



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas  
Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

---



**ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DO USO DE PARAFUSO ESTRUTURAL  
COMO CONECTOR DE CISALHAMENTO EM PILAR MISTO COMPOSTO DE  
PERFIL TUBULAR RETANGULAR PREENCHIDO COM CONCRETO**

Ellen Martins Xavier

Ouro Preto, abril 2017

Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas  
Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

**ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DO USO DE PARAFUSO ESTRUTURAL  
COMO CONECTOR DE CISALHAMENTO EM PILAR MISTO COMPOSTO DE  
PERFIL TUBULAR RETANGULAR PREENCHIDO COM CONCRETO**

Ellen Martins Xavier

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte integrante dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração: Construção Metálica.

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Arlene Maria Cunha Sarmanho

Ouro Preto, abril 2017

X3a

Xavier, Ellen Martins.

Análise teórico-experimental do uso de parafuso estrutural como conector de cisalhamento em pilar misto composto de perfil tubular retangular preenchido com concreto [manuscrito] / Ellen Martins Xavier. - 2017.

141f.: il.: grafs; tabs.

Orientador: Profa. Dra. Arlene Maria Cunha Sarmanho.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Construção Metálica.


1. Conector de cisalhamento. 2. Pilar misto preenchido com concreto. 3. Perfil tubular retangular. I. Sarmanho, Arlene Maria Cunha . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

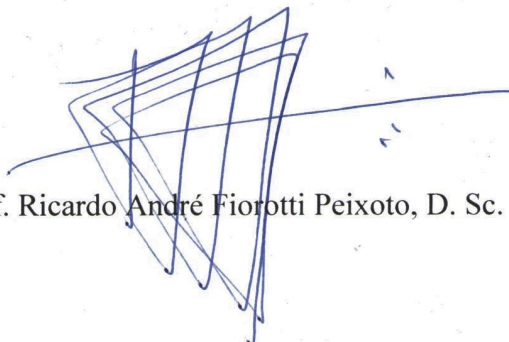
CDU: 624.014


**ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DO USO DE PARAFUSO  
ESTRUTURAL COMO CONECTOR DE CISALHAMENTO EM PILAR  
MISTO COMPOSTO DE PERFIL TUBULAR RETANGULAR PREENCHIDO  
COM CONCRETO**

**AUTORA: ELLEN MARTINS XAVIER**

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em 03 de abril de 2017,  
pela Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

  
Prof. Arlene Maria Cunha Sarmanho, D. Sc. – UFOP (Presidente)

  
Prof. Ricardo André Fiorotti Peixoto, D. Sc. – UFOP

  
Prof. Joel Donizete Martins, D. Sc. – IFMG

  
Profa. Michèle Cristina Resende Farage, D. Sc. – UFJF

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por guiar meus passos e me acalantar nos momentos de angústia.

À minha família, agradeço aos meus pais, Fátima e Roberto, pelo amor, incentivo, dedicação e educação. Por me ensinarem que cada passo é uma conquista e por acreditarem no meu sonho. Muito obrigada aos meus irmãos, Eron e Roberta, pela amizade, carinho e companheirismo de sempre.

Ao meu namorado, Alexandre, pelo amor, paciência e amizade. Obrigada pelos sábios conselhos e por ajudar nos momentos difíceis.

À Profa. Dr<sup>a</sup> Arlene Sarmanho, agradeço pela orientação, dedicação e palavras de incentivo quando precisei. Me sinto honrada pela confiança em mim depositada e pela oportunidade de realizar este trabalho.

À todos os meus amigos do Laboratório de Estruturas, obrigada pela paciência e pelo auxílio em todos os momentos. Agradeço por fazer parte dessa equipe de pesquisadores, que se tornaram também meus amigos.

Aos funcionários do Laboratório de Estruturas, Gilney, João e Dequinha pelos ensinamentos e ajuda na preparação e realização dos ensaios experimentais.

Ao Laboratório de Materiais de Construção, em especial ao Prof. Dr Ricardo Fiorotti, por contribuir e dar suporte à realização deste trabalho.

Agradeço aos professores do PROPEC pelos ensinamentos.

À UFOP, pelo apoio institucional, e aos órgãos de fomento CAPES e CNPq pelo auxílio financeiro.

À todos os meus amigos que me apoiaram e incentivaram de alguma maneira.

Muito obrigada a todos.

## RESUMO

A utilização de sistemas estruturais mistos de aço e concreto estão sendo cada vez mais empregados em construções no Brasil e no mundo. Os pilares mistos são muito utilizados nas estruturas de pontes e de grandes obras, destacando entre eles o pilar misto preenchido com concreto (PMPC). Os dois materiais envolvidos no sistema misto, aço e concreto, devem propiciar uma interação adequada para garantir a avaliação estrutural como um sistema misto. Quando a aderência natural na interface entre o aço e o concreto não é suficiente para manter o pilar misto trabalhando em conjunto é necessário o uso de conectores de cisalhamento, ou seja, dispositivos de transferência de carga entre os materiais. Entre os tipos de conectores tem-se o parafuso estrutural que tem seu comportamento ainda pouco estudado no pilar misto. Assim, observa-se a importância da realização de trabalhos que contribuam para a análise do comportamento de parafusos utilizados como conectores em PMPC. Este trabalho tem como objetivo investigar o comportamento de parafusos estruturais utilizados como conector de cisalhamento em PMPC e comparar os resultados encontrados nos ensaios experimentais com os resultados obtidos com as formulações da ABNT NBR 16239:2013. Para confecção dos protótipos foram utilizados perfis tubulares retangulares com duas dimensões de seções transversais distintas, variando os parâmetros do diâmetro do parafuso e quantidade de parafusos instalados. Também foram ensaiados protótipos sem a utilização de conectores, com objetivo de avaliar o comportamento da aderência natural do PMPC. Tanto nos protótipos com parafusos, quanto nos sem parafusos, foram realizados ensaios experimentais tipo *push-out* adaptado. Verificou-se que os parafusos estruturais têm comportamento dúctil e são eficientes quando utilizados em PMPC fabricados com perfil tubular retangular. Comparando os resultados experimentais dessa pesquisa com os valores encontrados por meio das equações da ABNT NBR 16239:2013, observou-se que as formulações da norma brasileira conduzem a resultados conservadores. Foi verificado que há grande influência do efeito do confinamento no aumento da carga resistente dos conectores, constando a importância de se considerar a tensão do concreto confinado nas formulações da ABNT NBR 16239:2013. Quanto à aderência natural dos protótipos sem conectores, as determinações da ABNT NBR 8800:2008 estão a favor da segurança, quando comparadas com os resultados experimentais dessa pesquisa.

**Palavras-chave:** conector de cisalhamento, pilar misto preenchido com concreto, perfil tubular retangular.

## ABSTRACT

Structural systems composed of steel and concrete are being widely employed in constructions in Brazil and worldwide. Composite columns are widely used in bridges and major constructions, specially the composite concrete filled steel tubular columns (CFT). The two materials involved in the composite system, steel and concrete, must provide a proper interaction to guarantee the structural analysis as a composite system. When the natural adherence in the interface between steel and concrete is not enough to maintain the composite column working as a set, it is necessary the use of shear connectors, in other words, loading transference devices between materials. Among the types of connectors, there is the structural bolt, which structural behavior has not been sufficiently researched in composite columns. Therefore, it is noticeable the importance of works that can contribute to the behavior analysis of bolts used as connectors in CFT. This work's goal is to investigate the behavior of structural bolts used as shear connectors in CFT and compare the results found in experimental analysis with the formulations of ABNT NBR 16239:2013. For the prototyping, rectangular hollow sections with two different cross-sections were used, where the parameters varied were the bolt's diameter and quantity of bolts installed. Test series without the use of connectors were also done, aiming to analyze the natural adherence of CFT. Either in prototypes with bolts or in prototypes without bolts, experimental push-out tests were made. It was noticed that structural bolts have ductile behavior and are efficient when used in CFT manufactured with rectangular hollow sections. Comparing the experimental results of this research with the values found in equations from ABNT NBR 16239:2013, it was possible to notice that the formulations from the Brazilian standard lead to conservative results. It was possible to verify that there is a major influence of the confinement effect in the increase of the resistant load from connectors, noticing the importance of considering the confined concrete's tension in the formulations of ABNT NBR 16239:2013. Regarding the natural adherence of the prototypes without connectors, the determinations from ABNT NBR 16239:2013 are in favor of safety when compared with the experimental results of this research.

**Key-words:** shear connector, concrete filled steel tubular columns, rectangular tubular section.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	Considerações Iniciais .....	9
1.2	Objetivos.....	12
1.2.1	Objetivo Geral .....	12
1.2.2	Objetivos Específicos .....	12
1.3	Justificativa .....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Pilares Mistos.....	15
2.1.1	Confinamento em Pilares Mistos Preenchidos com Concreto .....	18
2.1.2	Interação entre Aço e Concreto .....	22
2.1.3	Regiões de Introdução de Cargas .....	24
2.2	Conectores de Cisalhamento.....	28
2.2.1	Ensaio de Cisalhamento Direto ( <i>Push-out</i> ).....	28
2.2.2	Classificação dos Conectores .....	31
2.2.3	Tipologias Usuais de Conectores de Cisalhamento para PMPC.....	34
2.2.4	Parafusos Utilizados como Conectores de Cisalhamento em PMPC.....	40
3	PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	51
3.1	Especificações Iniciais dos Protótipos.....	51
3.1.1	Nomenclatura das Séries A e B .....	53
3.1.2	Caracterização dos Aços dos Perfis Tubulares.....	55
3.1.3	Caracterização do Concreto quanto à Resistência à Compressão .....	57
3.1.4	Características dos Parafusos .....	58
3.2	Fabricação dos Protótipos.....	59
3.2.1	Preparação dos Perfis de Aço do PMPC .....	59
3.2.2	Dosagem e Fabricação do Concreto .....	61



3.2.3	Técnica de Concretagem .....	63
3.3	Metodologia de Ensaio .....	65
3.3.1	Equipamento de Ensaio .....	65
3.3.2	Técnica de Centragem dos Protótipos na Prensa e Mecanismos de Transmissão de Esforços .....	66
3.3.3	Instrumentação dos Protótipos.....	67
3.3.4	Aquisição de Dados .....	73
3.3.5	Metodologia de Aplicação de Carga nos Protótipos .....	74
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	76
4.1	Apresentação e Análise dos Resultados para Protótipos com Parafusos - Séries A e B	77
4.1.1	Curvas de Carga por Conector <i>versus</i> Deslocamento Relativo.....	77
4.1.2	Curvas de Carga Aplicada <i>versus</i> Deslocamento do Parafuso .....	81
4.1.3	Curvas de Carga Aplicada <i>versus</i> Deformações Específicas Verticais e Horizontais .....	85
4.2	Apresentação e Análise dos Resultados para os Protótipos sem Parafusos - Séries A e B	90
4.2.1	Curvas de Carga Aplicada <i>versus</i> Deslocamento Relativo .....	90
4.2.2	Deformações Específicas Verticais e Horizontais.....	92
5	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS .....	94
5.1	Protótipos com Parafusos – Séries A e B .....	94
5.1.1	Análise Paramétrica.....	94
5.1.2	Cargas Resistentes Máximas .....	98
5.1.3	Modos de Falha .....	101
5.2	Protótipos sem Parafusos – Séries A e B.....	108
5.2.1	Comparação entre a Aderência Natural Obtida Experimentalmente com as Determinações da ABNT NBR 8800:2008 .....	108
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	110

6.1	Conclusões .....	110
6.2	Sugestões para Trabalhos Futuros .....	112
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	113
	ANEXOS .....	119
	APÊNDICES .....	123