando em uma dimensão média de $0,0679 \cdot D$ para o perfil tubular e para o núcleo de concreto, e metade dessa dimensão para as armaduras.

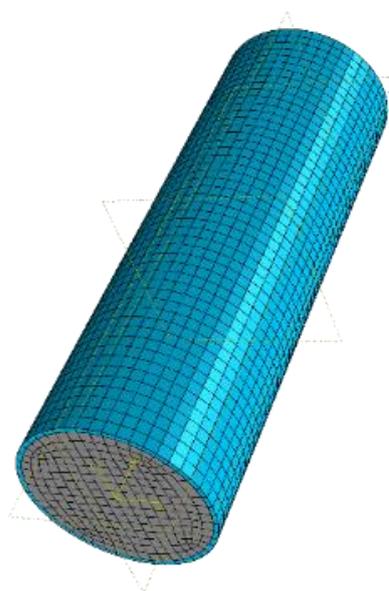


Figura 2. Malha do modelo numérico

Fonte: Autoria própria (2024)

Quanto às vinculações, a meia altura do pilar, a translação foi restringida em quatro pontos, posicionados nos eixos coordenados contidos no plano da seção transversal. Nas extremidades, numa seção transversal constituída pelo perfil de aço e pelo núcleo de concreto, foi criada uma restrição tipo "*rigid body*" e o carregamento pontual foi aplicado no centro (*reference points*) destas restrições. Assim, o modelo está auto equilibrado, ou seja, ele pode

se expandir radialmente (expansão lateral), mas não consegue rotacionar nem se mover no sentido longitudinal (sentido do carregamento externo).

Já em relação ao modelo constitutivo dos materiais, para os elementos de aço utilizou-se comportamento elastoplástico perfeito. Já para o concreto, adotou-se o modelo constitutivo *Concrete Damaged Plasticity* (CDP) de Carreira e Chu (1985) para o comportamento à compressão e o de Genikomsou e Polak (2015) para a tração. Para aprimorar a precisão das análises, o dano do concreto devido à compressão e à tração foi incorporado à modelagem. Nas análises do presente trabalho, adotou-se o modelo de dano de Yu *et al.* (2010). Para extrapolar o comportamento uniaxial para o multiaxial, outros parâmetros também foram fornecidos ao software Abaqus®, conforme indicado na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros utilizados no modelo constitutivo CDP

ψ	ε	σ_{bo}/σ_{c0}	K_c	ν
40°	0,1	1,16	2/3	0,00001

Nota: ψ é o ângulo de dilatação; ε é a excentricidade; σ_{bo}/σ_{c0} expressa o estado do material nos pontos no qual o concreto está sujeito a falhas para compressão biaxial; K_c consiste na proporção das distâncias entre o eixo hidrostático e, respectivamente, o meridiano de compressão e o meridiano de tração na seção transversal; ν é o parâmetro de viscosidade.

Fonte: Autoria própria (2024)

Acerca das interações entre as diversas partes que constituem o modelo numérico, a conexão entre a armadura e o núcleo de concreto foi estabelecida por meio da ferramenta "*embedded constraint*" do Abaqus®, restringindo os graus de liberdade dos nós da armadura apenas na direção de translação. Quanto à região de contato entre o concreto e o tubo de aço, adotou-se um contato tangencial do tipo "*Hard contact – Penalty*", utilizando o método clássico do multiplicador de Lagrange para impor as restrições. Além disso, foi considerado um coeficiente de atrito igual a 0,3 entre os materiais de aço e concreto (PATHIRANA *et al.*, 2016).

Para verificar o comportamento do modelo numérico, utilizou-se a pesquisa de Gupta *et al.* (2007), os quais analisaram 81 CFSTs. O principal objetivo desse estudo foi investigar os efeitos do diâmetro da seção mista, da relação D/t e da resistência do concreto de preenchimento na CFST. Além disso, os autores analisaram o impacto desses parâmetros no confinamento do núcleo de concreto. Neste trabalho, foi modelado e verificado apenas o modelo D4M4C2 de Gupta *et al.* (2007), o qual caracteriza-se por possuir diâmetro externo de 112,56 mm, diâmetro interno de 106,78 mm e comprimento de 340 mm. A capacidade de carga desse modelo foi de 788 kN, enquanto o modelo numérico apresentou capacidade de carga de 777 kN, aproximadamente. Como o erro relativo foi de somente 1,4%, é plausível afirmar que o modelo numérico representa de maneira adequada o comportamento real da estrutura em questão.

3 Resultados e discussões

Para os modelos da Tabela 1, a Fig. 3 apresenta os valores da resistência plástica à compressão do modelo numérico e a calculada pelos métodos analíticos citados na Tabela 2. A Fig. 4 apresenta, para os 10 modelos analisados, o valor do quociente entre a resistência plástica à compressão do modelo numérico ($N_{\text{numérico}}$) e a calculada pelos métodos normativos ($N_{\text{analítica}}$). O quociente superior a 1,0 implica em um resultado analítico conservador, enquanto o quociente inferior a 1,0 corresponde a um resultado analítico não conservador.

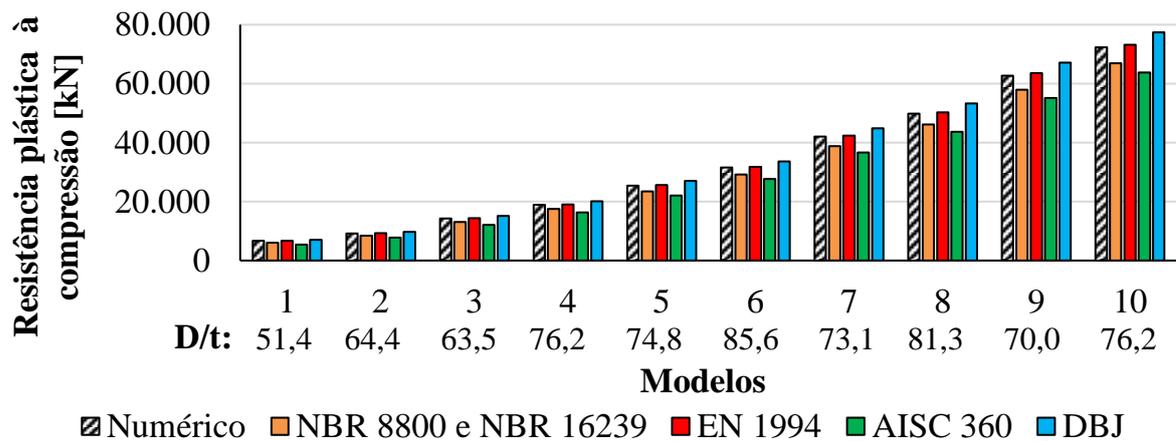


Figura 3. Resistência plástica à compressão dos modelos

Fonte: Autoria própria (2024)

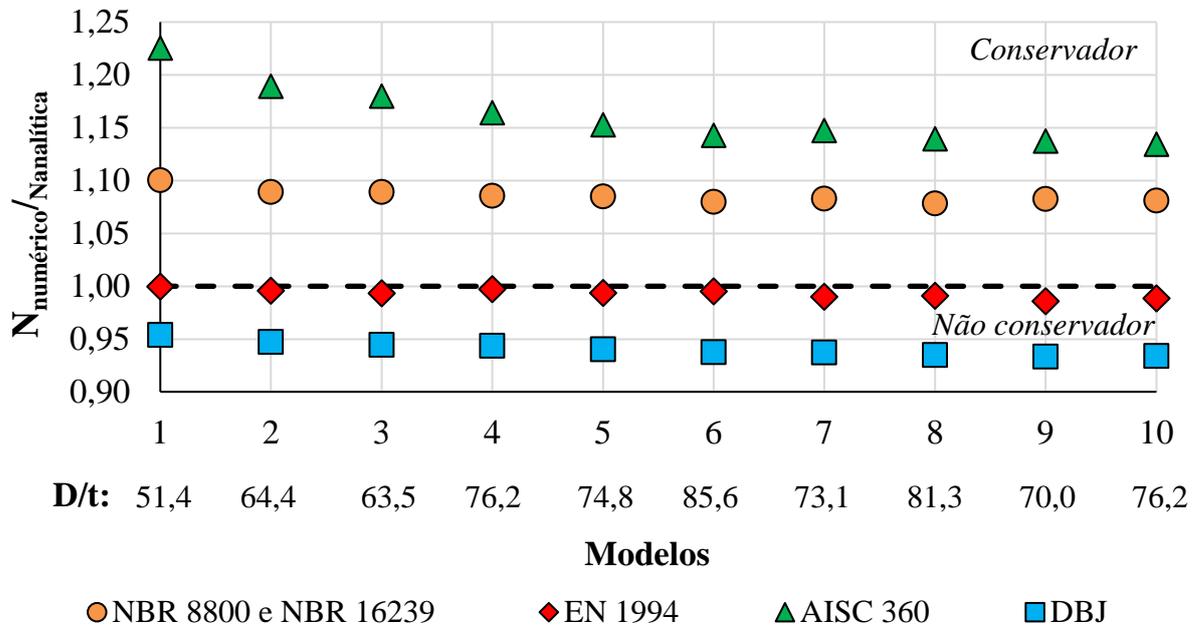


Figura 4. Quociente entre as resistências plásticas à compressão do modelo numérico e a dos métodos analíticos

Fonte: Autoria própria (2024)

Observa-se que, para todos os métodos analíticos, quanto maior a relação D/t , menor foi o quociente $N_{\text{numérico}}/N_{\text{analítico}}$, possivelmente por conta de o efeito de confinamento reduzir conforme a relação D/t aumenta, conforme verificado por Gupta *et al.* (2007) e Azevedo (2018). Oliveira (2008) notou que relações D/t muito elevadas podem praticamente anular o efeito do confinamento.

As normas AISC S360 (AISC, 2022) e NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 16239 (ABNT, 2013) mostraram-se conservadoras, com quociente médio $N_{\text{numérico}}/N_{\text{analítico}}$ de, respectivamente, 1,16 e 1,09. As normas EN 1994-1-1 (CEN, 2004) e DBJ 13-51 (2010), por sua vez, resultaram em valores de resistências superiores aos do modelo numérico (previsões não conservadoras), com quocientes médios $N_{\text{numérico}}/N_{\text{analítico}}$ de 0,99 e 0,94, respectivamente.

No geral, a AISC S360 (AISC, 2020) foi a mais conservadora, enquanto a DBJ 13-51 (2010) foi a menos conservadora. Nota-se que as normas que resultaram em previsões conservadoras foram aquelas que consideraram o confinamento por meio do multiplicador de 0,95.

A Fig. 5 apresenta a influência da relação D/t nas divergências entre as previsões de capacidade de carga das normas que se mostraram conservadoras e as capacidades resistentes dos modelos numéricos. Observa-se que, quanto menor a relação D/t , menor é o grau de conservadorismo das normas.

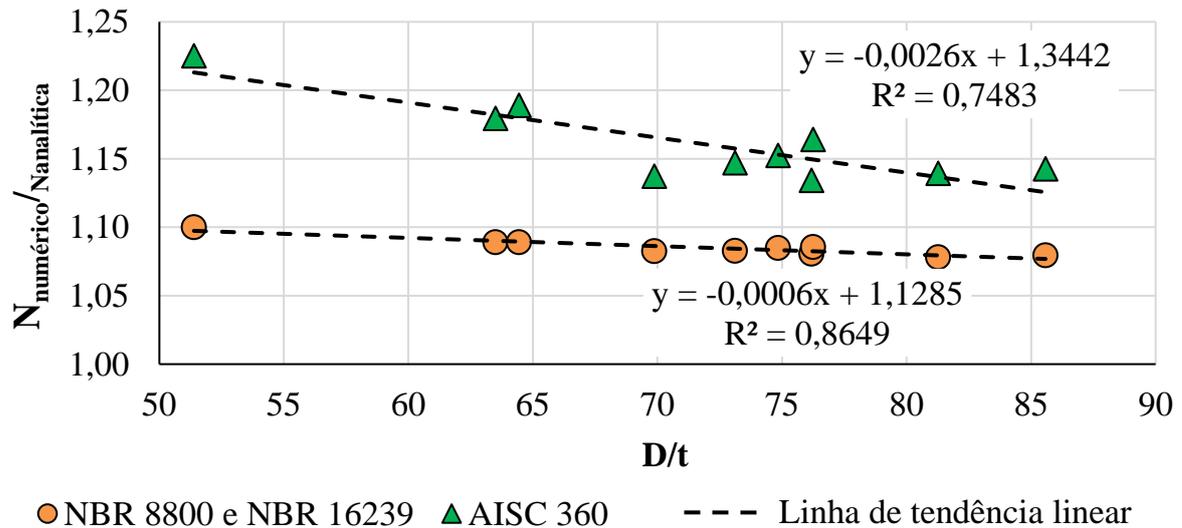


Figura 5. Linha de tendência da divergência entre as previsões da capacidade de carga das normas conservadoras e a do modelo numérico

Fonte: Autoria própria (2024)

4 Conclusões

A divergência percentual entre as resistências dos modelos analíticos e do modelo numérico diminuiu conforme a relação D/t dos CFSTs aumentou, o que se atribui à redução do efeito de confinamento, ocasionada pelo aumento da relação D/t . Dentre as normas atualizadas, da menos conservadora para a mais conservadora, verificou-se a seguinte ordem: DBJ 13-51 (2010), EN 1994-1-1 (CEN, 2004), NBR 8800 (ABNT, 2008) e NBR 16239 (ABNT, 2013) e AISC S360 (AISC, 2022). As normas conservadoras (NBR 8800 (ABNT, 2008), NBR 16239 (ABNT, 2013) e AISC S360 (AISC, 2022)) consideraram o confinamento por meio do multiplicador de 0,95.

Embora algumas normas tenham resultado em valores de resistência à compressão plástica maiores do que os dos modelos numéricos, a maior divergência foi de 7%. Portanto, mesmo se o método analítico estivesse superestimando a capacidade resistente do CFST, o dimensionamento ainda estaria seguro nos casos analisados, tendo em vista que os coeficientes de segurança minoram a resistência do material e majoram os carregamentos.

O modelo de elementos finitos estabelecido neste trabalho pode ser utilizado para estudos paramétricos subsequentes sobre o comportamento de CFSTs. Dessa forma, pode-se contribuir para o aperfeiçoamento dos modelos analíticos presentes nos códigos de projeto, o que permite a redução de testes laboratoriais destrutivos demorados e dispendiosos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 16239: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares**. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION (AISC). **AISC 360-22: Specification for Structural Steel Buildings**. Chicago, Illinois, 2022.

AZEVEDO, V. S. **Avaliação experimental de colunas CFST curtas com núcleo de concreto reciclado**. 2018. 238f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

CARRAZEDO, R. **Mecanismos de confinamento e suas implicações no reforço de pilares de compósito de fibras de carbono**. São Carlos, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, São Carlos.

CARREIRA, D. J.; CHU, K. H. Stress-Strain Relationship for Plain Concrete in Compression. **ACI Journal Proceedings**, v. 82, n. 6, p. 797–804, 1985.

CEN – EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1994-1-1: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings**. Brussels, 2005.

Dassault Systèmes Simulia. **Abaqus 6.13**. 2016.

DBJ/T 13-51-2010. **Technical Specifications for Concrete-Filled Steel Tubular Structures**. Fuzhou, 2010.

DE NARDIN, S. **Estudo teórico - experimental de pilares mistos compostos por tubos de aço preenchidos com concreto de alta resistência**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

GENIKOMSOU, Aikaterini S.; POLAK, Maria Anna. Finite element analysis of punching shear of concrete slabs using damaged plasticity model in ABAQUS. **Engineering structures**, v. 98, p. 38-48, 2015.

GERIN, M. T. **Comportamento de pilares mistos preenchidos com concreto de resíduos de concreto submetidos a compressão axial centrada: efeito do teor de substituição e da forma de aplicação da força**. 2020. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

GOURLEY, B. C.; TORT, C.; HAJJAR, J. F.; SCHILLER, P. H. **A synopsis of studies of the monotonic and cyclic behavior of concrete-filled steel tube members, connections, and frames.** NSEL Report Series. Report N°. NSEL-008, p. 371, Abril, 2008. Department of Civil and Environmental Engineering. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2008.

GUPTA, P. K.; SARDA, S. M.; KUMAR, M. S. Experimental and computational study of concrete filled steel tubular columns under axial loads. **Journal of Constructional Steel Research**. v. 63, n. 2, p. 182-193, 2007.

HAN, L.; LI, W.; BJORHOVDE, R. Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members. **Journal of Constructional Steel Research**, v. 100, p. 211-228, 2014.

OLIVEIRA, W. L. A. **Análise teórico-experimental de pilares mistos preenchidos de seção circular.** 2008. 251 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, W. L. A.; DE NARDIN, S.; EL DEBS, A. L. H. C. Dimensionamento de pilares preenchidos de seção circular submetidos à compressão simples, segundo a NBR 8800:2008 e Eurocode 4:2004: comparação com resultados experimentais. **Revista Escola de Minas**. Ouro Preto. v. 62, n. 31, p. 73-85, 2009.

PATHIRANA, S. W.; UY, B.; MIRZA, O.; Wijesiri et al. Flexural behaviour of composite steel– concrete beams utilising blind bolt shear connectors. **Engineering Structures**, v. 114, p. 181- 194, 2016.

YU, T.; TENG; J. G.; WONG, Y. L.; DONG, S. L.. Finite element modeling of confined concrete-II: Plastic-damage model. **Engineering structures**, v. 32, n. 3, p. 680-691, 2010.