



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica
Mestrado Profissional em Construção Metálica - MECOM



ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO CONECTOR HILTI X-HVB EM VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Ouro Preto
2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica
Mestrado Profissional em Construção Metálica - MECOM



Marcos Antônio da Silva

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO CONECTOR HILTI X-HVB EM VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Mestre em Construção Metálica.

Orientador: Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D.Sc.

Coorientadora: Prof^ª. Rovadávia Aline de Jesus Ribas, D.Sc.

Ouro Preto
2018

S586a

Silva, Marcos Antônio da.

Análise experimental da resistência ao cisalhamento [manuscrito]: do conector Hilti X-HVB em vigas mistas de aço e concreto / Marcos Antônio da Silva. - 2018.

100f.: il.: color; grafs; tabs; Fotos; Figuras.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Donizetti de Paula.

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Rovadávía Aline de Jesus Ribas.

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

Área de Concentração: Construção Metálica.

1. Análise experimental. 2. Resistência ao cisalhamento. 3. Vigas mistas. 4. Aço e concreto. 5. Conector Hilti X-HVB. I. Paula, Geraldo Donizetti de. II. Ribas, Rovadávía Aline de Jesus. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU: 624.014

Catálogo: www.sisbin.ufop.br



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil
Programa de Pós-Graduação em Construção Metálica
Mestrado Profissional em Construção Metálica – MECOM



ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO CONECTOR HILT X – HVB EM VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

AUTOR: MARCOS ANTÔNIO DA SILVA

Esta dissertação foi apresentada em sessão pública e aprovada em quatorze de dezembro de 2018, pela Comissão Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Geraldo Donizetti de Paula, D. Sc. – UFOP (Presidente)

Profa. Rovadavia Aline de Jesus Ribas, D. Sc. – UFOP

Prof. Flávio Teixeira de Souza, D. Sc. – IFMG

Prof. Hisashi Inoue, D. Sc. – UFSJ

“Um pouco de ciência nos afasta de Deus. Muito, nos aproxima.”

Louis Pasteur

DEDICATÓRIA

Dedicado aos meus pais, Joaquim Leôncio e Maria Jacinta (in memoriam). A minha esposa Ana Cláudia e os meus filhos Marcos e Mateus pelo apoio incondicional nos momentos mais difíceis da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por me proporcionar força e fé para encarar os obstáculos da vida.

A minha família e em especial aos meus irmãos e irmãs.

A todos os professores do MECOM, em especial ao Professor Geraldo Donizetti de Paula, pela paciência e orientação.

A profa. Rovadávia Aline de Jesus Ribas pela dedicação e correção.

Ao Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Minas, em especial ao Professor Ricardo André Fiorotti Peixoto.

Ao Laboratório de Estruturas Metálicas e Mistas da Escola de Minas, em especial a Professora Arlene Maria Cunha Sarmanho.

Ao Laboratorista Gilney Afonso Gonçalves que auxiliou na realização dos ensaios.

Ao Laboratorista Júnio Oliveira dos Santos Batista que auxiliou na realização dos ensaios.

A empresa Usiminas Mecânica por ter liberado para realização do mestrado.

A empresa Hilti pelo fornecimento dos conectores, pinos e cartuchos.

A empresa Egastec que patrocinou a fabricação do corpo de prova.

A empresa BRDG que fabricou as formas para os corpos de prova.

A empresa USINAR que realizou a usinagem na chapa de apoio para o ensaio nos corpos de prova.

A empresa MCR que forneceu a chapa bruta para posterior usinagem.

A empresa CERTIFICAR que patrocinou os produtos químicos para decapagem química.

Ao amigo Kleber Elizeu que incentivou e liberou para realização do mestrado.

Ao amigo Adilson de Souza que manifestou apoio incondicional para realização do mestrado.

Aos colegas de trabalho Pacheco, André, Bruno, Cleiton, Emerson, Fábio, Glaudston, Marcelo, Richardson, Roberto, Robson, Rodrigo, Tayanny, Thiago, Thaís, Carol e Willian.

Ao amigo Hollydeys que dedicou parte de seu precioso tempo para auxiliar na elaboração dos desenhos em 3D.

Aos colegas da qualidade da empresa Carlos, Taissa, Tito e Wdeilson.

Aos amigos pássaros da República Ninho do amor, pelo apoio na reta final da dissertação.

E finalmente, agradeço a todos os meus colegas de mestrado por enfrentarem essa jornada comigo, onde fizemos revezamento de transporte durante todo este período, em especial Thales e Maikel.

RESUMO

A construção metálica no Brasil surge por volta dos anos 1950, tendo o edifício garagem América a primeira edificação de grande porte a ser concebido. A partir desse momento novas edificações e empreendimentos foram surgindo impulsionados pela recente criação da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN, tendo-se criada a Fábrica de Estruturas Metálicas – FEM. As construtoras especializaram-se na fabricação de estruturas metálicas, com suporte de países que dominavam este tipo de construção. Mesmo timidamente, houve avanços e temos hoje tecnologia e conhecimento fabril para realização de novas e complexas edificações. O uso do conector de cisalhamento tem a função de diminuir o deslizamento horizontal, que ocorre quando a edificação sofre com as cargas laterais, ou seja, transmite o cisalhamento na interface aço-concreto. Nas primeiras edificações no Brasil, utilizou-se muito o conector tipo “U” de perfil laminado e, em outras ocasiões, o perfil “U” conformado a frio. O conector tipo pino com cabeça “*stud bolt*” desenvolveu-se na década de 1940, mas sua aplicação ocorreu no ano de 1980. Pode-se dizer que sua utilização está bem difundida e aprovada pelas normas nacional e internacional. Em 2010 surge o conector Hilti X-HVB, sendo que sua aplicação em maior escala está na Europa. No primeiro instante, observa-se esses conectores sendo mais aplicados em lajes com fôrmas incorporadas, podendo ser, no entanto, utilizados em lajes moldadas “*in loco*”, pré-moldadas e mistas. Nesse contexto, o objetivo dessa dissertação é fazer uma análise experimental de conectores de cisalhamento do tipo Hilti X-HVB em lajes maciças. Nos experimentos foram ensaiados 03 (três) corpos de prova tipo *Push out*, conforme a especificação do Eurocode 4. A partir dos quais foram avaliados o comportamento e uma determinada resistência ao cisalhamento ao carregamento estático. Os resultados obtidos atenderam os especificados no catálogo do fabricante, exceto o corpo de prova 01 que ficou abaixo do especificado.

Palavras-chave: Análise experimental; Resistência ao cisalhamento; Vigas mistas; Aço e concreto; Conector Hilti X-HVB.

ABSTRACT

The metallic construction in Brazil comes around the 1950s, with the America garage building being the first large building to be designed. From that moment on, new buildings and developments were created by the recent creation of Companhia Siderúrgica Nacional - CSN. Having created the Factory of Metallic Structures - FEM. The constructors specialized in the manufacture of metallic structures, with support of countries that dominated this type of construction. Even shyly, there have been advances and we have today technology and factory knowledge to realize new and complex buildings. The use of the shear connector has the function of decreasing the horizontal slip, which occurs when the building undergoes lateral loads, that is, it transmits the shear at the steel-concrete interface. In the first constructions in Brazil, the "U" type connector of laminated profile was used, and, on other occasions, the profile "U" conformed to cold. The stud bolt connector was developed in the 1940s, but its application took place in the year 1980. It can be said that its use is well diffused and approved by national and international standards. In 2010 comes the Hilti X-HVB connector, and its application on a larger scale is in Europe. In the first moment, these connectors are observed being applied more in slabs with incorporated forms, but can be used in molded slabs "*in loco*", precast and mixed. In this context, the objective of this dissertation is to make an experimental analysis of shear connectors of the Hilti X-HVB type in massive slabs. In the experiments, three (3) push out test specimens were tested, according to the Eurocode 4 specification. From these, the behavior and a certain shear resistance were evaluated at static loading. The results obtained met those specified in the manufacturer's catalog, except the specimen 01 that was below the specified one.

Keywords: Experimental analysis; Shear strength; Mixed beams; Steel and concrete; Hilti X-HVB connector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Seções transversais de algumas vigas mistas	19
Figura 2: Vigas mistas escoradas	20
Figura 3: Vigas mistas não escoradas.....	21
Figura 4: Distribuição de tensões: perfil isolado, interação parcial e interação total	22
Figura 5: Comparação do comportamento de vigas mistas contínuas em regiões de momentos positivo e negativo	23
Figura 6: Comparação de Viga Fletida Sem e Com Ação	23
Figura 7: Sistemas de abas.....	24
Figura 8: Conectores espirais	24
Figura 9: Conectores em perfis laminados em forma de “U”	25
Figura 10: Conectores stud bolt	26
Figura 11: Sequência das diferentes fases de resolução de conectores stud bolt.....	27
Figura 12: Pistola automática com o anel de cerâmica	27
Figura 13: Pistola automática com o anel de cerâmica	28
Figura 14: Conector tipo “T em perfil laminado”	30
Figura 15: Conector tipo “T em perfil soldado”	30
Figura 16: Visão geral da discretização para modelos com conector perfil “U” formado a frio	31
Figura 17: Visão geral da discretização para modelos com conector pino com cabeça stud bolt	32
Figura 18: Outros tipos de Conectores – tipo 1	33
Figura 19: Outros tipos de Conectores – tipo 2	33
Figura 20: Outros tipos de Conectores – tipo 3	34
Figura 21: Outros tipos de Conectores – tipo 4	34
Figura 22: Conector tipo “T em chapa”.....	35
Figura 23: Conector tipo “T em chapa” aplicado na estrutura metálica.....	35
Figura 24: Conector Hilti X-HVB.....	36
Figura 25: Detalhes do conector Hilti X-HVB.....	36
Figura 26: Conector pino com cabeça em fôrmas de aço incorporada.....	38
Figura 27: Conector tipo Hilti X-HVB em fôrmas de aço incorporada	39
Figura 28: Conector stud bolt junto ao anel de cerâmica.....	40
Figura 29: Sequência de fases em que ocorre a soldagem por eletrofusão	41
Figura 30: Pino de fixação e cartucho	41
Figura 31: Disposição convencional para laje maciça	42
Figura 32: Ensaio Push out segundo EN 1994-1-1 (2004)	43
Figura 33: Corpo de prova para o ensaio Push out padrão (EN1994-1-1-2004[3]).....	45
Figura 34: Armadura de aço - ensaio Push out segundo EN 1994-1-1 (2004).....	46
Figura 35: Ferramenta para fixação dos conectores Hilti X-HVB.....	47
Figura 36: Cartuchos para explosão e fixação dos conectores Hilti X-HVB	47
Figura 37: Pinos para fixação dos conectores Hilti X-HVB	48
Figura 38: Perfis laminados traçados para fixação dos conectores Hilti X-HVB	48
Figura 39: Perfis laminados com os conectores Hilti X-HVB posicionados para fixação.....	49
Figura 40: Ferramenta para fixação dos conectores Hilti X-HVB.....	49
Figura 41: Saliência existente na ferramenta servindo de guia para o conector Hilti X-HVB ..	50
Figura 42: Conector Hilti X-HVB posicionado na ferramenta.	50
Figura 43: Fixação dos conectores Hilti X-HVB.....	51
Figura 44: Conectores Hilti X-HVB fixados no perfil laminado	51
Figura 45: Conectores Hilti X-HVB após jateamento	52
Figura 46: Recipientes contendo os produtos químicos para decapagem.....	52
Figura 47: Vasilhames para o banho químico	53
Figura 48: Primeira fase em solução líquida de ácido clorídrico – HCl 1:1	53
Figura 49: Segunda fase em solução líquida de água destilada.....	54
Figura 50: A última fase em solução líquida de hidróxido de sódio - NaOH 8%	54

Figura 51: Corpos de prova dispostos lado a lado	55
Figura 52: Perfis dispostos com a indicação da corrosão superficial nos conectores Hilti X-HVB	55
Figura 53: Fôrmas confeccionadas para montagem nos perfis	56
Figura 54: Armadura para amarração dos conectores	56
Figura 55: Armadura com os conectores em fase de amarração	56
Figura 56: Armadura com os conectores completamente amarrados.....	57
Figura 57: Corpos de Prova 1, 2 e 3 com a armadura e na fôrma de aço	57
Figura 58: Pesagem do cimento.....	58
Figura 59: Pesagem a areia	58
Figura 60: Pesagem da brita	59
Figura 61: Pesagem da água	59
Figura 62: Equipamentos para o Slump test.....	60
Figura 63: Betoneira para o processamento do concreto	60
Figura 64: Conjunto e a base metálica umedecida.....	61
Figura 65: A sequência de enchimento de concreto para o ensaio de abatimento	61
Figura 66: Regularização da superfície com a retirada do excesso de concreto	62
Figura 67: Retirada do molde para a realização do ensaio de abatimento	62
Figura 68: Medição do abatimento	62
Figura 69: Enchimento das fôrmas.....	63
Figura 70: Molde e corpos de prova cilíndricos preenchido com concreto.....	63
Figura 71: Croqui da chapa de apoio e acessórios.....	64
Figura 72: Croqui da base da prensa indicando o orifício para o encaixe da chapa de apoio. 64	
Figura 73: As posições 1 e 2 soldadas entre si	65
Figura 74: Chapa de apoio usinada	65
Figura 75: Chapa de apoio com os acessórios.....	66
Figura 76: Prensa servo-hidráulica modelo MC 200T.....	66
Figura 77: Desmontagem das fôrmas nas três fases subsequentes	67
Figura 78: Içamento do Corpo de Prova 1 nas duas fases subsequentes	67
Figura 79: Corpo de prova 1 início e final do ensaio.....	68
Figura 80: Corpo de prova 2 início e final do ensaio.....	68
Figura 81: Prensa hidráulica INSTRON.....	69
Figura 82: Sistema de aquisição de dados.....	70
Figura 83: Corpo de prova 3 – CP 3.....	70
Figura 84: Posicionamento do corpo de prova 3 – CP 3	71
Figura 85: Corpo de prova 3 início e final do ensaio.....	71
Figura 86: Os quatro corpos de prova cilíndricos para o ensaio de compressão.....	72
Figura 87: Corpo de prova cilíndrico 1 - ensaio de compressão.....	72
Figura 88: Corpo de prova cilíndrico 2 - ensaio de compressão.....	73
Figura 89: Corpo de prova cilíndrico 3 - ensaio de compressão.....	73
Figura 90: Corpo de prova cilíndrico 4 - ensaio de compressão.....	74
Figura 91: Gráfico de cargas aplicadas x Deslocamentos	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dimensões e tolerâncias de conectores stud bolt os mais usuais (AWS D1.1, 2004)	28
Tabela 2: Resistências nominais do conector stud bolt na laje maciça.....	29
Tabela 3: Resistências nominais do conector stud bolt na laje maciça.....	29
Tabela 4: Lista de normas aprovadas internacionais do conector Hilti X-HVB.....	37
Tabela 5: Lista dos conectores e respectivas resistências Hilti X-HVB.....	37
Tabela 6: Comparativo de valores entre os conectores stud bolt e Hilti X-HVB.....	40
Tabela 7: Propriedades geométricas do perfil UC 254 x 254 x 89.....	44
Tabela 8: Bitola do perfil laminado “W” 150 x 22,5 utilizado no ensaio Push out.....	46
Tabela 9: Resultados obtidos de pontos principais da Figura 91 do corpo de prova 3 – CP 376	
Tabela 10: Resultados experimentais da resistência ao cisalhamento referente aos corpos de prova 1, 2 e 3.....	77

LISTA DE SÍMBOLOS

- f_c - resistência à compressão do concreto
- f_{ck} - resistência característica à compressão do concreto
- f_{sk} - valor característico da resistência ao escoamento do reforço de aço
- \emptyset - diâmetro nominal
- kg - quilograma
- kN - quilo Newton
- MPa - mega Pascal
- Prk - resistência do conector na norma AISC-LFRD
- Prd - resistência do conector na norma EM 1994-1-1 (2004)
- q - cisalhamento horizontal admissível na norma AISC-LFRD
- Rd - cisalhamento permitido para o projeto de carga de trabalho
- t - tonelada

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NOMAS TÉCNICAS
AISC	AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
AWS	AMERICAN WELDING SOCIETY
BSI	BRITISH STANDARD INSTRUCTION
CBCA	CENTRO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO EM AÇO
CSN	COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL
EN	NORME EUROPÉENNE
EUROCODE	EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION
FEM	FÁBRICA DE ESTRUTURAS METÁLICAS
HE	PERFIL "H" LAMINADO
LFRD	LOAD AND RESISTENCE FACTOR DESIGN
MECOM	MESTRADO PROFISSIONAL EM CONSTRUÇÃO METALICA
MIG	METAL INERT GAS
NBR	NORMA BRASILEIRA REGULAMENTADORA
SAE	SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS
UC	UNIVERSAL COLUMN
UFOP	UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo Geral.....	17
1.1.2 Objetivos Específicos.....	17
1.2 Justificativa.....	17
1.3 Metodologia.....	17
1.4 Estrutura do trabalho.....	18
2 REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1 Vigas mistas de aço e concreto.....	19
2.2 Construções escoradas e não escoradas.....	20
2.2.1 Comportamento estrutural.....	21
2.2.2 Vigas mistas bi apoiadas.....	22
2.2.3 Vigas mistas contínuas.....	23
2.3 Conectores de Cisalhamento.....	23
2.3.1 Conectores de cisalhamento em fôrmas de aço incorporadas.....	38
2.3.2 Comparativo de fixação e custo dos conectores <i>stud bolt</i> e Hilti X-HVB.....	39
2.3.3 Ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento de conectores.....	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 Ensaio <i>Push out</i> segundo EN 1994-1-1 (2004).....	45
3.2 Equipamentos e Materiais.....	47
3.2.1 Ferramenta para fixação dos conectores e os seus acessórios.....	47
3.2.2 Preparação dos perfis para montagem dos conectores.....	48
3.2.3 Posicionamento dos conectores nos perfis.....	48
3.2.4 Montagem dos conectores nos perfis.....	49
3.2.5 Preparação para decapagem dos conectores.....	52
3.2.6 Preparação das formas.....	55
3.2.7 Preparação das armaduras e montagem das armaduras no perfil.....	56
3.2.8 Preparação do traço para a concretagem.....	58
3.2.9 Concretagem das fôrmas.....	63
3.2.10 Moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 100 mm x 200 mm.....	63
3.2.11 Preparação para realização do ensaio de cisalhamento.....	64
3.2.12 Equipamento de ensaio dos corpos de prova 1 e 2 – CP 1 e CP 2.....	66
3.2.13 Desmontagem das fôrmas.....	67
3.2.14 Ensaio do corpo de prova 1 – CP 1.....	67
3.2.15 Ensaio do corpo de prova 2 – CP 2.....	68

3.2.16 Equipamento de ensaio do corpo de prova 3 – CP 3	69
3.2.17 Célula de carga	69
3.2.18 Aquisição de dados	69
3.2.19 Ensaio do corpo de prova 3 – CP 3	70
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1 Resultados experimentais da resistência ao cisalhamento	75
4.2 Discussão dos resultados	77
5 CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES	79
5.1 Considerações finais.....	79
5.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	80
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE A.....	84
APÊNDICE B.....	93

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

O aço é um produto altamente resistente, de grande durabilidade e do ponto de vista plástico é um elemento arquitetônico flexível. O aço possui características singulares de beleza e sempre inspirou as mais variáveis formas de modernidade relacionadas à concepção arquitetônica. Os projetos voltados ao emprego do aço, principalmente em lajes mistas aço-concreto, procuram obter o máximo resultado desse elemento.

O comportamento de estruturas mistas está baseado na ação conjunta entre o perfil de aço e o concreto armado. Para que isso ocorra, faz-se necessário que na interface entre aço e concreto desenvolvam-se forças longitudinais resistentes ao cisalhamento.

A história da construção em estrutura mista de aço e concreto está relativamente ligada ao desenvolvimento do concreto armado e das estruturas em aço. O concreto foi o primeiro a ser utilizado, no início do século, como material de revestimento das estruturas em aço, que viria a proteger os perfis de aço contra o fogo e a corrosão. Embora o concreto tenha uma parcela de contribuição em termos estruturais, sua contribuição na resistência era desprezada nos dimensionamentos.

No Brasil, as primeiras construções mistas constituíam-se de algumas pequenas pontes construídas nos anos de 1950 e 1960. Malite (1990) ressalta que, com o aumento da produção do aço no Brasil e com a busca de novas soluções arquitetônicas e estruturais, foram construídos vários edifícios no sistema misto nos últimos anos. As estruturas mistas foram normatizadas pela primeira vez em 1986 pela norma NBR 8800 (ABNT, 1986), que abordava o dimensionamento e execução somente dos elementos mistos submetidos à flexão (vigas mistas).

Tendo iniciada sua construção em 1950, o edifício Garagem América é uma edificação destinada à garagem coletiva de grandes proporções para atender o crescimento da grande São Paulo. Foram utilizados 948 t de aço estrutural de qualidade ASTM-A7. Os desafios naquele momento não se resumiam somente à mão de obra para fabricação e montagem das estruturas, pois, o Brasil não dispunha de mão de obra qualificada e não havia profissionais para desenvolver esta atividade em campo ou mesmo nas Universidades.

Apresenta-se no Apêndice B a evolução histórica das construções em estruturas mistas de aço e concreto no Brasil, desde o ano de 1940 até o ano de 2015.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem o objetivo de analisar experimentalmente a aplicação do conector de cisalhamento Hilti X-HVB em comparação ao conector tipo pino com cabeça, conhecido como *stud Bolt* e recomendado pela norma NBR 8800 (ABNT, 2008).

1.1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar ensaios em corpos de prova, segundo a norma Eurocode 4 (1994);
- Analisar os resultados obtidos no ensaio de cisalhamento;
- Comparar os resultados com resultados da literatura.

1.2 Justificativa

Na Europa, a utilização do conector tipo Hilti X-HVB tem demonstrado um crescimento significativo. A ressalva a ser considerada é com relação à aplicação desses conectores que são utilizados em sua maioria em fôrmas de aço, também conhecidas como *steel deck*.

Pode-se destacar que a forma de ligação do conector tipo Hilti X-HVB possui vantagem de não precisar de energia na obra para sua montagem, o que não ocorre com o conector tipo pino com cabeça, que requer uma grande fonte de energia para utilização da pistola do fabricante *Nelson Stud Welding Process*.

1.3 Metodologia

Por meios de ensaios experimentais, nessa pesquisa é analisado o comportamento do conector de cisalhamento em vigas laminadas em aço estrutural. Os experimentos ocorreram em dois laboratórios no *Campus* da UFOP: os corpos de prova 1 e 2 foram ensaios no Laboratório de Materiais e o corpo de prova 3 no Laboratório de Estruturas Metálicas e Mistas, demonstrando seu comportamento por meio de ensaios de cisalhamento direto, tipo *Push out*, e considera-se os controles de deformação e deslocamento, em três corpos de prova formados por vigas com conectores Hilti X-HVB. Esses ensaios permitem a avaliação da resistência e a ductilidade da conexão. E os ensaios dos corpos de prova são devidamente dimensionados atendendo a norma Eurocode 4 (1994).

1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos. No capítulo 1, estão apresentadas as considerações iniciais sobre o assunto abordado, os objetivos, a justificativa e a estrutura do trabalho. No capítulo 2 apresenta-se o referencial teórico relativo aos diversos tipos de conectores, desde os primeiros conectores utilizados na década de 1940 até o ano de 2015 e as suas aplicações, abordam-se ainda construções escoradas e não escoradas, comportamento estrutural e vigas mistas biapoiadas e contínuas. No capítulo 3 são abordados os procedimentos para os ensaios *Push out* conforme norma EM 1994-1-1 (2004), a fabricação dos modelos, equipamentos e materiais. No capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões. No capítulo 5 apresentam-se as considerações finais e sugestões para trabalhos futuros. Após são apresentadas as referências.

CAPÍTULO 2

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Abordam-se neste capítulo os aspectos gerais das vigas mistas de aço e concreto aplicadas nas construções em estruturas mistas aço e concreto, as construções escoradas e não escoradas e por último são conceituados os mais variados tipos de conectores de cisalhamento, desde a sua criação nos anos 1930 até os tempos atuais com a criação do conector Hilti X-HVB, objeto desse estudo.

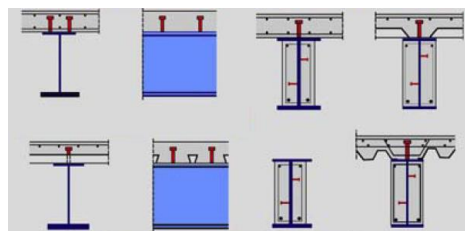
2.1 Vigas mistas de aço e concreto

A norma NBR 8800 (ABNT, 2008) trata das vigas mistas de aço e concreto que:

[...] consistem em um componente de aço simétrico em relação ao plano de flexão, que pode ser um perfil I, um perfil caixão, um perfil tubular retangular ou uma treliça, com uma laje de concreto acima de sua face superior. [...] Deve haver ligação mecânica por meio de conectores de cisalhamento entre o componente de aço e a laje de tal forma que ambos funcionem como um conjunto para resistir à flexão. Em qualquer situação, a flexão ocorrerá no plano que passa pelos centros geométricos das mesas ou dos banzos superior e inferior do componente de aço. (ABNT NBR 8800, 2008, p. 168).

Conforme a norma Europeia, Eurocode 4 (1994), os principais benefícios da utilização de vigas mistas são a economia no peso de aço de entre 30 a 50% em comparação com vigas não mistas e o aumento da rigidez. Considerando esses benefícios no projeto tem-se como resultado uma diminuição da espessura da laje de concreto. Esse fator pode levar à redução das alturas das edificações e, conseqüentemente, à diminuição dos custos de revestimento (o que é significativo considerando-se que o revestimento pode representar até 20% do custo total de construção). Pode-se verificar na Figura 1 as seções transversais de algumas vigas mistas.

Figura 1: Seções transversais de algumas vigas mistas



Fonte: Adaptado do Eurocode 4, (1994)

Referente à interação entre o aço e o concreto, David, Araújo e Malite (2005) afirmam que normalmente a aderência natural entre a laje e a viga bem como as forças de atrito são desconsideradas no cálculo, o que torna imprescindível a utilização de elementos adicionais

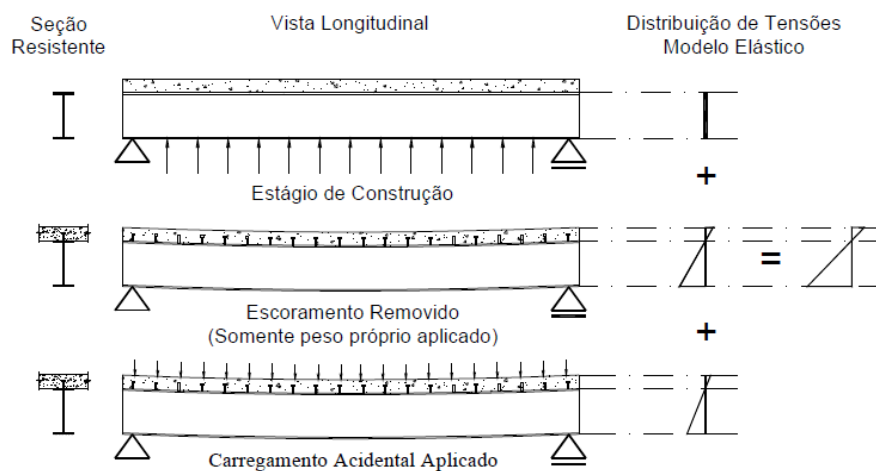
capazes de transmitir o cisalhamento na interface laje-viga. Esses elementos adicionais são denominados conectores de cisalhamento.

Alva e Malite (2005) destacam o fato da necessidade de utilização de conectores de cisalhamento na interface aço-concreto ser a principal desvantagem das vigas mistas se comparado com as vigas de aço isoladas. Todavia, os autores evidenciam que há importantes vantagens na aplicação de vigas mistas e entre as quais pode-se destacar o impedimento ou diminuição da flambagem local da mesa e da alma (FLM e FLA), bem como a flambagem lateral com torção (FLT). Outra vantagem da utilização dos conectores consiste na adição de resistência e rigidez, assegurado pela associação dos elementos de aço e concreto, o que permite a redução considerável da altura dos elementos estruturais, resultando em economia de material.

2.2 Construções escoradas e não escoradas

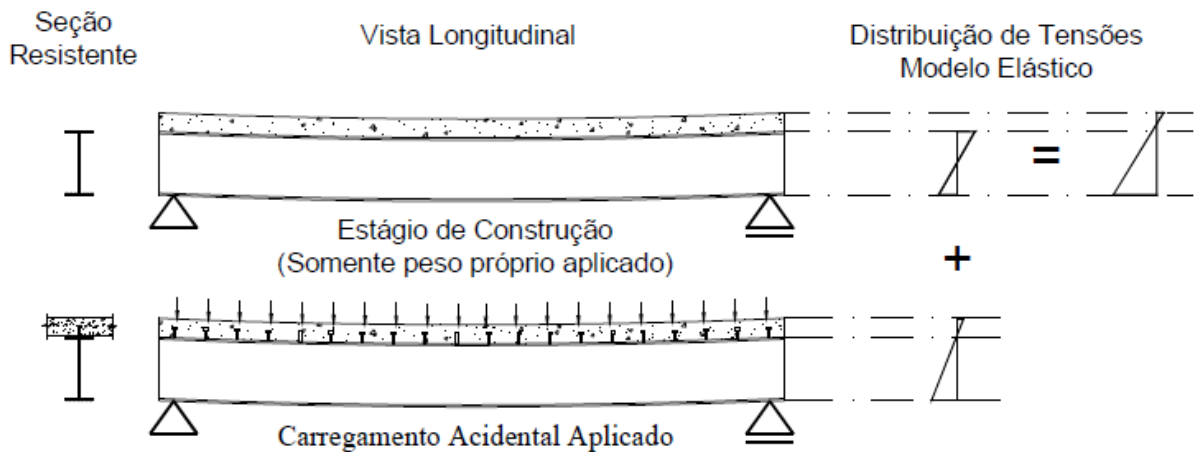
As vigas mistas podem ser construídas com ou sem escoramento, como mostrado nas Figuras 2 e 3. Segundo Fabrizzi (2007), caso a viga seja não escorada, a seção de aço deve passar por uma verificação na situação de construção, uma vez que é necessário que ela tenha resistência de cálculo suficiente para suportar, isoladamente, todas as cargas aplicadas antes do concreto alcançar uma resistência de $0,75 f_{ck}$. Esse fator é determinante para o dimensionamento das vigas de aço. O contrário ocorre nas vigas construídas com escoramento, em que os componentes da seção mista são solicitados em conjunto, ou seja, a viga não trabalha de forma isolada. Quando a resistência necessária ao concreto é atingida, retira-se o escoramento e as solicitações relativas ao peso próprio e sobrecargas aplicadas posteriormente são resistidas por toda a seção, havendo um deslocamento vertical substancialmente menor do que no primeiro caso.

Figura 2: Vigas mistas escoradas



Fonte: Fabrizzi, (2007)

Figura 3: Vigas mistas não escoradas



Fonte: Fabrizzi, (2007)

Segundo Pfeil e Pfeil (2009), para o estado limite último, as tensões que atingem a função de plastificação ocorrem na viga mista e são as mesmas nos dois casos de construção, podendo-se afirmar que a viga atinge o mesmo momento fletor resistente.

Alva e Malite (2005), para a escolha do método construtivo, afirmam que:

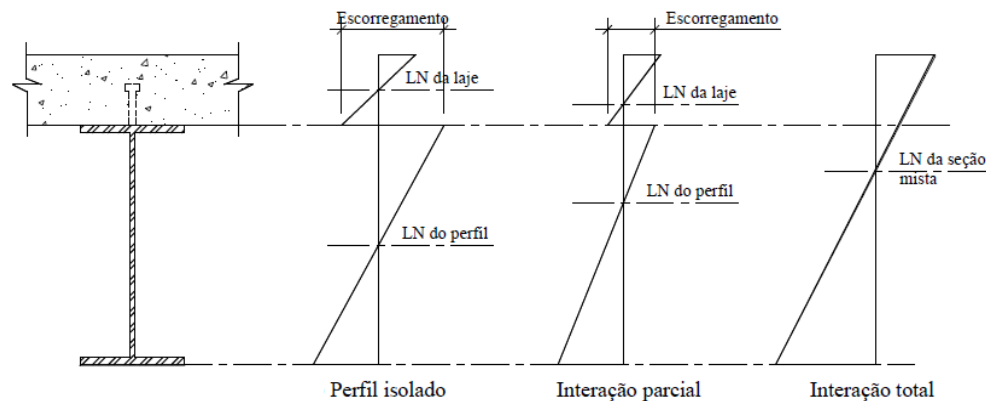
[...] pode-se optar pelo não escoramento da laje devido à necessidade de velocidade de construção. Por outro lado, o escoramento da laje pode ser apropriado caso seja necessário limitar os esforços e deslocamentos verticais da viga de aço na fase construtiva. (ALVA; MALITE, 2005, p. 55).

2.2.1 Comportamento estrutural

O comportamento estrutural das vigas pode ser definido de duas formas no que tange à interação aço-concreto: interação parcial e interação completa.

Segundo Fabrizzi (2007) para as vigas de aço isoladas, o escorregamento na interface aço-concreto é permitido e formam-se duas linhas neutras, conforme mostrado na Figura 4. Nesse caso, não foi considerada a resistência da laje na flexão. Para interação parcial, ocorre também a formação de duas linhas neutras, o escorregamento é menor do que o observado na viga isolada. E, por fim, na interação total, ocorre apenas uma formação de uma única linha neutra. Nesse caso, existe uma perfeita ligação aço-concreto. Segundo Pfeil e Pfeil (2009), não há escorregamento longitudinal relativo. A flexão, nesse caso, realiza-se em torno do eixo que passa pelo centroide da seção mista, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4: Distribuição de tensões: perfil isolado, interação parcial e interação total



Fonte: Fabrizzi, (2007)

Segundo Fabrizzi (2007) existem duas classificações distintas de interação nas vigas mistas aço-concreto, uma que se refere à resistência e outra que é a rigidez. A primeira é determinada pela resistência ao momento fletor quando solicitado e não ocorre devido ao cisalhamento da conexão. A segunda que é a rigidez utiliza conectores flexíveis e, dessa forma, ocorre a deformação do conector.

2.2.2 Vigas mistas bi apoiadas

Nas vigas mistas aço-concreto bi apoiadas, os elementos estão submetidos a momentos fletores positivos, sendo que a laje de concreto encontra-se comprimida, enquanto o perfil de aço está tracionado.

Segundo Johnson (1994), referenciado por Queiroz e Pimenta (2001), tais vigas dispõem de vantagens em relação às vigas calculadas como contínuas:

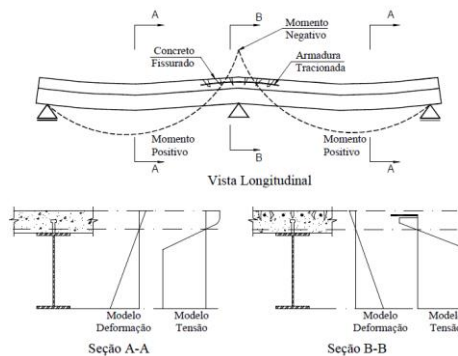
Normalmente, apenas uma pequena parte da alma fica sujeita à compressão e a mesa comprimida é travada pela laje; assim, a resistência da viga não é limitada pela flambagem do perfil de aço, global ou local; A alma fica sujeita a estados de tensão menos severos; torna-se maior a possibilidade de se executar furos para a passagem de dutos; Não há interação entre os comportamentos de vãos adjacentes; Os momentos transmitidos aos pilares são baixos ou quase nulos; A fissuração do concreto é menor, já que está sujeito a tração apenas nos apoios (devido à tendência de continuidade); A análise estrutural e o dimensionamento são rápidos e simples.

2.2.3 Vigas mistas contínuas

Nas vigas mistas contínuas ocorre momento negativo, e essa situação é oposta àquela em relação às vigas bi apoiadas, ou seja, a laje de concreto é tracionada e o perfil de aço é comprimido.

Segundo Fabrizzi (2007), a resistência do concreto à tração é desprezível e, nesse caso, considera-se apenas a armadura devidamente ancorada. Mas, o perfil de aço, sofrendo compressão, irá sinalizar os efeitos da instabilidade. Esses efeitos são transmitidos para a laje de concreto que ocasionará um estado de limite de utilização. Na Figura 5, Fabrizzi (2007) destaca de forma simplificada a diferença de comportamentos nessas regiões de momento positivo e negativo.

Figura 5: Comparação do comportamento de vigas mistas contínuas em regiões de momentos positivo e negativo

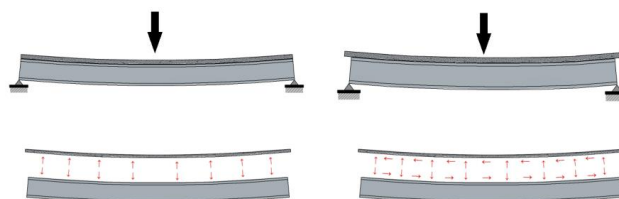


Fonte: Adaptado de Fabrizzi, 2007

2.3 Conectores de Cisalhamento

O comportamento de estruturas mistas é baseado na ação conjunta entre o perfil de aço e o concreto armado. Para que isso ocorra, é necessário que na interface aço-concreto desenvolvam-se forças longitudinais de cisalhamento. A ação mista é desenvolvida quando dois elementos estruturais são interconectados de tal forma a se deformarem como um único elemento. Na Figura 6 mostra-se o exemplo de um sistema formado por uma viga de aço biapoiada, suportando uma laje de concreto em sua face superior.

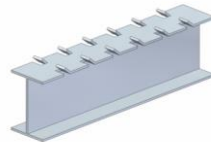
Figura 6: Comparação de Viga Fletida Sem e Com Aço



Fonte: Adaptado de Vianna, 2009

Segundo Viana (2009), melhorias no sistema de ligação vêm sendo realizadas desde o início do século passado, como mostrado na Figura 7, que apresenta o sistema de abas patenteado por Julius Kahn, engenheiro de concreto armado nascido na Alemanha. A partir daí novos conectores foram desenvolvidos, ainda que lentamente devido à tecnologia disponível na época. Nesse tipo de conector verifica-se a morosidade no preparo dos perfis, pois toda a preparação ocorre manualmente em cada extremidade do perfil. O outro fator deve-se ao fato de que as abas, mesmo com todo o cuidado na preparação, podem ter dimensões diferentes em relação às abas de outros perfis. Percebe-se que a dificuldade aumenta, quando a espessura da aba do perfil tende a ser mais espessa, pois essa preparação exige aplicação de calor para atingir o formato desejado. Nesse caso têm-se duas fases de preparação, uma relacionada à traçagem e corte e a outra relacionada ao calor aplicado na peça.

Figura 7: Sistemas de abas

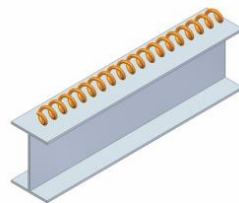


Fonte: Adaptado de Vianna, 2009

Podem-se destacar os conectores espirais como mostra a Figura 8 de origem europeia. Com um formato não muito convencional, trata-se de um conector de fabricação complicada, pelo fato de que sua aquisição é somente viável se o fornecimento for industrial. Caso não seja, devido à sua geometria, a aquisição torna-se inviável.

Segundo David (2007), estudos a respeito de conectores de cisalhamento iniciaram em 1933 na Suíça. O conector tipo espiral analisado era formado de barras redondas em formato de hélice. Na época foram feitos estudos e realizados ensaios de cisalhamento direto e ensaios de flexão em vigas mistas. A aplicação desses conectores, pela própria geometria de fabricação, não se tornou viável nas estruturas mistas aço e concreto, face aos demais conectores de cisalhamento.

Figura 8: Conectores espirais

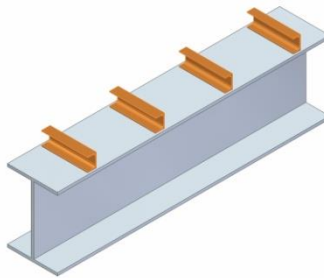


Fonte: Adaptado de Vianna, 2009

Os conectores flexíveis e perfil “U”, como mostrados na Figura 9, são originais da América do Norte. A sua utilização foi muito difundida nas décadas de 1940, 1950 e 1960 no Brasil, tendo

em vista que a preparação desses conectores inicia-se com aquisição de barra de perfil em formato de “U” laminado, normalmente barras com comprimento padrão de 6 metros ou 12 metros adquiridos no mercado. A facilidade de preparação contribuiu para sua utilização nas diversas edificações no Brasil e continua nos dias atuais mais timidamente devido aos novos tipos de conectores.

Figura 9: Conectores em perfis laminados em forma de “U”



Fonte: Adaptado de Vianna, 2009

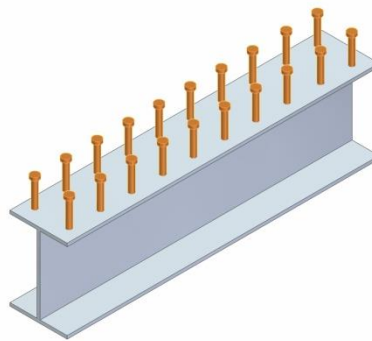
Segundo Viana (2009), o uso dos conectores *stud bolt* teve seu início no ano de 1956 e era evidentemente uma inovação significativa, comparando com os conectores espirais, onde o processo de fabricação requer equipamento para sua conformação. Mas pela época do seu invento, possivelmente foi fabricado de forma artesanal, não tendo sucesso sua aplicação nos dias de hoje.

Coincidentemente, os conectores *stud bolt*, mostrados na Figura 10, foram utilizados no mesmo ano em dois diferentes tipos de construção, uma ponte e um edifício. Desde então, passaram a ser os conectores de uso mais popular em sistemas mistos conforme Cosenza e Zandonini (1999).

Foram realizados vários ensaios de flexão de vigas mistas e cisalhamento direto que apresentaram algumas diferenças quanto ao comportamento dos conectores. Nos ensaios de flexão, os conectores são solicitados indiretamente. A força do conector não é proporcional à força aplicada à viga, pois ela depende da rigidez de outros componentes. Os estudos dos conectores de maior difusão, *stud bolt*, iniciaram no ano de 1954, e este conector consiste de um pino especialmente projetado para funcionar como um eletrodo de solda por arco elétrico e ao mesmo tempo, após soldagem, como conector de corte possuindo uma cabeça com dimensões padronizadas para cada diâmetro. O conector *stud bolt* difundiu-se mundialmente, em função da produtividade que proporciona, da velocidade de aplicação, à boa ancoragem no concreto e à facilidade de colocação de armaduras entre os conectores. Em relação às

desvantagens deste conector podem-se citar as limitações no caso de ligações sujeitas à fadiga, já que é um conector flexível e se deforma sob sobrecargas de serviço. Há também necessidade de um equipamento especial de solda por processo de eletrofusão e acrescenta-se ainda a pistola para soldagem. Recomenda-se incluir um gerador de grande potência, caso tenha-se que executar a solda dos conectores no canteiro de obras. Para soldagem dos conectores na fábrica, faz-se necessário adequar as instalações prevendo-se um consumo substancial de energia elétrica.

Figura 10: Conectores stud bolt



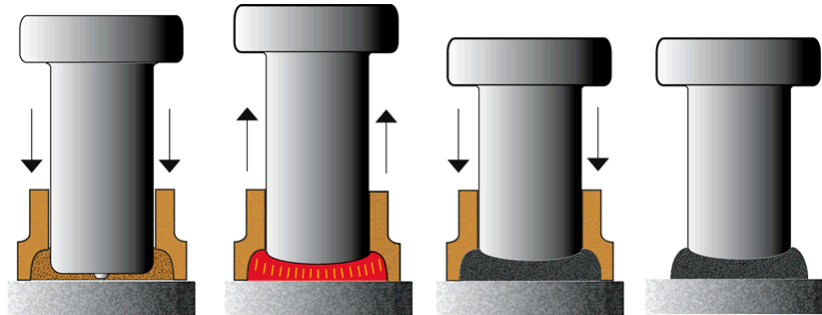
Fonte: Adaptado de Vianna, 2009

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), a soldagem do *stud bolt* envolve os mesmos princípios básicos e aspectos metalúrgicos de uma solda pelo processo de arco elétrico convencional, onde o arco elétrico controlado é destinado a fundir a extremidade do pino ou do eletrodo com o metal base, originando uma solda de ótima qualidade estrutural, mais resistente que o próprio pino. A execução dessa solda está especificada no capítulo 4 da norma americana AWS – D1.1 (2000), e, para este tipo de solda há que se considerar as qualificações dos procedimentos, dos materiais utilizados, dos soldadores e por fim dos equipamentos de solda e suas regulagens. No processo de soldagem é utilizado o próprio pino e um anel de cerâmica, que tem a função de envolver o material fundido, bem como proteger o arco elétrico gerado.

Conforme mostrado na Figura 11, têm-se a sequência para a realização da solda, onde o pino, junto ao anel de cerâmica, é colocado em uma pistola automática ligado à máquina de soldagem de alta amperagem. Inicia-se o processo de soldagem quando ao apertar o gatilho da pistola encosta-se a base do pino no material base. Acrescenta-se o fato de que automaticamente ocorre o afastamento do pino de uma distância satisfatória do ponto onde é soldado. Considera-se um tempo suficiente para que tanto o pino quanto o material base

alcancem o ponto de fusão esperado. Aguarda-se o material fundido se consubstanciar, confirmando que o processo está completo, retira-se a pistola do pino e quebra-se a cerâmica. O processo para execução da solda dura alguns segundos, o tempo maior fica por conta do encaixe do pino e posicionamento no material base.

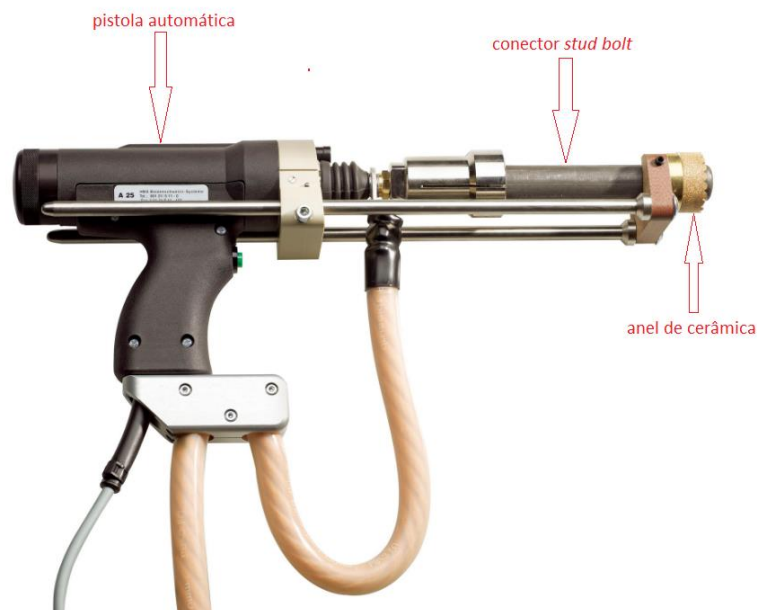
Figura 11: Sequência das diferentes fases de resolução de conectores stud bolt



Fonte: Enakron, 2018

Na Figura 12 mostra-se a pistola utilizada para executar a soldagem do conector pino com cabeça, conhecido comercialmente como *stud bolt*.

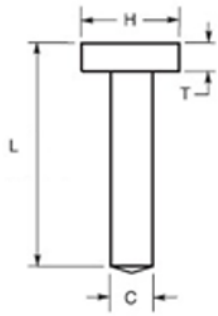
Figura 12: Pistola automática com o anel de cerâmica



Fonte: Studweld, 2018

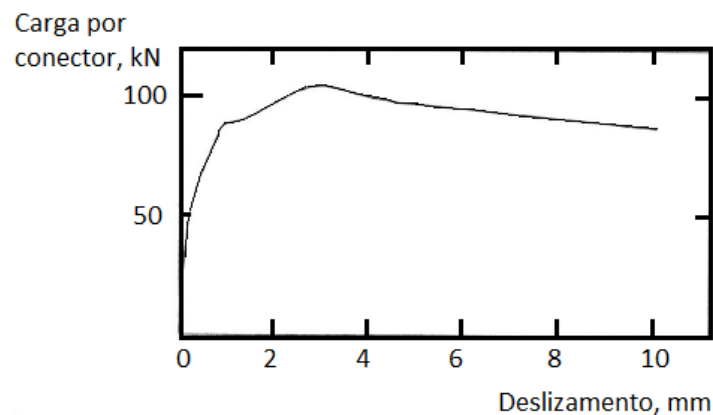
Segundo Queiroz e Pimenta (2001), os conectores *stud bolt* são padronizados conforme a norma AWS D1.1 (2004) e possuem uma cabeça com dimensões padronizadas para cada tipo de diâmetro, conforme mostrado na Tabela 1. Segundo a norma AWS D1.1 (2004), o tipo e o tamanho do conector *stud bolt* deve ser especificado nos desenhos, especificações ou disposições especiais. Apresenta-se na Tabela 1 somente alguns tipos usuais de conectores *stud bolt*.

Tabela 1: Dimensões e tolerâncias de conectores stud bolt os mais usuais (AWS D1.1, 2004)

	Diâmetro (C)			Tolerâncias de comprimento (L)	Diâmetro da cabeça do conector (H)	Altura mínima da cabeça do conector (T)
	[pol]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
5/8"	15,9	+0,00 -0,25	±1,6	31,7 ± 0,4	7,1	
3/4"	19,1	+0,00 -0,38	±1,6	31,7 ± 0,4	9,5	
7/8"	22,2	+0,00 -0,38	±1,6	34,9 ± 0,4	9,5	

Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

Ainda Segundo Queiroz e Pimenta (2001), a determinação analítica do comportamento dos conectores é excessivamente complexa. Portanto, torna-se necessária a aplicação de ensaios. Na Figura 13, informa-se a curva carga-deslizamento típica para conector de cisalhamento tipo pino com cabeça *stud bolt* e essa é a principal e mais importante característica na determinação dos conectores de cisalhamento, pois tem-se a relação entre a força de cisalhamento transmitida e o deslizamento relativo entre as superfícies que são partes integrantes do sistema misto aço e concreto.

Figura 13: Pistola automática com o anel de cerâmica

Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

Essa relação, evidenciada na curva carga-deslizamento, pode ser obtida realizando-se ensaios de vigas mistas em escala real ou, o que se faz na prática, executando-se ensaios padronizados pelas normas de cálculo.

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), as resistências nominais do conector pino com cabeça *stud bolt* estão informadas na Tabela 2. Observa-se ainda que conforme a norma NBR 8800 (ABNT, 1986) limita-se a resistência característica do concreto em $f_{ck} \leq 28$ MPa. Assim, não se deve acreditar as resistências nominais dos conectores relativas ao concreto com

resistência característica superior a este valor. Todavia, isso não ocorre quando se aplica a norma AISC-LFRD (1993), ou seja, não ocorre essa limitação.

Tabela 2: Resistências nominais do conector stud bolt na laje maciça (NBR 8800, 1986; AISC-LFRD, 1993)

f_{ck} [MPa]	R_n Calculado em função do f_{ck} [kN]	R_n Adotado [kN]
20	95	95
25	112	112
28	122	119
30	129	119
40	160	119

Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), para a mesma laje maciça, porém atendendo a norma Eurocode 4 (1992), as resistências nominais do conector pino com cabeça *stud bolt* apresenta alterações nos valores das resistências comparado-os aos valores informados na Tabela 2. Para atender a Eurocode 4 (1992), as resistências nominais são tomadas conforme mostradas na Tabela 3.

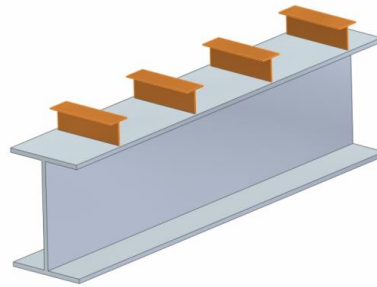
Tabela 3: Resistências nominais do conector stud bolt na laje maciça

f_{ck} [MPa]	R_n Calculado em função do f_{ck} [kN]	R_n Adotado [kN]
20	80	80
25	92	92
30	104	95
40	124	95

Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

O conector tipo “T” consiste basicamente de um pedaço curto de perfil T soldado à mesa do perfil metálico, como mostrado na Figura 14, e pode ser fabricado com diversos tamanhos e bitolas, a partir do corte de perfis laminados comerciais, ou mesmo de perfis soldados. Optando-se pela utilização desse conector, deve-se considerar o aumento no tempo de sua preparação, o que o torna menos competitivo quando comparado ao perfil “U” laminado. A possibilidade de produzir conectores a partir de perfis laminados tem a vantagem de não ser necessário produzir um novo elemento de conexão específico.

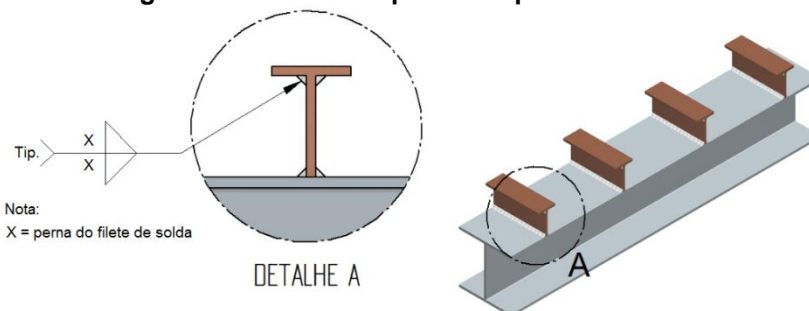
Figura 14: Conector tipo “T em perfil laminado”



Fonte: Adaptado de Cruz, et al, 2006

A solda dos conectores tipo T é de simples execução, não requer nenhum procedimento especial e geralmente são soldas de filetes em ambos os lados da alma, conforme mostrado na Figura 15. A espessura da alma e o comprimento do T formam a área de corte do conector, que é usualmente superior à do *stud bolt*. Para os conectores tipo “T” soldados, conforme mostrado na Figura 15, acrescentam-se 4 pernas de filete de solda conforme mostrado no Detalhe A, o que torna a escolha desse conector apenas em casos excepcionais, devido ao custo elevado para sua fabricação, envolvendo as principais fases no processo fabril de corte, preparação, montagem e solda dos conectores.

Figura 15: Conector tipo “T em perfil soldado”



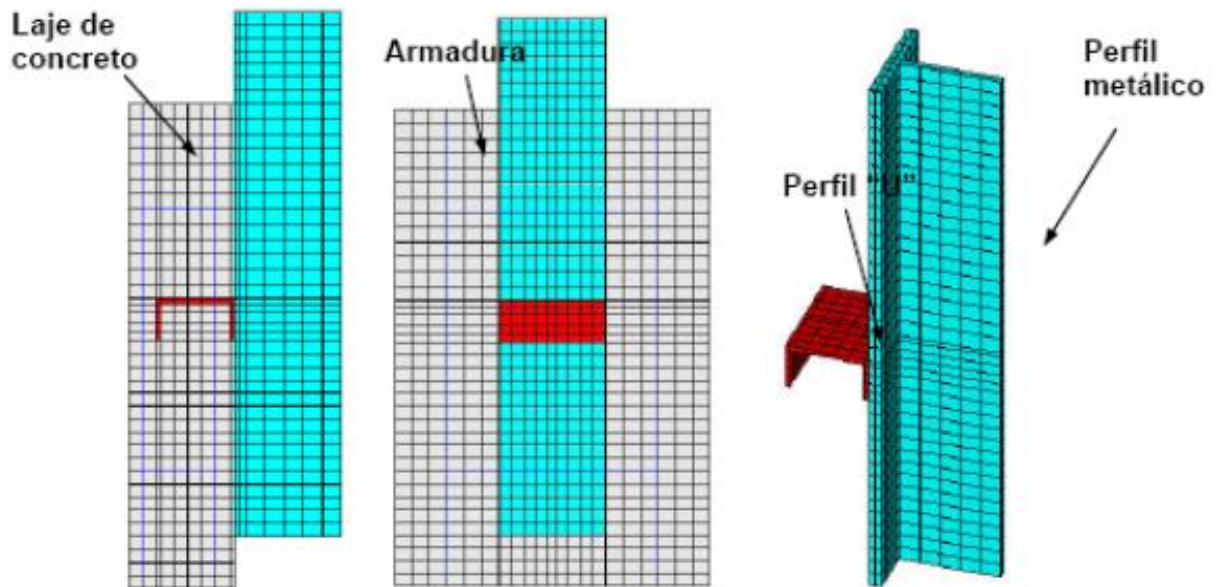
Fonte: Adaptado de Cruz, et al, 2006

Tristão e Neto (2005) realizaram uma simulação numérica dos conectores tipo *stud bolt* e tipo “U” por meio de uma modelagem do ensaio experimental tipo *Push out*, cujos resultados foram confrontados com valores experimentais ocorridos em ensaios realizados em laboratório, como mostrado na Figura 16. Para essa simulação foi utilizado o Método dos Elementos Finitos (MEF), cujas ferramentas disponibilizadas permitiram análises dos modelos em regime de não linearidade física e geométrica.

Esses modelos numéricos apresentam como variáveis de interesse o número de conectores na laje de concreto, a quantidade de armadura inserida no concreto, o diâmetro do conector tipo pino com cabeça *stud bolt*, a resistência do concreto, a espessura e a posição de soldagem do conector tipo perfil “U” formado a frio. A variação desses parâmetros tem a finalidade de determinar a resistência última e a relação força-deslocamento dos conectores,

bem como avaliar a concentração de tensão e deformação nas partes constituintes dos modelos.

Figura 16: Visão geral da discretização para modelos com conector perfil “U” formado a frio

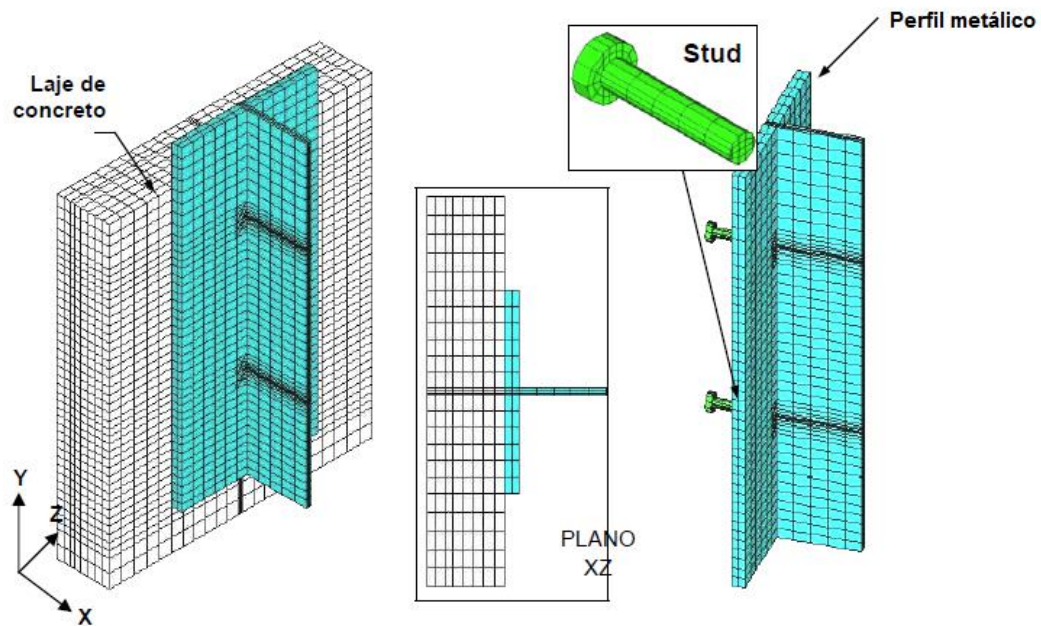


Fonte: Adaptado de Tristão e Neto, 2005

Tristão e Neto (2005) propuseram uma análise numérica para analisar o comportamento dos conectores pino com cabeça *stud bolt* e perfil “U” conformado a frio. Na Figura 17, ilustra-se a malha de elementos finitos para o conector pino com cabeça com 13,0 mm de diâmetro. Foram confrontados três resultados mais representativos, dentre os nove ensaios experimentais executados por Kalfas et al. (1997).

Ainda segundo Tristão e Neto (2005), a força total aposto no modelo numérico foi dividida igualmente entre os dois conectores.

Figura 17: Visão geral da discretização para modelos com conector pino com cabeça stud bolt



Fonte: Adaptado de Tristão e Neto, 2005

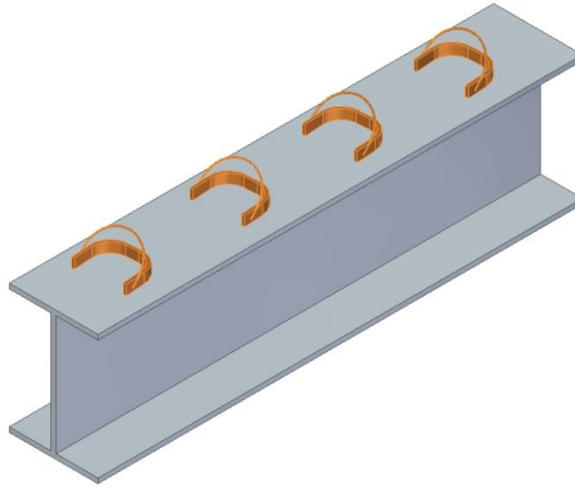
Tristão e Neto (2005) concluíram que os resultados dos modelos numéricos, avaliados com referência à relação entre a força e deslocamento por tipo de conector, atenderam satisfatoriamente quando comparados com resultados experimentais. Acrescentam ainda, que outros aspectos de interesse nos modelos numéricos foram avaliados, tendo como exemplo, a concentração de tensão nos conectores, que não se consegue obter em ensaios experimentais.

Por fim, destaca-se que a simulação numérica do ensaio *Push out* permite analisar o comportamento dos conectores de cisalhamento, não apenas sobre o aspecto global, ou seja, a relação força x deslocamento, mas também os aspectos localizados como tensões e deformações nos componentes do modelo. Além disso, a análise numérica do ensaio *Push out* pode refletir uma importante economia de tempo e dinheiro, quando confrontada com a análise experimental.

Queiroz e Pimenta (2001) citam outros tipos de conectores, conforme mostrados nas Figuras 18, 19, 20 e 21 extraídos do Eurocode 4 (1992). Esses conectores são denominados conectores de bloco, assim definidos se forem suficientemente rígidos para que, na ruína, a pressão de contato no concreto possa ser considerada como uniformemente distribuída. Portanto, algumas relações entre a alma e a espessura desses conectores devem ser

obedecidas. Os valores dessas relações e as expressões para o cálculo da resistência nominal podem ser encontrados no capítulo 6 do Eurocode 4 (1992).

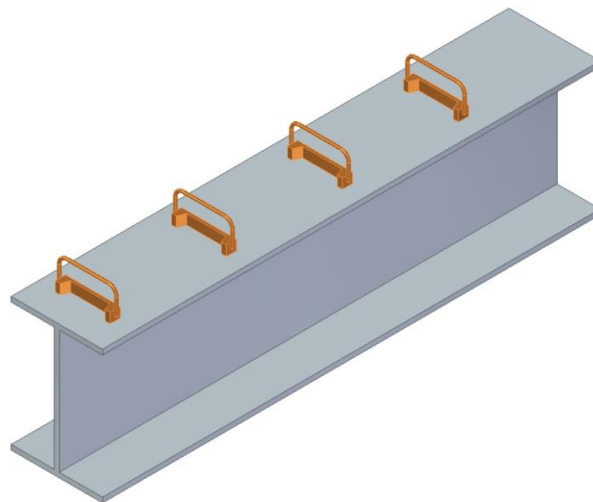
Figura 18: Outros tipos de Conectores – tipo 1



Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

A geometria do conector de bloco difere no formato do bloco e também da alça. Conforme mostrado na Figura 19, a alça está posicionada perpendicular ao bloco e é fixada através do cordão de solda.

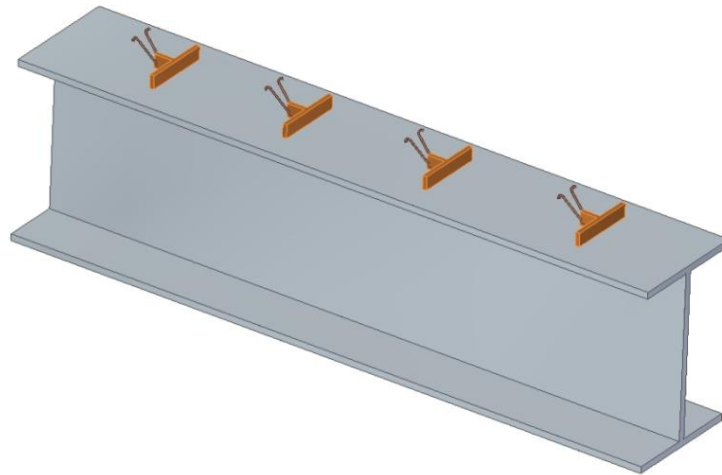
Figura 19: Outros tipos de Conectores – tipo 2



Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

Para o conector de bloco mostrado na Figura 20, além da executar a conformação da alça, faz-se necessário furar o bloco para passagem da alça. A preparação o torna inviável para aplicação nas edificações. Acrescentam-se fases de corte, preparação, conformação, montagem e solda.

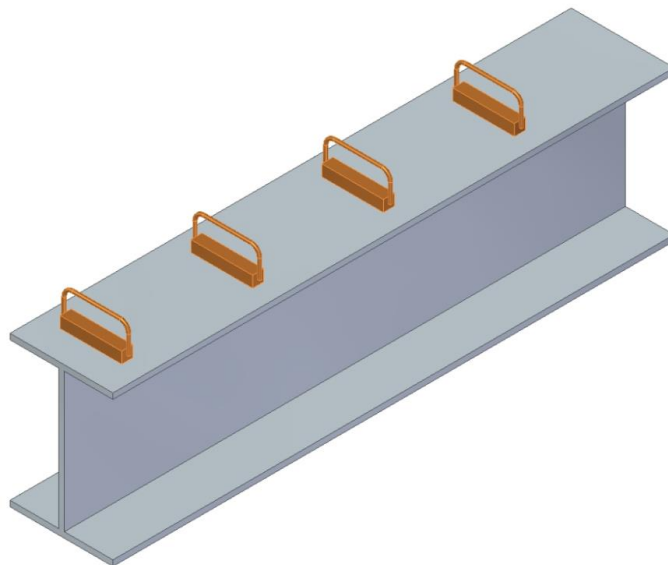
Figura 20: Outros tipos de Conectores – tipo 3



Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

Para o conector de bloco, mostrado na Figura 21, o bloco é fabricado a partir de chapa de aço ou barra quadrada laminada. A simplicidade desse conector refere-se à sua preparação, que o torna mais aplicável em relação aos demais conectores de bloco vistos anteriormente.

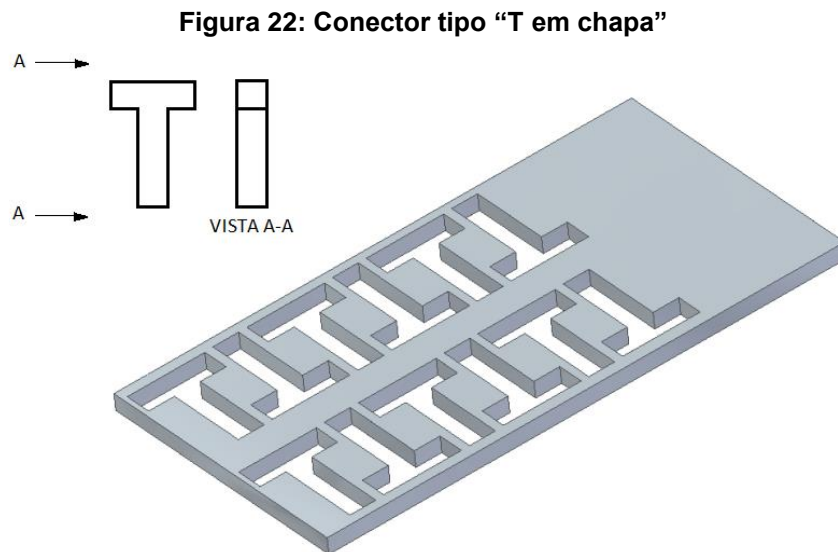
Figura 21: Outros tipos de Conectores – tipo 4



Fonte: Adaptado de Queiroz e Pimenta, 2001

Em alguns projetos residenciais, foram aplicados tipos de conectores a partir do corte de chapa conforme mostrados nas Figuras 22 e 23. São conectores semelhantes ao conector tipo olhal utilizados em pontes vicinais. Não muito comuns nos projetos de engenharia devido a escolha da qualidade do material, fabricação e posterior soldagem nos perfis. O processo fabril dar-se somente por meio de corte, conforme mostrado na Figura 22, e o conector tipo “T em chapa” é manufaturado diretamente da chapa sem qualquer outro tipo de processo fabril,

ou seja, dispensa fases como preparação, conformação, montagem e solda. Isto conseqüentemente viabiliza o empreendimento por questão de custo.



Fonte: O autor, 2018

Conforme mostrado na Figura 23, aplicou-se o conector tipo “T em chapa” nas vigas de estruturas metálicas em edificações residenciais.

Figura 23: Conector tipo “T em chapa” aplicado na estrutura metálica

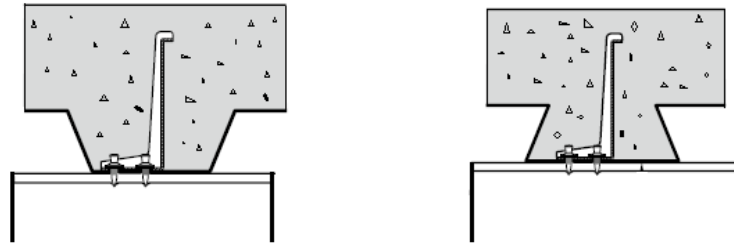


Fonte: Aço Vertical Edificações, 2017

Outro tipo, o conector Hilti X-HVB, como mostrado na Figura 24, vem se destacando na Europa (Queiroz; Pimenta, 2001). Esses conectores são presos ao perfil metálico por meio de fixadores à pólvora. Essa forma de ligação possui a vantagem de não necessitar de energia na obra para sua colocação, ao contrário dos conectores tipo pino com cabeça que requerem uma grande fonte de energia elétrica, cerca de 225 kva para soldar os conectores na viga metálica. Isso requer um sistema elétrico compatível para essa atividade, podendo aumentar

os custos de projeto. Nesse caso, tem-se prever verba na fase de orçamento e cuidado especial para soldagem dos conectores conforme planejamento da edificação.

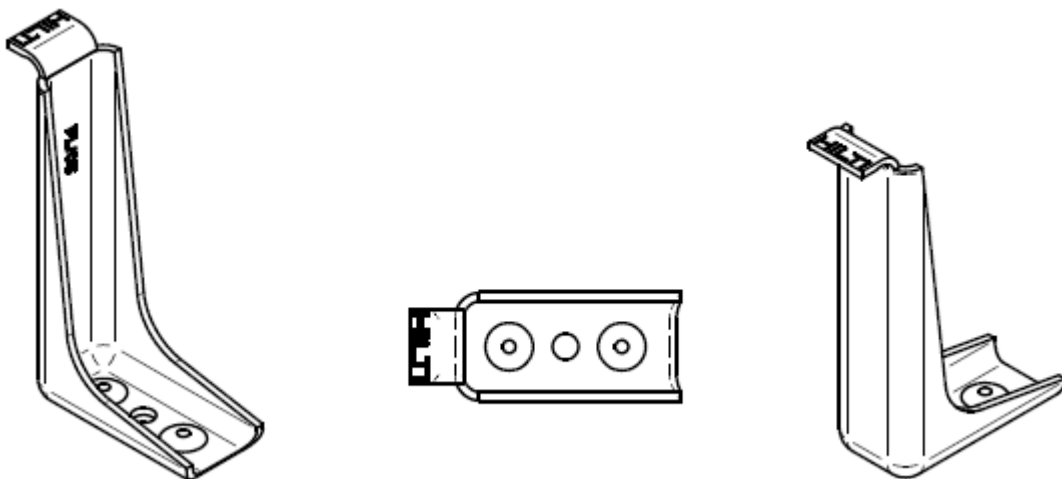
Figura 24: Conector Hilti X-HVB



Fonte: Adaptado do catálogo Hilti X-HVB System, 2007

Os esclarecimentos aqui divulgados foram retirados do catálogo “Hilti X-HVB system solutions for shear connections” (2016). A empresa com sede em Schaan, Liechtenstein tem desenvolvido um tipo de conector em forma de “L” e com abas nas faces formando ao mesmo tempo a forma de “U”. A conformação a frio se dá pelo processo de estampagem onde é aplicada uma força para a peça atingir o formato mostrado na Figura 25.

Figura 25: Detalhes do conector Hilti X-HVB



Fonte: O autor, 2018

O conector Hilti X-HVB é adequado na ligação entre as lajes de concreto e as vigas de aço com ou sem a fôrma de aço incorporada, conhecido comercialmente com a marca *steel deck*, e possui a vantagem em relação ao conector pino com cabeça de não necessitar de equipamento de solda. Segundo Pereira (2016), a divulgação no Brasil ainda não permitiu uma maior utilização, mas é sabido que esse conector está regulamentado conforme norma Eurocode 4 (1994) e também por outras normas de alguns países europeus, conforme Tabela 4.

Tabela 4: Lista de normas aprovadas internacionais do conector Hilti X-HVB

Norma	País
DIBt Z-26.4-46	Alemanha
Socotec PX 0091/7	França
Socotec PX 0091/8	França
Rom. Ministry AT 016-01/281-2013	Romênia
TZUS 070-041312	República Tcheca

Fonte: Adaptado de Pereira, 2016

As propriedades típicas do conector Hilti X-HVB são:

- equipamento de fácil aplicação e custo baixo;
- fácil manutenção do equipamento;
- a instalação não requer nenhuma utilização de fonte de energia;
- fixação dos conectores com precisão e qualidade;
- e mobilização e desmobilização do equipamento de fácil instalação.

A resistência ao cisalhamento do conector Hilti X-HVB, mostrada na Tabela 5, é calculada com alusão às recomendações no manual de tecnologia de fixação direta (DFTM) e fundamentado na norma EN1994-1-1 (2004).

Tabela 5: Lista dos conectores e respectivas resistências Hilti X-HVB

Conector Nominal	Resistencia al corte característica P_{Rk} [kN] ¹⁾	Resistencia al corte de diseño P_{Rd} [kN] ²⁾	Corte horizontal permitido q [kN] ³⁾	Resistencia permitida (carga de trabajo) R_D [kN] ⁴⁾
X-HVB 50	23	18	N.A	13
X-HVB 80	28	23	14	16
X-HVB 95	35	28	17.5	22
X-HVB 110	35	28	17.5	22
X-HVB 125	35	28	17.5	22
X-HVB 140	35	28	17.5	22

Fonte: Adaptado do catálogo Hilti X-HVB System, 2007

Na Tabela 5 indica-se:

- 1) como definido na norma EN 1994-1-1 (2004), resistência do conector na norma AISC-LFRD;
- 2) como definido na norma EN 1994-1-1 (2004);
- 3) cisalhamento horizontal admissível na norma AISC-LFRD;
- 4) cisalhamento permitido para o projeto de carga de trabalho.

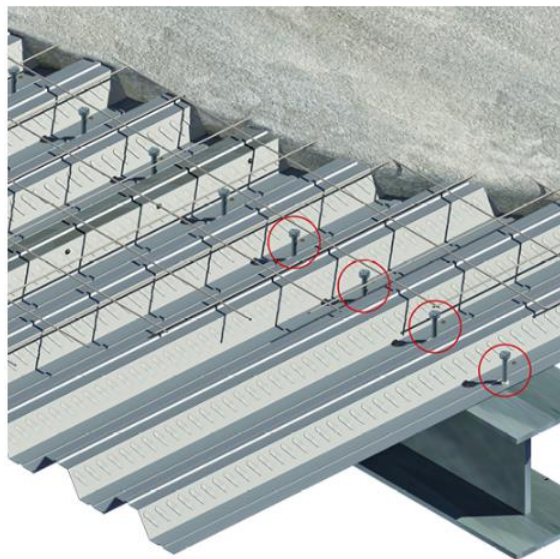
A capacidade de carga do conector Hilti X-HVB, ou melhor, a resistência ao cisalhamento em concreto sólido da laje, é a consequência de:

- alongamento do furo na perna de fixação do conector;
- deformação local do aço da base do perfil mais a dobra do conector;
- flexão do conector;
- e deformação local do concreto no local de contato com o conector.

2.3.1 Conectores de cisalhamento em fôrmas de aço incorporadas

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), vigas mistas podem ser constituídas utilizando-se, basicamente três tipos de lajes: moldadas “*in loco*”, pré-moldadas e mistas. A ligação ao cisalhamento longitudinal de lajes mistas com o perfil de aço pode ser realizada de duas maneiras, ambas com conectores tipo pino com cabeça, conforme mostrado na Figura 26, ou, alternativamente, com conectores Hilti X-HVB, conforme mostrado na Figura 27.

Figura 26: Conector pino com cabeça em fôrmas de aço incorporada



Fonte: Metálica, 2018

Na primeira maneira, já com os pinos soldados na viga de aço, deve-se furar a fôrma de aço e dessa forma ajustar conforme o espaçamento dos pinos. Pode-se também soldar os pinos no campo da fôrma de aço. Esse último procedimento é mais comum na maioria dos países, inclusive no Brasil, levando a forma de construção ser rápida e eficiente. Pode-se utilizar também uma variação do primeiro procedimento, executando-se os furos na fôrma de aço, após a sua fixação nas vigas, por meio de furadeiras com brocas de coroa circular.

Conforme mostrado na Figura 27, os conectores Hilti X-HVB estão fixados na viga com fôrma de aço incorporada e observa-se que o distanciamento entre os conectores e seu posicionamento difere ao se comparar com o conector pino com cabeça.

Figura 27: Conector tipo Hilti X-HVB em fôrmas de aço incorporada



Fonte: Catálogo Hilti X-HVB System, 2016

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), existem certas limitações e cuidados especiais que devem ser tomados ao se utilizar conectores em viga com fôrma de aço incorporada. O comportamento de conectores colocados dentro das nervuras das fôrmas de aço é mais complexo do que o dos colocados em lajes maciças, sendo assim influenciados pelos fatores:

- direção das nervuras em relação ao eixo das vigas;
- largura média e altura das nervuras;
- diâmetro e altura dos pinos;
- número de pinos colocados dos pinos em relação à face da nervura;
- posição dos pinos em relação ao centro das nervuras e à direção da força de cisalhamento (*excentricidade*).

2.3.2 Comparativo de fixação e custo dos conectores *stud bolt* e Hilti X-HVB

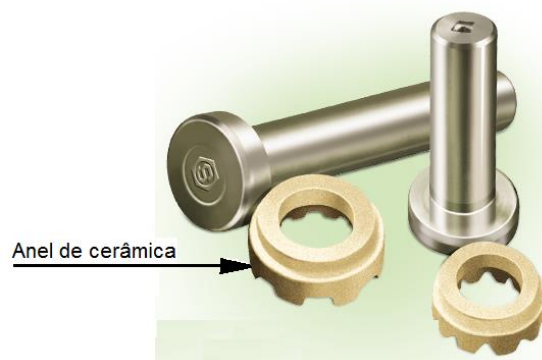
Considerando que os conectores *stud bolt* são os mais utilizados no mercado da construção metálica e esse trabalho tem como objetivo o estudo da viabilidade técnica e econômica do uso do conector Hilti X-HVB, apresenta-se, a seguir, um comparativo do uso desses conectores. Na Tabela 6 são informados os comparativos de valores de custo entre a utilização do conector pino com cabeça *stud bolt* e o conector Hilti X-HVB.

Tabela 6: Comparativo de valores entre os conectores stud bolt e Hilti X-HVB

Quadro comparativo de valores entre conectores, equipamentos e acessórios				
DESCRIÇÃO	Valores Unitários (R\$)	Diferença de custo para aplicação entre os dois tipos de conectores (R\$)	Diferença em percentual	Observações
¹ Conector HILTI X-HVB 95 (1 unidade)	9,79	5,69	39%	Percebe-se uma vantagem na utilização do conector pino com cabeça em relação ao HILTI X-HVB
¹ Pino (2 unidades)	2,77			
¹ Cartucho vermelho (2 unidades)	2,13			
² Conector Pino com cabeça <i>stud bolt</i> \varnothing 3/4" x 110mm	9,00			
³ Máquina de solda p/ conector HILTI X-HVB e acessórios	23.876,09	153.897,14	87%	
⁴ Máquina de solda p/ conector Pino com cabeça e acessórios	177.773,23			

Fontes: ¹⁻³ Catálogo Hilti X-HVB System, 2016 ² Ferramentas e Construção, 2018 e ⁴ Usiminas Mecânica, 2018

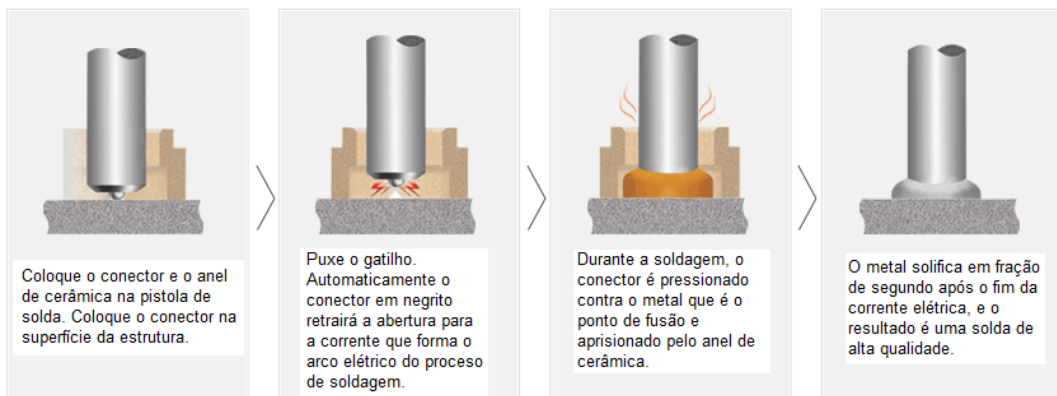
Notadamente as diferenças entre ambos referem-se à aquisição principalmente dos equipamentos utilizados para soldar no caso do *stud bolt* ou fixados para o tipo Hilti X-HVB. A outra diferença significativa refere-se à aquisição dos acessórios para completa utilização dos conectores. O conector *stud bolt* utiliza apenas o anel cerâmico conforme mostrado na Figura 28. A sua aplicação é relativamente simples e rápida.

Figura 28: Conector stud bolt junto ao anel de cerâmica

Fonte: Ciser, 2018

A seguir, mostram-se as fases em que ocorre a soldagem por eletrofusão dos conectores. No final do conector há uma esfera de fluxo sólido, que segundo o fabricante serve como desoxidante e estabilizador do arco de soldagem. Complementa-se a esse o anel de cerâmica de formato específico inserido no conector delimitando a área de soldagem, conforme mostrado na Figura 29.

Figura 29: Sequência de fases em que ocorre a soldagem por eletrofusão



Fonte: Ciser, 2018

O conector Hilti X-HVB utiliza o pino para fixação e o cartucho para explosão, conforme mostrado na Figura 30. Nesse processo não ocorre soldagem e sim uma fixação por meio da explosão do cartucho. O cartucho está identificado na cor vermelha para espessura de abas do perfil até 8,0 mm e cartucho preto para espessura maior que 8,0 mm e menor que 19,0 mm.

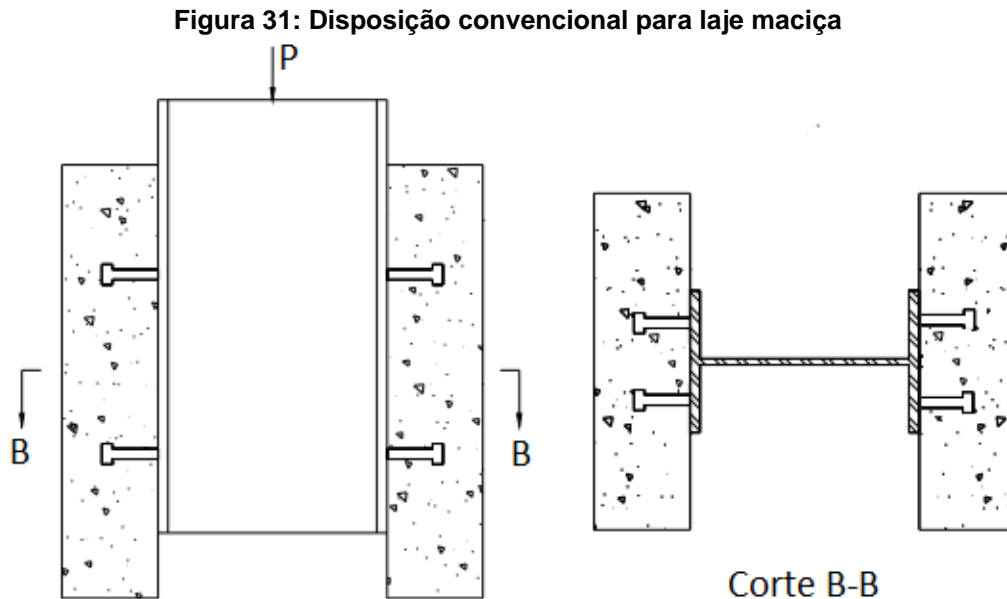
Figura 30: Pino de fixação e cartucho



Fonte: Catálogo Hilti X-HVB System, 2016

2.3.3 Ensaio para determinação da resistência ao cisalhamento de conectores

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), quando se deseja determinar as propriedades de conector que não esteja previsto em normas, podem-se utilizar ensaios padronizados designados *Push tests*. Para realização desse tipo de ensaio, em conformidade com a norma Eurocode 4 (2004), designa-se o dispositivo conforme mostrado na Figura 31.



Fonte: Adaptado de Fabrizzi, 2007

Para lajes mistas aço e concreto, as dimensões da laje, do perfil de aço e da armadura devem ser escolhidas de forma a reproduzirem acertadamente a situação real, prevendo-se dessa forma a possibilidade de mascarar o ensaio.

Segundo Queiroz e Pimenta (2001), algumas providências devem ser tomadas para que resultados fundamentados possam ser alcançados. Acrescenta-se a isso a forma de preparação do protótipo, sendo necessário seguir exatamente o previsto pela norma. Essencialmente, podem-se citar dois:

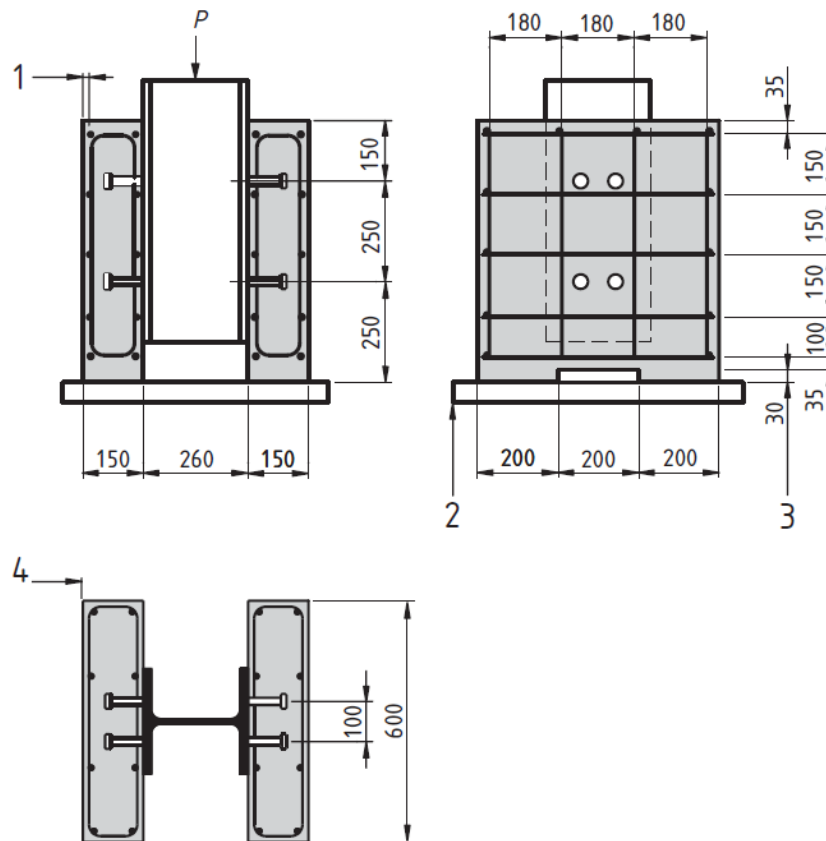
- para que os resultados não sejam afetados pela aderência química entre o perfil de aço e o concreto, a superfície deve ser polida;
- a resistência à compressão concreto no momento do ensaio deve ser inferior ($70\% \pm 10\%$) comparada à resistência característica (f_{ck}) do concreto a ser aplicado na prática.

Durante a realização do ensaio, para cada incremento de carga, aferem-se o deslizamento relativo de carga e a fragmentação transversal entre as superfícies de contato.

Segundo Johnson (2004), para definir um conector de cisalhamento é de extrema relevância que se conheça o comportamento força-deslizamento da conexão. Para obtenção e avaliação desse dado aplica-se os ensaios tipo *Push out* padronizados.

Segundo a norma EN 1994-1-1 (2004), o ensaio *Push out* consiste em um perfil metálico entre duas lajes de concreto ligada aos conectores de cisalhamento tipo pino com cabeça, conhecido comercialmente como *Stud bolt*, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32: Ensaio Push out segundo EN 1994-1-1 (2004)



Fonte: Norma EN 1994-1-1, 2004

Sendo indicados:

- 1 – uma cobertura de 15 mm para armadura de aço.
- 2 – que a peça poderá ser assentada em argamassa ou gesso.
- 3 – que o recuo poderá ser opcional.
- 4 – que os reforços são barras de aço CA-50 de \varnothing 10 mm resultando em uma ligação elevada com $450 \leq f_{sk} \leq 550$ N/mm². A seção do perfil metálico corresponde ao HE 260B ou ainda o perfil UC 254 x 254 x 89. A esse último citado o tipo de aço utilizado corresponde à norma EN 10025 S355 J0 e as suas propriedades são apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7: Propriedades geométricas do perfil UC 254 x 254 x 89

Designação	Altura	Largura	Espessura alma	Espessura aba	Raio	Altura entre abas	Área da Seção	Peso	Momento de inércia	Momento de inércia	Seção do módulo	Seção do módulo
									- I _x	- I _y	- S _x	- S _y
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	Kg/m	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³
UC 254 x 254 x 89 kg/m	260.3	256.3	10.3	17.3	12.7	200.3	113	88.9	14268	4857	1096	379

Fonte: Adaptado de Engineering ToolBox, 2018

Ainda segundo a norma EN 1994-1-1 (2004), utiliza-se o ensaio de cisalhamento, *Push out*, para a caracterização de conectores. Nessa avaliação a força-deslizamento pode ser mensurada até que a força aplicada decresça 20% em relação à força máxima auferida no ensaio. Esses dados são adquiridos por meio do monitoramento evolutivo do desempenho pós-pico, fazendo-se necessária a execução do ensaio em equipamento que consiga controlar esses deslocamentos. Os elementos a serem examinados abrangem os conectores de cisalhamento, a geometria e as propriedades mecânicas das lajes de concreto, a armadura da laje e da pré-laje.

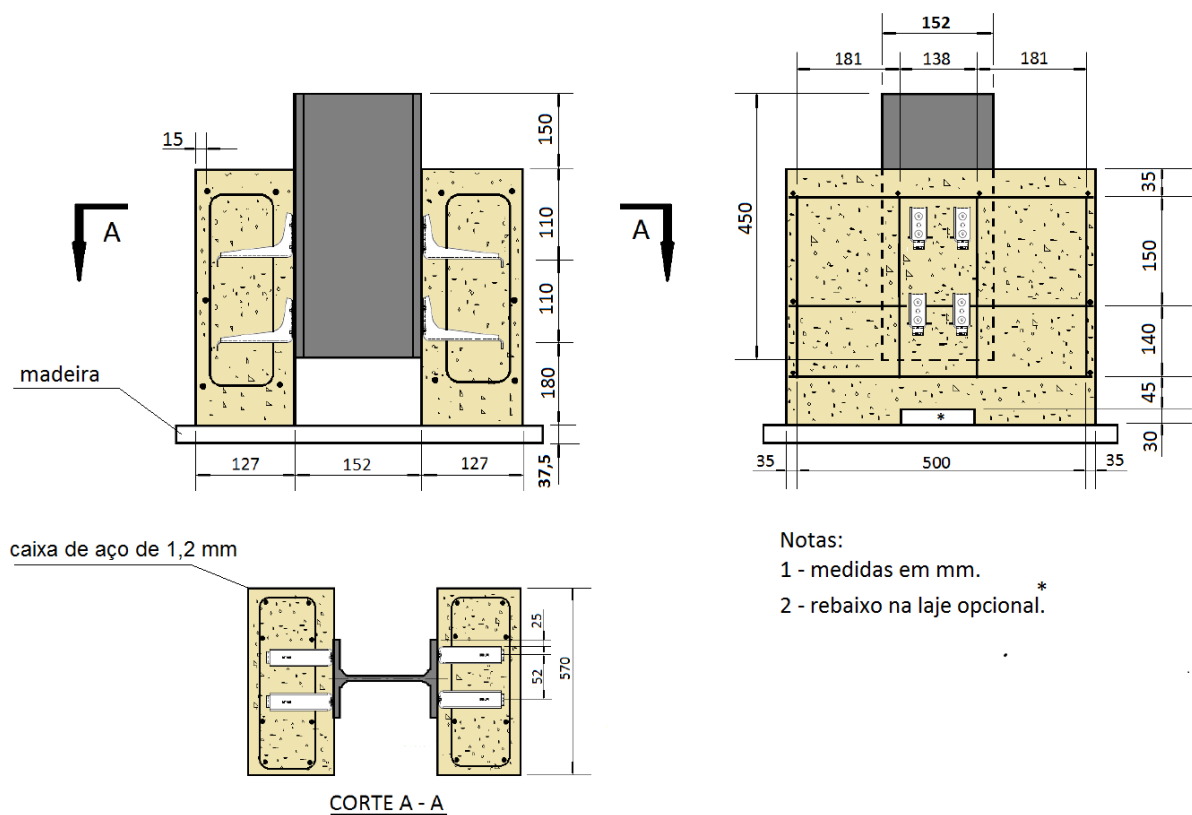
CAPÍTULO 3

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Ensaio *Push out* segundo EN 1994-1-1 (2004)

Apresenta-se na Figura 33 o corpo de prova para a realização do ensaio *Push out* padrão. Os conectores Hilti X-HVB são dispostos numa configuração que possibilita a realização do ensaio.

Figura 33: Corpo de prova para o ensaio *Push out* padrão (EN1994-1-1-2004[3])



Disposição convencional para laje maciça.

Fonte: O autor, 2018

Apresenta-se na Tabela 8 os valores correspondentes às dimensões, área, massa linear e designação do perfil laminado “W” utilizado para realização do ensaio *Push out*. Utiliza-se o ensaio *Push out* para a caracterização de conectores. Nessa avaliação, a carga x deslocamento é mensurada até a força aplicada decrescer 20% em relação à força máxima auferida no ensaio. Esses dados são, então, adquiridos por meio do monitoramento evolutivo do desempenho pós-pico, sendo necessária a execução do ensaio em equipamento que controla esses deslocamentos. E os elementos examinados abrangem os conectores de

cisalhamento, a geometria e as propriedades mecânicas das lajes de concreto, a armadura da laje e da pré-laje.

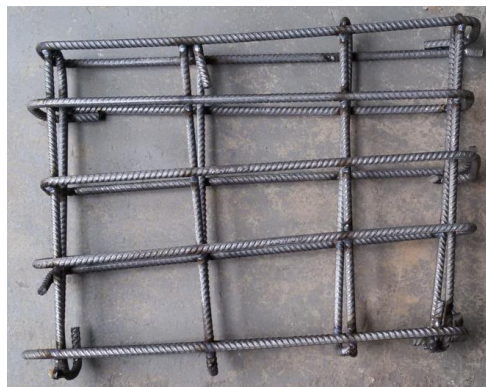
Tabela 8: Bitola do perfil laminado “W” 150 x 22,5 utilizado no ensaio Push out

PERFIL LAMINADO W								
Designação	Massa	Área	DIMENSÕES					
Altura x massa	Linear	A	d	b _f	t _w	t _f	h	d'
[mm x kg/m]	[kg/m]	[cm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
W 150 x 22,5	22,5	29,0	152	152	5,8	6,6	139,0	119,0

Fonte: Gerdau, 2018

Para realização do ensaio *Push out* padrão, deve-se atender as dimensões dos corpos de prova, a seção de aço e também a armadura de aço como mostrado na Figura 34.

Figura 34: Armadura de aço - ensaio Push out segundo EN 1994-1-1 (2004)



Fonte: O autor, 2017

3.2 Equipamentos e Materiais

3.2.1 Ferramenta para fixação dos conectores e os seus acessórios

A ferramenta para fixação dos conectores compõe de “revolver” com as suas divisões conforme mostrado na Figura 35.

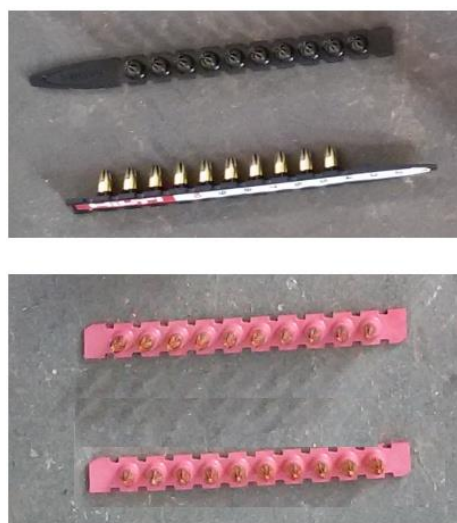
Figura 35: Ferramenta para fixação dos conectores Hilti X-HVB



Fonte: O autor, 2017

Os cartuchos são introduzidos na ferramenta e tem a função de explodir e direcionar o pino contra a mesa do perfil fixando-o de forma eficiente. Observa-se que os cartuchos são identificados em duas cores, preto e vermelho. A diferença entre eles está no poder de explosão, em que o preto atende a espessuras de 9,5 a 19 mm e o vermelho de 3,0 a 8,0 mm, conforme mostrado na Figura 36.

Figura 36: Cartuchos para explosão e fixação dos conectores Hilti X-HVB



Fonte: O autor, 2017

Os pinos são pontiagudos contendo duas arruelas para prender os conectores. São comuns as espessuras de 3,0 mm a 19 mm da aba do perfil, conforme mostrado na Figura 37.

Figura 37: Pinos para fixação dos conectores Hilti X-HVB

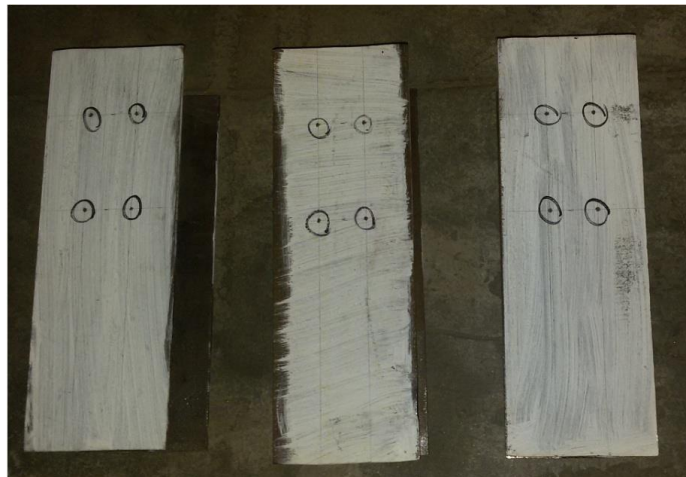


Fonte: O autor, 2017

3.2.2 Preparação dos perfis para montagem dos conectores

Os perfis laminados “W” 150 x 22 foram preparados através da fase de traçagem para posterior fixação dos conectores, conforme mostrado na Figura 38.

Figura 38: Perfis laminados traçados para fixação dos conectores Hilti X-HVB



Fonte: o autor, 2017

3.2.3 Posicionamento dos conectores nos perfis

Após traçagem nos perfis foram posicionados os conectores para fixação dos mesmos conforme mostrado na Figura 39. Nota-se o furo localizado no centro e na parte inferior do conector para posicionamento da ferramenta.

Figura 39: Perfis laminados com os conectores Hilti X-HVB posicionados para fixação



Fonte: O autor, 2017

3.2.4 Montagem dos conectores nos perfis

A montagem ocorreu por meio de uma ferramenta exclusiva para fixação dos conectores, conforme mostrado na Figura 40. Há dois pontos onde o conector fica preso por meio de dois imãs. A ferramenta trabalha na posição vertical e, conseqüentemente, sem os imãs o conector não ficaria preso à ferramenta. Além dos imãs posicionados externamente, há outro imã localizado na parte interna da ferramenta prevendo prender o pino propriamente dito para fixação do conector.

Figura 40: Ferramenta para fixação dos conectores Hilti X-HVB



Fonte: O autor, 2017

O conector no primeiro instante é guiado através de uma saliência existente na ferramenta, conforme mostrado na Figura 41. Essa saliência serve para garantir o posicionamento correto do conector e é concebida de um material de alta resistência ao impacto, visando garantir a

integridade da ferramenta. Tem-se em vista que essa operação é repetida por diversas vezes durante a construção de uma edificação.

Figura 41: Saliência existente na ferramenta servindo de guia para o conector Hilti X-HVB



Fonte: O autor, 2017

Na sequência, conforme mostrado na Figura 42, observa-se o conector devidamente posicionado na ferramenta.

Figura 42: Conector Hilti X-HVB posicionado na ferramenta.



Fonte: O autor, 2017

O próximo passo resume-se na fixação dos conectores nos perfis conforme mostrado na Figura 43. Cada conector é fixado por dois pinos e a escolha do cartucho, vermelho ou preto, está relacionada à espessura da aba do perfil. Foram utilizados os cartuchos preto e vermelho, mesmo sendo a espessura da aba do perfil correspondente a 6,6 mm, o que não impediu a sua fixação de forma eficaz.

Figura 43: Fixação dos conectores Hilti X-HVB



Fonte: O autor, 2017

Na Figura 44 mostram-se os conectores já fixados no perfil, preparados para realização da decapagem.

Figura 44: Conectores Hilti X-HVB fixados no perfil laminado



Fonte: O autor, 2017

3.2.5 Preparação para decapagem dos conectores

Para a decapagem dos conectores, no primeiro momento, eles foram submetidos ao jato de granalha Sa 2 ½” para a retirada superficial da camada galvanizada. Os conectores adquiriram uma superfície rugosa e perfeita para a aderência do concreto Figura 45.

Figura 45: Conectores Hilti X-HVB após jateamento



Fonte: O autor, 2017

Porém, essa superfície rugosa interferiu na fixação dos conectores no perfil laminado. Diante desse fato, optou-se pela decapagem química. Os conectores, então, após fixação nos perfis, foram submetidos ao processo de decapagem química. Foram utilizados os produtos químicos ácido clorídrico – HCl 1:1 + inibidor, água destilada e hidróxido de sódio – NaOH 8%, conforme mostrado na Figura 46.

Figura 46: Recipientes contendo os produtos químicos para decapagem.



Fonte: O autor, 2017

Os vasilhames foram identificados respectivamente e sequencialmente para atendimento ao processo de decapagem química, conforme mostrado na Figura 47.

Figura 47: Vasilhames para o banho químico



Fonte: O autor, 2017

Na primeira fase os conectores são mergulhados em solução líquida de ácido clorídrico, permanecendo ali por alguns segundos até cessarem todas as bolhas, conforme mostrado na Figura 48. No manuseio desses produtos, especificamente do ácido clorídrico, alguns cuidados foram observados, principalmente quanto à agressividade do produto em contato com a pele, olhos e sistema respiratório.

Figura 48: Primeira fase em solução líquida de ácido clorídrico – HCl 1:1



Fonte: O autor, 2017

Na segunda fase os conectores são mergulhados em solução líquida de água destilada, permanecendo ali por alguns segundos. Essa fase visa lavar o excesso de ácido clorídrico presente nos elementos fixados, conforme mostrado na Figura 49.

Figura 49: Segunda fase em solução líquida de água destilada.



Fonte: O autor, 2017

Por último os conectores são mergulhados em solução líquida de hidróxido de sódio, permanecendo imergidos por alguns segundos. Essa fase visa neutralizar o ácido clorídrico presente nos elementos fixados para retardar a oxidação rápida nos conectores, conforme mostrado na Figura 50.

Figura 50: A última fase em solução líquida de hidróxido de sódio - NaOH 8%



Fonte: O autor, 2017

Na Figura 51, estão dispostos todos os corpos de prova e os respectivos processos de decapagem química. Ao lado de cada processo estão os produtos químicos utilizados para realização da decapem. O resultado foi satisfatório, sem ocorrência de acidentes.

Figura 51: Corpos de prova dispostos lado a lado



Fonte: O autor, 2017

O processo de decapagem química teve por objetivo a retirada da camada superficial galvanizada presente no conector, o que de fato viria a prejudicar a adesão do concreto no conector. Após três dias de realização do processo de decapagem química, observa-se claramente a camada de oxidação devido à retirada da galvanização e contato com o ar atmosférico. Essa camada oxidada facilita a aderência do concreto no conector de cisalhamento, conforme mostrado na Figura 52.

Figura 52: Perfis dispostos com a indicação da corrosão superficial nos conectores Hilti X-HVB



Fonte: o Autor, 2017

3.2.6 Preparação das formas

As fôrmas foram confeccionadas a partir de chapas de aço carbono 0,8 mm de espessura. A união das chapas foi realizada pelo processo de soldagem a gás metálico inerte – *MIG*. As dimensões principais consideradas: (L127 x H470 x C570) mm, onde L= largura da fôrma; H= altura da fôrma e C= comprimento da fôrma, conforme mostrado na Figura 53. As dimensões

das fôrmas foram definidas em atendimento as limitações da prensa servo-hidráulica modelo MC 200T do Laboratório de Materiais.

Figura 53: Fôrmas confeccionadas para montagem nos perfis



Fonte: O autor, 2017

3.2.7 Preparação das armaduras e montagem das armaduras no perfil

Para tornar-se uma estrutura mista aço-concreto, além da presença do conector, faz-se necessária a armadura de aço utilizando a barra de aço carbono de diâmetro 10 mm CA-50, conforme mostrado na Figura 54.

Figura 54: Armadura para amarração dos conectores



Fonte: O autor, 2017

As barras de aço foram cortadas nas respectivas medidas. Logo em seguida foram dobradas e posicionadas para amarração nos conectores, conforme mostrado na Figura 55.

Figura 55: Armadura com os conectores em fase de amarração



Fonte: O autor, 2017

Conforme mostrado na Figura 56, amarrou-se a armadura com os conectores, e eles foram fixados no perfil de aço.

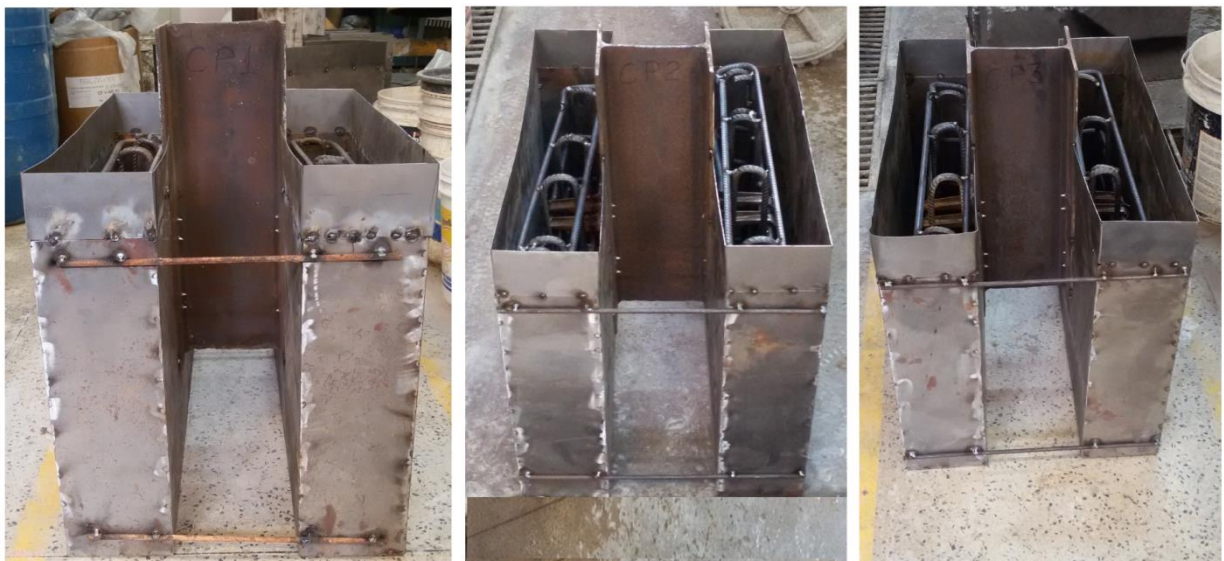
Figura 56: Armadura com os conectores completamente amarrados



Fonte: O autor, 2017

Após amarrar a armadura com os conectores Hilti X-HVB, faz-se a montagem dos corpos de prova nas respectivas formas de aço, tomando o cuidado quanto ao distanciamento entre a forma de aço e a armadura. Esse cobrimento do aço no concreto na fôrma evita que a armadura fique aparente, conforme mostrado na Figura 57.

Figura 57: Corpos de Prova 1, 2 e 3 com a armadura e na fôrma de aço



Fonte: O autor, 2017

3.2.8 Preparação do traço para a concretagem

Com as formas preparadas para o recebimento do concreto, foram realizados alguns procedimentos para, finalmente, se atingir o *slump* requerido. Previamente são pesados os materiais utilizados para obtenção do concreto. Nessa etapa, cuidadosamente, pesa-se material por material até se atingir o peso necessário para o traço, conforme mostrado sequencialmente nas Figuras 58, 59, 60 e 61.

Figura 58: Pesagem do cimento



Fonte: O autor, 2017

Figura 59: Pesagem a areia



Fonte: O autor, 2017

Figura 60: Pesagem da brita

Fonte: O autor, 2017

Figura 61: Pesagem da água

Fonte: O autor, 2017

Observa-se, na Figura 62, o conjunto para determinação do ensaio de abatimento do tronco de cone: base metálica plana, funil, cone tronco-cônico e haste socadora.

Figura 62: Equipamentos para o Slump test



Fonte: ELE International, 2017

Segundo Mehta e Monteiro (2006), procede-se conforme a norma ABNT NBR NM 67 (1998), e os materiais após pesagem são colocados na betoneira obedecendo a seguinte ordem: primeiro a areia, segundo a brita, terceiro o cimento e por último a água. Para fabricação do concreto utilizou-se uma betoneira elétrica monofásica, potência 2CV e com a capacidade de processamento de 400 l, conforme mostrado na Figura 63.

Figura 63: Betoneira para o processamento do concreto



Fonte: O autor, 2017

Os materiais foram processados cuidadosamente, sendo observado visualmente o aspecto do traço. Essa fase requer experiência do operador para que não ocorra uma falha na consistência do concreto. Caso aconteça, o traço do concreto é corrigido e em último caso pode ocorrer o descarte de todo o concreto. Todavia, os cuidados foram bem administrados e o sucesso nessa tarefa ocorreu de forma satisfatória, ou seja, não houve nenhuma perda de concreto.

Após pesagem dos materiais, faz-se a mistura numa betoneira onde a consistência da massa é avaliada visualmente e verificada posteriormente através do *Slump test*. O conjunto de cone e a base metálica têm que estar umedecidas. Com esse procedimento pretende-se manter o concreto em estado satisfatório quanto à umidade desejada, conforme mostrado na Figura 64.

Figura 64: Conjunto e a base metálica umedecida.



Fonte: O autor, 2017

Deve-se retirar a amostra da betonada de concreto e encher o cone em três camadas com altura igualmente distribuída, onde o cone está posicionado sobre a placa e pressionada com auxílio dos pés. Compacta-se cada camada com 25 golpes da haste de socamento conforme mostrado sequencialmente na Figura 65.

Figura 65: A sequência de enchimento de concreto para o ensaio de abatimento



Fonte: O autor, 2017

Na etapa seguinte, retira-se o excesso de concreto e regulariza-se a superfície, conforme mostrado na Figura 66.

Figura 66: Regularização da superfície com a retirada do excesso de concreto



Fonte: O autor, 2017

As três fases dispostas mostradas na Figura 67 indicam a retirada do molde verticalmente de forma cautelosa, e o tempo previsto para essa tarefa gira em torno de 10 segundos. Deve-se tomar cuidado para não ocorrência de falha na retira do molde, mas, caso ocorra, retorna-se o concreto para a betoneira e inicia-se todo processo de concretagem.

Figura 67: Retirada do molde para a realização do ensaio de abatimento



Fonte: O autor, 2017

Instantaneamente após a retirada do molde, deve-se medir o abatimento que é expresso em milímetros, especificando-se a diferença entre a altura do molde e altura média do concreto desmoldado. Essa altura torna-se o parâmetro responsável e importante para se seguir adiante no quesito consistência do concreto. Não há como prosseguir, caso o abatimento do concreto esteja fora do especificado. Conforme mostrado na Figura 68, a altura atingiu 8 cm e atendeu a expectativa desejada. Salienta-se que não se atingindo a altura prevista em norma, há que se acrescentar elementos como água, areia, brita ou cimento de forma aleatória; sempre verificando visualmente na betoneira para não haver a perda total do concreto que está em processo de fabricação.

Figura 68: Medição do abatimento



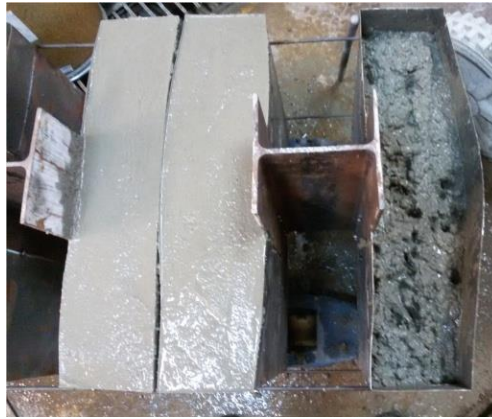
Fonte: O autor, 2017

3.2.9 Concretagem das fôrmas

Após definição do traço do concreto, de acordo com o *Slump test*, procede-se com a produção de concreto para enchimento das fôrmas devidamente preparadas, conforme mostrado na Figura 69. Utilizou-se o cimento Portland CP V-ARI MAX, de alta resistência inicial, para obtenção de uma cura na primeira semana de concretagem.

Segundo Magalhães (2009), a consistência é uma das propriedades mais importantes na especificação de um concreto. Afirma ainda que a consistência do concreto é um conceito intimamente relacionado com o grau de plasticidade que ele apresenta.

Figura 69: Enchimento das fôrmas



Fonte: O autor, 2017

3.2.10 Moldagem dos corpos de prova cilíndricos de 100 mm x 200 mm

Após definição do traço do concreto através do *Slump test*, foram preparados quatro corpos de prova em fôrmas cilíndricas, que apresentam dimensão regular e um sistema de fechamento que assegura a solidarização entre o costado e a base, evitando, assim, fuga da nata do concreto. Aplica-se uma camada de desmoldante nas faces internas das formas para que não ocorra aglutinação, conforme mostrado na Figura 70. Esses corpos de prova cilíndricos, após tempo de cura, prosseguem para a execução do ensaio de compressão.

Figura 70: Molde e corpos de prova cilíndricos preenchido com concreto

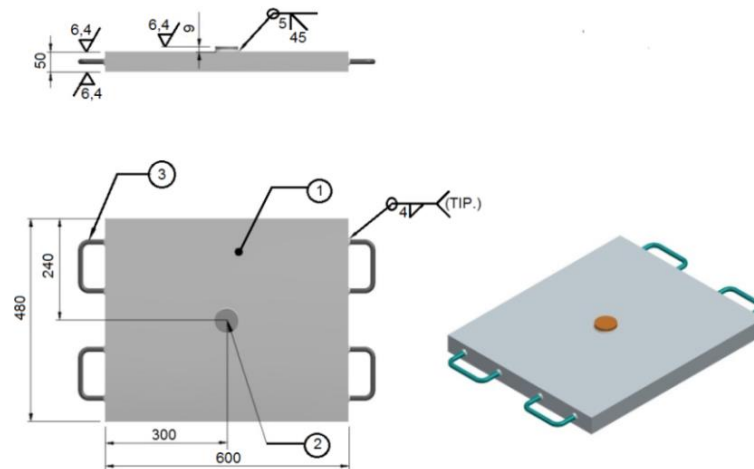


Fonte: O autor, 2017

3.2.11 Preparação para realização do ensaio de cisalhamento

Para realização do ensaio de cisalhamento no Laboratório de Materiais da Escola de Minas, precisou-se fabricar uma chapa de apoio para o corpo de prova e essa medida visa preservar a mesa da prensa e também proporcionar uma maior confiabilidade ao ensaio, tendo em vista que a deformação da chapa de apoio ao se aplicar o carregamento no corpo de prova terá que ser nulo. Ou seja, aplica-se o carregamento, mas não pode ocorrer nenhuma deformação que venha a mascarar o ensaio. O detalhe e as dimensões da chapa de apoio e seus acessórios, como foi fabricada, estão de acordo com a Figura 71.

Figura 71: Croqui da chapa de apoio e acessórios

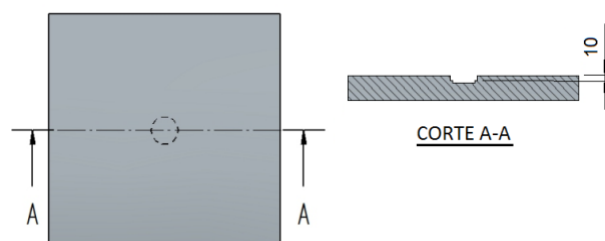


Fonte: O autor, 2017

A posição 1 refere-se à chapa principal, tendo as seguintes dimensões: (50 x 480 x 600) mm e qualidade do material ASTM-A36. A espessura é de 50,0 mm após usinagem em ambas as faces. Essa usinagem prevê uma superfície plana para que se permita um melhor contato do corpo de prova com a chapa e também da chapa com a base da prensa.

A posição 2, tendo as dimensões: (12,5 x Ø 57) mm e a qualidade do material ASTM-A36, refere-se à chapa responsável pela ligação com o orifício existente na base da prensa, conforme mostrado na Figura 72.

Figura 72: Croqui da base da prensa indicando o orifício para o encaixe da chapa de apoio



Fonte: O autor, 2017

As chapas da posição 2 foi soldada com a da posição 1, conforme mostrado na Figura 73.

Figura 73: As posições 1 e 2 soldadas entre si



Fonte: O autor, 2017

Após montagem e solda, a peça foi usinada prevendo-se uma uniformidade da superfície e objetivando-se um melhor contato com a base da prensa. A posição 3, tendo as dimensões: barra redonda ($\varnothing 12,5 \times 218$) mm e material SAE-1020, refere-se à alça de içamento. Devido à massa total da chapa de apoio corresponder a 118,5 kg, houve necessidade de instalar alças com o intuito de facilitar o transporte e montagem na prensa do laboratório.

A chapa posição 1 antes da usinagem estava com uma espessura de 52,0 mm e tomou-se o cuidado de executar a usinagem em ambas as faces, retirando-se 1,0 mm de material para atender o especificado no croqui, conforme mostrado na Figura 74.

Figura 74: Chapa de apoio usinada



Fonte: O autor, 2017

Após usinagem da chapa de apoio, foram fabricadas as alças e a chapa responsável pela ligação do orifício da base da prensa. A sequência na preparação foi obedecida devido à

condição de encaixe na mesa da máquina de usinagem, pois, a mesa da máquina possui trilhos o que tornaria difícil caso a alça tivesse sido soldada.

Após a usinagem, aplicou-se uma camada de verniz para proteção contra a oxidação, conforme mostrado na Figura 75.

Figura 75: Chapa de apoio com os acessórios



Fonte: O autor, 2017

3.2.12 Equipamento de ensaio dos corpos de prova 1 e 2 – CP 1 e CP 2

Realizou-se o ensaio nos corpos de prova 1 e 2 no Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Minas. Utilizou-se uma prensa servo-hidráulica modelo MC 200T mostrada na Figura 76, com célula de carga com capacidade de 2000 kN fabricada pela empresa LR Equipamentos. A aplicação de carga de compressão foi processada com controle de deslocamentos por intermédio do *software* da prensa.

Mas por motivos de manutenção, não foi possível utilizar o *software* da prensa e gerar o gráfico e relatório com as respectivas cargas. Portanto, registrou-se apenas o valor final da carga nos respectivos corpos de prova.

Figura 76: Prensa servo-hidráulica modelo MC 200T



Fonte: LR Equipamentos, 2018

O critério escolhido para realizar o ensaio foi o controle de deslocamento e adotou-se 0,2 mm/min de deslocamento vertical, ou seja, do prato inferior ao prato superior.

3.2.13 Desmontagem das fôrmas

Os corpos de prova tiveram um tempo de cura de três semanas para atingirem a resistência de 20 MPa. Após esse tempo foram desmoldados e direcionados à execução do ensaio de cisalhamento, conforme mostrado na Figura 77. Verifica-se ainda a sequência de fases para a realização da retirada completa das fôrmas que protegiam o concreto e formavam o corpo de prova.

Figura 77: Desmontagem das fôrmas nas três fases subsequentes



Fonte: O autor, 2017

3.2.14 Ensaio do corpo de prova 1 – CP 1

Os corpos de prova foram içados por meio de equipamento hidráulico com capacidade 1,5 t e posicionados sobre a prensa para realização do ensaio de cisalhamento, conforme mostrado na Figura 78. Após ensaiar os corpos de prova, procedeu-se com o ensaio de compressão dos corpos de prova cilíndricos, obtendo-se a resistência do concreto.

Figura 78: Içamento do Corpo de Prova 1 nas duas fases subsequentes



Fonte: O autor, 2017

Após posicionamento do corpo de prova 1 na chapa de apoio na base da prensa, foi aplicada a carga lentamente até se atingir o limite para o completo cisalhamento. Observou-se durante o ensaio que o concreto em um determinado tempo e com a carga sendo aplicada, começou a se desagregar, conforme está mostrado na Figura 79. Evidenciou-se o deslocamento do perfil metálico no lado direito em relação à laje de concreto, rompendo-se a uma carga de 87,65 kN, registrada no painel da prensa.

Figura 79: Corpo de prova 1 início e final do ensaio



Fonte: O autor, 2017

3.2.15 Ensaio do corpo de prova 2 – CP 2

O mesmo procedimento para o ensaio do corpo de prova 2 foi adotado, sendo aplicada carga lentamente até se atingir o limite para o completo cisalhamento. Observou-se durante o ensaio que o concreto da laje, em um determinado tempo e com a carga sendo aplicada, começou a se desagregar conforme mostrado na Figura 80. Evidenciou-se o deslocamento do perfil metálico no lado esquerdo em relação à laje de concreto, rompendo-se o concreto a uma carga de 172,85 kN registrada no painel da prensa.

Figura 80: Corpo de prova 2 início e final do ensaio



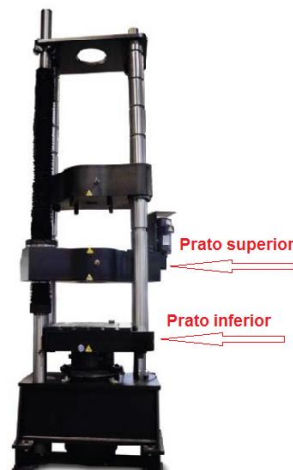
Fonte: O autor, 2017

3.2.16 Equipamento de ensaio do corpo de prova 3 – CP 3

Devido à necessidade de manutenção da prensa do Laboratório de Materiais da Escola de Minas, onde haviam sido realizados os ensaios nos corpos de prova 1 e 2, tomou-se a decisão de se realizar o ensaio do terceiro corpo de prova no Laboratório de Estruturas Metálicas e Mistas “Prof. Altamiro Tibiriçá Dias” para o fechamento desse trabalho.

Realizou-se o ensaio no corpo de prova 3 no Laboratório de Estruturas Metálicas e Mistas “Prof. Altamiro Tibiriçá Dias” da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP. Utilizou-se uma prensa servo-hidráulica modelo HVL da série INSTRON SATEC 5569, com célula de carga com capacidade de 2.000 kN fabricada pela empresa Instron. A aplicação de carga de compressão foi processada com controle de deslocamentos por intermédio do *software* da prensa. A prensa ainda dispõe de uma célula de carga, que propiciou a obtenção de carregamentos para cada etapa do deslocamento do prato inferior em relação ao prato superior, conforme mostrado na Figura 81.

Figura 81: Prensa hidráulica INSTRON



Fonte: Adaptado de Souza; 2013

3.2.17 Célula de carga

Segundo Souza (2013) a mensuração da carga aplicada ao corpo de prova é realizada pela célula de carga acoplada à máquina de ensaios INSTRON, com capacidade de carga de 2.000 kN e precisão de $\pm 0,5\%$ da carga aplicada.

3.2.18 Aquisição de dados

Utilizou-se um único sistema de aquisição de dados para elaboração deste trabalho, que é parte integrante da máquina de ensaios INSTRON. Os dados gerados pela máquina são controlados pelo *software* Partner (Instron, 2008), conforme mostrado na Figura 82. O critério

escolhido para realizar o ensaio foi o controle de deslocamento e adotou-se 0,2 mm/min de deslocamento vertical, ou seja, do prato inferior ao prato superior.

Figura 82: Sistema de aquisição de dados



Fonte: Adaptado de Souza, 2013

3.2.19 Ensaio do corpo de prova 3 – CP 3

A principal informação na apresentação do resultado do corpo de prova 3, em comparação frente aos corpos de prova 1 e 2, refere-se ao gráfico gerado da carga x deslocamento. São também informados todos os valores de carga discriminadas, que podem ser consultados na Tabela A1.

Outro detalhe para a realização do ensaio do corpo de prova 3 diz respeito a não utilização da chapa de apoio, Figura 82, mencionado no item 3.2.10, pois as dimensões da base da prensa do Laboratório de Estruturas Metálicas e Mistas são maiores do que as dimensões do corpo de prova 3.

O corpo de prova 3 foi içado por meio de equipamento hidráulico com capacidade de 1,5 kN e posicionados sobre a prensa para realização do ensaio de cisalhamento, conforme mostrado na Figura 83.

Figura 83: Corpo de prova 3 – CP 3



Fonte: O autor, 2018

O corpo de prova 3 foi posicionado na base da prensa. Cuidou-se para o perfeito ajuste em relação ao centro do corpo de prova. Foi necessário acrescentar duas chapas que serviram de calços de ajuste e também de nivelamento entre o corpo de prova e o rótulo superior da prensa, conforme mostrado na Figura 84.

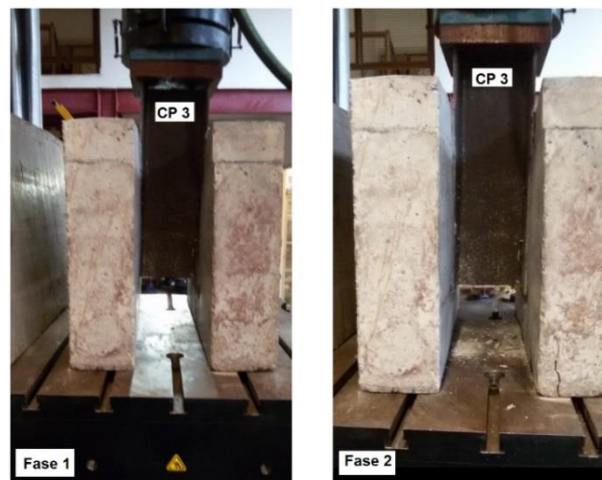
Figura 84: Posicionamento do corpo de prova 3 – CP 3



Fonte: O autor, 2018

O procedimento para o ensaio do corpo de prova 3 ocorreu de forma diferente em relação aos corpos de prova 1 e 2, devido às alterações observadas nos itens 3.2.13. Após definido o critério para a execução do ensaio, em que foi adotado o controle de deslocamento, iniciou-se aplicando uma carga de 0,2 mm/min, até atingir o limite final do cisalhamento. Observou-se durante o ensaio, em um determinado tempo e com a carga sendo aplicada, que a laje de concreto começou a se desagregar conforme mostrado na Figura 85. Ficou evidenciado o deslocamento do perfil metálico no lado direito em relação à laje de concreto do lado contrário em relação ao corpo de prova 2, rompendo-se o concreto a uma carga de 194,81 kN.

Figura 85: Corpo de prova 3 início e final do ensaio



Fonte: O autor, 2018

Ao término do ensaio de resistência ao cisalhamento para os corpos de prova 1, 2 e 3, dias após, iniciou-se o ensaio de compressão nos corpos de prova cilíndricos com o intuito de verificar a resistência do concreto, conforme a norma ABNT NBR 5739 (2007), que estabelece o método de ensaio de compressão para corpos de prova cilíndricos de concreto. Para tanto, foram preparados quatro corpos de prova, conforme mostrado na Figura 86.

Figura 86: Os quatro corpos de prova cilíndricos para o ensaio de compressão



Fonte: O autor, 2017

Na Figura 87 mostra-se posicionado para a realização do ensaio de compressão o corpo de prova 1. Registrou-se uma força máxima de ruptura de 436,40 kN, a área da seção transversal do corpo de prova $A = 7850 \text{ mm}^2$, que correspondeu a uma força de resistência a compressão de $f_c = 55,56 \text{ MPa}$.

Figura 87: Corpo de prova cilíndrico 1 - ensaio de compressão



Fonte: O autor, 2017

Na Figura 88 mostra-se posicionado para a realização do ensaio de compressão o corpo de prova 2. Registrou-se uma força máxima de ruptura de 323,60 kN, a área da seção transversal do corpo de prova $A = 7850 \text{ mm}^2$, que correspondeu a uma força de resistência a compressão de $f_c = 41,19 \text{ MPa}$.

Figura 88: Corpo de prova cilíndrico 2 - ensaio de compressão



Fonte: o autor (2017)

Na Figura 89 mostra-se posicionado para a realização do ensaio de compressão o corpo de prova 3. Registrou-se uma força máxima de ruptura de 413,85 kN, a área da seção transversal do corpo de prova $A = 7850 \text{ mm}^2$, que correspondeu a uma força de resistência a compressão de $f_c = 52,26 \text{ MPa}$.

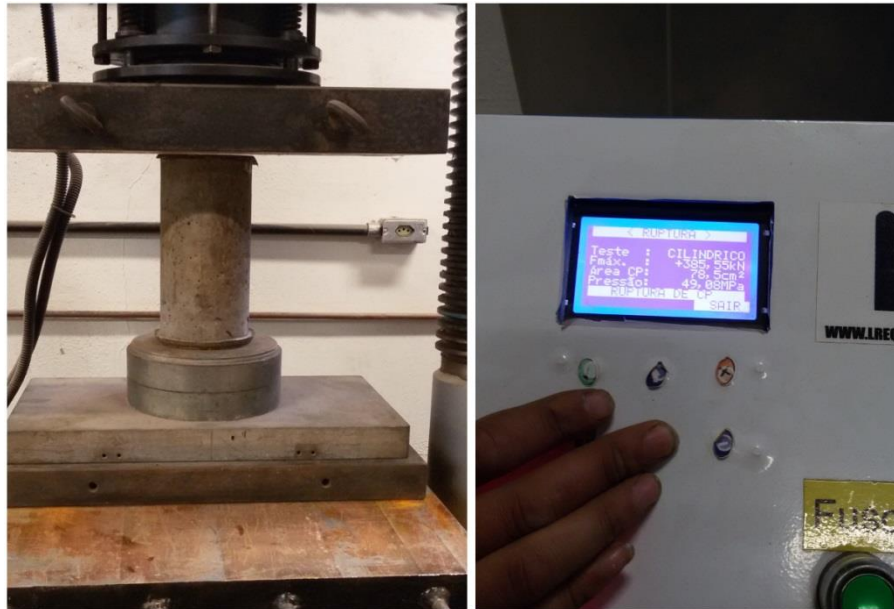
Figura 89: Corpo de prova cilíndrico 3 - ensaio de compressão



Fonte: O autor, 2017

Por fim realizou-se o ensaio de compressão no corpo de prova cilíndrico 4 conforme mostrado na Figura 90. A carga de ruptura obtida correspondeu a 385,55 kN, e a força de resistência à compressão de $f_c = 49,09$ MPa.

Figura 90: Corpo de prova cilíndrico 4 - ensaio de compressão



Fonte: O autor, 2017

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados experimentais da resistência ao cisalhamento

- Resultados do corpo de prova 1 – CP 1

Para o corpo de prova 1 foi executado o ensaio de cisalhamento na prensa servo-hidráulica modelo MC 200T. A carga máxima atingiu o valor de 87650 N. Esse resultado é bem inferior em relação aos corpos de prova 2 e 3. No entanto, é justificável devido à falha na fixação do pino. Não se construiu o gráfico com as cargas aplicadas x deslocamento, motivo já relatados no Capítulo 3, Item 3.2.12.

- Resultados do corpo de prova 2 – CP 2

Para o corpo de prova 2 também foi executado o ensaio de cisalhamento na prensa servo-hidráulica modelo MC 200T. A carga máxima atingiu o valor de 172850 N. O resultado apresentou-se melhor do que o corpo de prova 1, porém abaixo do valor do corpo de prova 3. Também pelo mesmo motivo, não se construiu o gráfico com as cargas aplicadas x deslocamento, já relatados no Capítulo 3, Item 3.2.12.

- Resultados do corpo de prova 3 – CP 3

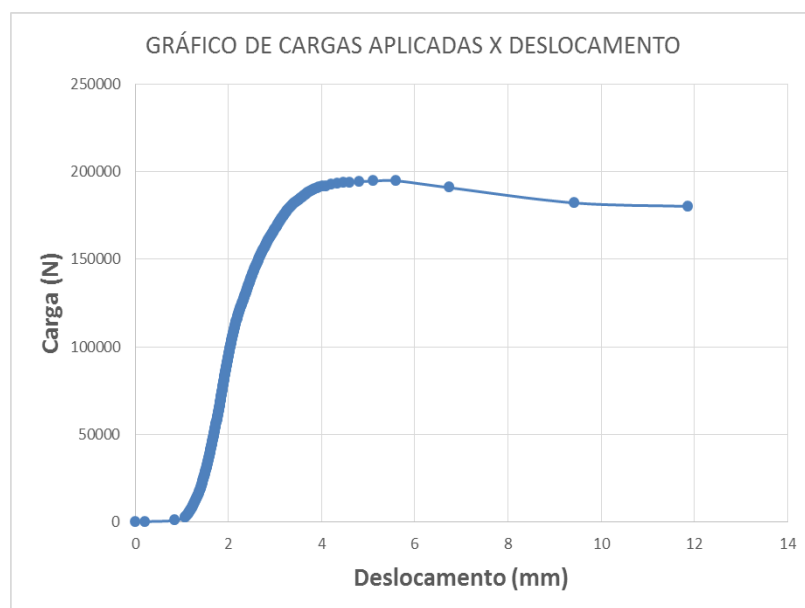
Para o corpo de prova 3 foi executado o ensaio de cisalhamento na prensa servo-hidráulica modelo HVL da série INSTRON SATEC 5569. Além dos resultados da carga aplicada, nos pontos principais, foram obtidos os valores para a elaboração do gráfico de cargas aplicadas x deslocamento, conforme mostrado na Figura 91. Nota-se que a carga máxima atingida ocorreu no tempo de 6,51 minutos de ensaio, quando o deslocamento do prato inferior atingiu a altura vertical de 5,5943 mm e finalmente com a carga máxima de 194810 N, resultados mostrados na Tabela 9. Todos os valores de carga realizados no corpo de prova 3, podem ser consultados no Apêndice A.

Tabela 9: Resultados obtidos de pontos principais da Figura 91 do corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
			194810
0,02	0,21	200	
0,09	1,09	3030	
0,11	1,11	3520	
0,12	1,13	4020	
0,14	1,14	4560	
0,26	1,23	8200	
0,33	1,27	10300	
1,66	1,70	50200	
5,01	2,67	150500	
6,44	4,47	193530	
6,46	4,60	193950	
6,48	4,81	194340	
6,49	5,11	194630	
6,51	5,59	194810	
6,53	6,74	190890	
6,55	9,42	182160	
6,56	11,87	180180	

Fonte: O autor, 2018

Conforme mostrado na Figura 91, o tempo total do ensaio de cisalhamento durou aproximadamente 6,56 min, com um deslocamento de 5,59 mm e a carga atingiu 180180 N.

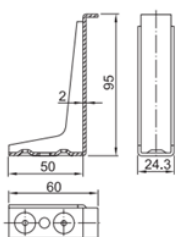
Figura 91: Gráfico de cargas aplicadas x Deslocamentos

Fonte: O autor, 2018

4.2 Discussão dos resultados

Na Tabela 10 são informados os valores das cargas finais aplicadas x deslocamento nos corpos de prova 1, 2 e 3. Nota-se o rompimento do corpo de prova na carga máxima de 194810 N, valor esse que corresponde a 48,70 kN para cada conector Hilti X-HVB posicionado no perfil metálico. Nos demais conectores, do CP-1 foi atingida a carga de 21,91 kN e no CP-2 foi atingida a carga de 43,21 kN. Fatores como o desempenho na fixação contribuiu para o melhor resultado final. No caso específico do CP-1 ficou evidente o baixo resultado devido à fixação não correta. Pode-se ver claramente a folga existente entre o perfil laminado e a face do conector. Propositalmente realizou-se o ensaio para comprovação dos fatos e que, comprovadamente, a carga atingiu aproximadamente a metade da carga dos demais corpos de prova.

Tabela 10: Resultados experimentais da resistência ao cisalhamento referente aos corpos de prova 1, 2 e 3

CORPO DE PROVA	CONECTOR	f_{ck} (MPa)	GEOMETRIA DETALHADA DO CONECTOR	P_{rk} (kN) FABRICANTE	P_{rk} (kN) ENSAIO REALIZADO
CP-1	HILT X-HVB 95	52,68		35	21,91
CP-2	HILT X-HVB 95	55,55		35	43,21
CP-3	HILT X-HVB 95	54,35		35	48,7

Fonte: O autor, 2018

Os resultados alcançados através do ensaio experimental em relação ao fabricante atenderam satisfatoriamente. Para o conector Hilti X-HVB 95, objetivo do trabalho, o fabricante estabelece a carga de resistência característica ao cisalhamento de 35 kN. Apenas o corpo de prova 1 ficou abaixo do valor estabelecido, com uma carga de 21,91 kN. A resistências dos corpos de prova 2 e 3 alcançaram valores superiores, 43,21 kN e 48,70 kN respectivamente.

Em relação às resistências obtidas com conectores pino com cabeça *stud bolt* frente ao Hilti X-HVB, nota-se uma diferença significativa, como mostrado nas Tabelas 2 e 3. Isto mostra a preferência pela aplicação do conector pino com cabeça *stud bolt* em estruturas mistas de aço e concreto em edificações, bem como, em pontes e viadutos. Devido a menor resistência do conector Hilti X-HVB em relação ao conector pino com cabeça, conforme destacado por outros pesquisadores, faz-se necessário utilizar uma quantidade maior de conectores Hilti X-HVB para compensar essa diferença da resistência.

Em relação a custos, apresentam-se na Tabela 6 os valores para aquisição dos acessórios e também dos equipamentos. Referente ao conector pino com cabeça, apresenta-se um custo menor na aquisição do próprio conector, porém para adquirir a máquina de solda e a pistola para executar a solda, eleva-se o custo consideravelmente. Citam-se como desvantagens ainda a manutenção, operação e depreciação. Diante desse cenário, poucas empresas estão habilitadas a participar do mercado de estruturas metálicas e equipamentos onde utilizam-se esses conectores. Quanto ao conector Hilti XVB, ele apresenta um custo maior na aquisição do próprio conector, mas possui um custo menor para na sua fixação, com vantagens tanto na operação, manutenção e depreciação.

CAPÍTULO 5

5 CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES

5.1 Considerações finais

O objetivo deste trabalho foi realizar uma análise experimental da resistência ao cisalhamento do conector Hilti X-HVB em vigas mistas de aço e concreto. Observou-se que o conector atingiu a resistência próxima da informada na literatura.

Apesar do resultado conseguido, deve-se ter algum cuidado como a cravação do pino no perfil metálico, que deve ser bem cravado. Caso não esteja, pode ser alterado substancialmente o resultado da resistência. Comprova-se isso pelo ensaio do corpo de prova CP-1, que atingiu a resistência ao cisalhamento de 21,91 kN, diferente dos demais corpos de prova que obtiveram resultados de 43,21 kN para o CP-2 e 48,70 kN para o CP-3.

Foi certificado que houve fissuras próximas da região periférica dos conectores, e bastante acentuadas no corpo de prova CP-1, onde ocorreu descolamento total da parede de concreto do perfil metálico. Nos demais corpos de prova onde a cravação do pino estava rígida, ocorreu apenas descolamento parcial.

Em comparação ao conector tipo pino com cabeça quanto a sua aplicação, ela difere do conector Hilti X-HVB por esse último não necessitar de uma máquina de solda para sua fixação, que exigiria uma fonte de 440V para o funcionamento. Para aplicação do conector Hilti X-HVB, utiliza-se um cartucho com pólvora, tendo o custo informado na Tabela 6, em que se verifica a diferença considerável de preço para esses conectores.

É importante ressaltar que, para a realização do ensaio *Push out*, adotou-se a laje maciça de 12,7 cm de espessura, apesar da literatura do fabricante em suas ilustrações indicar a aplicação em laje de forma de aço incorporada. O intuito foi justamente desmistificar o conceito de sua utilização não somente na laje forma de aço incorporada, bem como, em laje maciça, onde os resultados foram satisfatórios.

Outra questão é quanto à sua utilização no Brasil, ainda de forma tímida, acreditando-se que é devido a raras publicações nos trabalhos acadêmicos e também exposição de materiais na mídia, ao contrário da Europa, onde o conector Hilti X-HVB possui várias aprovações, conforme Tabela 4.

Ainda em comparação ao conector tipo pino com cabeça, notadamente, utiliza-se um número maior de conectores Hilti X-HVB devido a sua resistência bem inferior, o que foi demonstrado em vários trabalhos publicados. O custo, que viavelmente poderia torná-lo eficiente na substituição do conector pino com cabeça, torna-o inviável, devido ao custo elevado para

aquisição não somente do maior número de conectores, mas também dos demais acessórios como o pino e o cartucho.

Outra questão observada trata-se da camada protetora de zinco metálico que cobre o conector Hilti X-HVB, para fins de proteção contra as consequências da oxidação. Para a realização do ensaio, observou-se que essa camada confirmaria uma menor aderência do concreto com o conector, fazendo-se necessário retirá-la por meio da decapagem química, fato esse registrado nas imagens do Capítulo 3.

Por fim, conclui-se que, para aplicação dos conectores Hilti X-HVB em edificações de múltiplos andares, seja em laje de concreto de forma de aço incorporada ou em laje maciça, faz-se necessário analisar o custo para aquisição dos conectores e a resistência solicitada na fase de projeto.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Recomendam-se como sugestões para trabalhos futuros:

- Análise de resposta numérica comparando o conector Hilti X-HVB 95 com o conector pino com cabeça (*stud bolt*).
- Ensaio de laboratório para laje de concreto maciça utilizando o conector Hilti X-HVB 140.
- Ensaio de laboratório para laje de concreto em forma incorporada utilizando o conector Hilti X-HVB 95.

REFERÊNCIAS

AÇO VERTICAL EDIFICAÇÕES: Disponível em: <https://www.acovertical.com.br>. Acesso em 11 de julho de 2017.

ALMANQUE GAÚCHO. Disponível em: <http://zh.clicrbs.com.br/rs/noticias/almanaque-gaucho/noticia>. Acesso em 11 de julho de 2017.

ALVA, G. M. S.; MALITE, M. (2005). Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, v. 7, p. 51-84.

ARCO: Disponível em: <https://arcoweb.com.br/finestra/tecnologia/tecnologia-vidros-speciaisl>. Acesso em 11 de julho de 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: Dimensionamento de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro, 2008.

CÂMARA MUNICIPAL DE IPATINGA. Disponível em: <http://www.camaraipatinga.mg.gov.br/ages/fotos>. Acesso em 11 de julho de 2017.

CATÁLOGO HILT X-HVB SYSTEM – SOLUTIONS FOR SHEAR E CONNECTIONS.pdf. Liechtenstein, 2016.

CBRE. Disponível em: <https://www.cbre.com.br/noticias/sao-paulo-corporate-towers-cbre-apresenta-predio-sustentavell>. Acesso em 11 de julho de 2017.

CISER. Disponível em: <http://www.ciser.com.br/destaques/stud-bolts>. Acesso em 29 de novembro de 2018.

COSENZA, E.; ZANDONINI, R. (1999). “**Composite construction**”. Structural Engineering Handbook, Ed. Chen Wai-Fah, Boca Raton: CRC Press LLC, 1999.

CRUZ, P.J.S.; VALENTE, M.I.B.; VERÍSSIMO, G.; PAES, J.L.R.; FAKURY, R (2006). **Desenvolvimentos recentes no domínio da conexão aço-concreto no contexto das estruturas mistas**. Simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto: Anais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 20p, 2006.

DAVID, D.L. (2007). **Análise Teórica e experimental de conectores de cisalhamento e vigas mistas constituídas por perfis de aço formados a frio e laje de vigotas pré-moldadas**, Tese de Doutorado, USP-São Carlos, São Carlos, 2007.

DAVID, D. L.; ARAÚJO, D. L.; MALITE, M. (2005). **Vigas mistas constituídas por perfis de aço formados a frio e lajes de vigotas pré-moldadas**. 2005. 12f. 1o. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em Concreto pré-moldado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ELE INTERNACIONAL. Disponível em: <https://www.ele.com/Product/slump-cone/66>. Acesso em 23 de novembro de 2017.

ENAKRON. Disponível em: http://enakron.es/index_espanol_ISO_proceso%20de%20soldadura-S.htm. Acesso em 29 de novembro de 2018.

ENGINEERING TOOLBOX. Disponível em: <https://www.engineeringtoolbox.com>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. EN 1994-1-1: Eurocode 4 (2004) - **Design of composite steel and concrete structures**. Part 1-1: General rules and rules for buildings. Brussels.

FABRIZZI, M. A. (2007). **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço – concreto**. 2007. 233f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FERRAMENTAS E CONSTRUÇÃO: Disponível em: <https://lista.mercadolivre.com.br/ferramentas-construcao/construcao/pino-stud-bolt>. Acesso em 29 de novembro de 2018.

FLÁVIO ALMADA. Disponível em: <https://flavioalmada.wordpress.com/2011/12/19/edificio-comercial-montmartre>. Acesso em 11 de julho de 2017.

GERDAU. Disponível em: <https://www2.gerdau.com.br>. Acesso em 20 de novembro de 2018.

HMA ARQUITETURA. Disponível em: http://www.hmaarquitectura.com/avenida-central?lightbox_1adg. Acesso em 11 de julho de 2017.

IAU. Disponível em: <http://www.iau.usp.br/revistarisco/Risco2-pdf/art3risco2.pdf>. Acesso em 11 de julho de 2017.

INOVAÇÃO AES: Disponível em: <http://www.inovacaoaes.com.br/blog/2017/02/17/projeto-de-eficiencia-energetica>. Acesso em 11 de julho de 2017.

JOHNSON, R. P. (1990). **“Composite Structures of steel and concrete – Volume 1: Beams, Slabs, Columns and Frames for Buildings”**. Blackwell Scientific Publications, 2nd. Edition.

KALFAS, C. et al. (1997). **Inelastic behaviour of shear connection by a method based on FEM**. Journal of Construction Steel Research, v.44, p.107-114.

LR EQUIPAMENTOS. Disponível em: <http://www.lrequipamentos.com.br>. Acesso em 03 de dezembro de 2018.

MAGALHÃES, F. C. (2009). **Estudo probabilístico da resistência à compressão e da resistência à tração na flexão dos concretos utilizados na construção do dique seco do Estaleiro Rio Grande, no superporto, em Rio Grande-RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande, FURG.. Rio Grande, 2009.

MALITE, MAXIMILIANO (1990). **Sobre o cálculo de vigas mistas aço-concreto: Ênfase em edifícios**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Escola de engenharia de São Carlos – Departamento de Estruturas. São Carlos.

MANUAL TÉCNICO DE CONECTORES, HILTI CORPORATION. **Hilti X-HVB system, Solutions for shear connections, 2007**.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. (2006). **Concrete Microstructure, Properties, and Materials – Third Edition**. Ed.: McGraw-Hill. ISBN.: 0-07-146289-9. Inglês, p. 659.

MEMOPOA. Disponível em: <http://www.memopoa.com.br/site/sobreposicoes/palacio-do-comercio>. Acesso em 11 de julho de 2017.

METÁLICA. Disponível em: http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php - acesso em 29 de novembro de 2018.

METÁLICA. Disponível em: <http://wwwo.metalica.com.br/pioneirismo-em-estrutura-metalica-no-brasil>. Acesso em 11 de julho de 2017.

MULTIPLAN. Disponível em: <http://www.multipan.com.br/pt-br/shopping-centers/minas-gerais>. Acesso em 11 de julho de 2017.

OLÁ BAHIA. Disponível em: Fonte: <http://www.olabahia.com.br/2017/04/17/salvador-sedia-workshop>. Acesso em 11 de julho de 2017.

OLIVEIRA, A.F.N. (2007). **Análise do comportamento de um conector de cisalhamento em chapa dentada para sistemas de pisos mistos com pré-laje de concreto**. Dissertação de Mestrado, UFMG, Belo Horizonte, 2007.

PEREIRA, J.R.S. (2016). **Estudo de Vigas Mistas de Aço e Concreto Utilizando o Conector de Cisalhamento X-HVB**. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, UFOP, Ouro Preto (MG), 2016.

PFEIL, M.; PFEIL, W. (2009). **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. LTC, Editora, 336p.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J. (2001). **Elementos das estruturas mistas aço-concreto**. Belo Horizonte. Editora O Lutador, 2001.

R7 NOTÍCIAS. Disponível em: <http://noticias.r7.com/distrito-federal/fotos/conheca-as-obras-de-oscar-niemeyer--20121205-81>. Acesso em 11 de julho de 2017.

SOUZA, FLÁVIO TEIXEIRA de (2013). **Análise teórico-experimental da estabilidade de colunas perfuradas em perfis de aço formados a frio de seções tipo rack [manuscrito]** / Flávio Teixeira de Souza. - 2013.

STUDWELD. Disponível em: <https://hard.com.br/produto/stud-welding>. Acesso em 29 de novembro 2018.

TRISTÃO, G.A.; NETO, J.M. (2005). **Comportamento de conectores de cisalhamento em vigas mistas aço-concreto com análise de resposta numérica**, Artigo caderno de engenharia de estruturas , USP-São Carlos, São Carlos, 2005.

USIMINAS MECÂNICA. Disponível em: <http://www.usiminas.com/mecânica>. Acesso em 29 de novembro de 2018.

VIANNA, J. C (2009). **Avaliação do comportamento estrutural de conectores perfobond e T-perfobond para vigas mistas**. Tese de Doutorado, PUC-Rio.

WIKIMEDIA. Disponível em: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/esplanadados_Ministerios_Brasilia. Acesso em 11 de julho de 2017.

WW2. Disponível em: <http://ww2.premiocaio.com.br/site/vencedores>. Acesso em 11 de julho de 2017.

APÊNDICE A

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
0,00	0,00	0	194810
0,02	0,21	200	
0,04	0,85	830	
0,05	1,07	2620	
0,07	1,07	2690	
0,09	1,09	3030	
0,11	1,11	3520	
0,12	1,13	4020	
0,14	1,14	4560	
0,16	1,16	5050	
0,18	1,17	5600	
0,19	1,18	6100	
0,21	1,19	6650	
0,23	1,21	7150	
0,25	1,22	7700	
0,26	1,23	8200	
0,28	1,24	8750	
0,30	1,25	9250	
0,32	1,26	9800	
0,33	1,27	10300	
0,35	1,28	10850	
0,37	1,29	11350	
0,39	1,30	11900	
0,40	1,31	12400	
0,42	1,31	12950	
0,44	1,32	13450	
0,46	1,33	14000	
0,47	1,34	14500	
0,49	1,35	15050	
0,51	1,36	15560	
0,53	1,37	16100	
0,54	1,37	16600	
0,56	1,38	17150	
0,58	1,39	17650	
0,60	1,40	18200	
0,61	1,40	18700	
0,63	1,41	19250	
0,65	1,42	19750	
0,67	1,42	20300	
0,68	1,43	20810	
0,70	1,44	21350	
0,72	1,44	21850	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
0,74	1,45	22410	
0,75	1,45	22900	
0,77	1,45	23450	
0,79	1,46	23960	
0,81	1,47	24500	
0,82	1,47	25000	
0,84	1,48	25560	
0,86	1,49	26050	
0,88	1,49	26600	
0,89	1,50	27100	
0,91	1,50	27660	
0,93	1,50	28150	
0,95	1,51	28700	
0,96	1,52	29200	
0,98	1,52	29760	
1,00	1,53	30250	
1,02	1,54	30800	
1,03	1,54	31300	
1,05	1,54	31850	
1,07	1,55	32350	
1,09	1,56	32900	
1,10	1,56	33400	
1,12	1,56	33950	
1,14	1,57	34450	
1,16	1,57	35000	
1,17	1,58	35500	
1,19	1,58	36050	
1,21	1,59	36550	
1,23	1,59	37100	
1,24	1,59	37600	
1,26	1,60	38160	
1,28	1,61	38650	
1,30	1,61	39200	
1,31	1,61	39700	
1,33	1,62	40260	
1,35	1,63	40750	
1,37	1,63	41300	
1,38	1,63	41800	
1,40	1,64	42350	
1,42	1,64	42860	
1,44	1,64	43400	
1,45	1,65	43900	
1,47	1,65	44450	
1,49	1,66	44950	
1,51	1,66	45500	
1,52	1,66	46000	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
1,54	1,67	46550	
1,56	1,68	47050	
1,58	1,68	47600	
1,59	1,68	48100	
1,61	1,69	48650	
1,63	1,69	49150	
1,65	1,70	49700	
1,66	1,70	50200	
1,68	1,70	50750	
1,70	1,71	51250	
1,72	1,71	51800	
1,73	1,71	52300	
1,75	1,72	52850	
1,77	1,72	53350	
1,79	1,73	53900	
1,80	1,73	54400	
1,82	1,73	54950	
1,84	1,74	55450	
1,86	1,74	56000	
1,87	1,75	56500	
1,89	1,75	57050	
1,91	1,75	57550	
1,93	1,76	58100	
1,94	1,76	58600	
1,96	1,77	59150	
1,98	1,77	59650	
2,00	1,77	60200	
2,01	1,78	60700	
2,03	1,78	61250	
2,05	1,78	61750	
2,07	1,79	62300	
2,08	1,79	62800	
2,10	1,80	63350	
2,12	1,80	63850	
2,14	1,80	64400	
2,15	1,80	64900	
2,17	1,81	65460	
2,19	1,82	65950	
2,21	1,82	66500	
2,22	1,82	67000	
2,24	1,82	67550	
2,26	1,83	68050	
2,28	1,83	68600	
2,29	1,84	69100	
2,31	1,84	69650	
2,33	1,84	70150	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
2,35	1,84	70700	
2,36	1,85	71200	
2,38	1,85	71750	
2,40	1,85	72250	
2,42	1,85	72800	
2,43	1,86	73300	
2,45	1,87	73850	
2,47	1,87	74350	
2,49	1,87	74900	
2,50	1,87	75400	
2,52	1,88	75950	
2,54	1,88	76450	
2,56	1,89	77000	
2,57	1,89	77500	
2,59	1,89	78050	
2,61	1,89	78550	
2,63	1,90	79100	
2,64	1,91	79600	
2,66	1,91	80150	
2,68	1,91	80650	
2,70	1,91	81200	
2,71	1,92	81700	
2,73	1,92	82250	
2,75	1,92	82750	
2,77	1,92	83300	
2,78	1,93	83800	
2,80	1,94	84350	
2,82	1,94	84850	
2,84	1,94	85400	
2,85	1,94	85900	
2,87	1,95	86450	
2,89	1,95	86950	
2,91	1,96	87510	
2,92	1,96	88000	
2,94	1,96	88550	
2,96	1,97	89050	
2,98	1,97	89610	
2,99	1,97	90100	
3,01	1,97	90650	
3,03	1,98	91150	
3,05	1,99	91700	
3,06	1,99	92200	
3,08	1,99	92750	
3,10	1,99	93250	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
3,12	2,00	93800	
3,13	2,01	94300	
3,15	2,01	94850	
3,17	2,01	95350	
3,19	2,01	95900	
3,20	2,02	96400	
3,22	2,03	96950	
3,24	2,03	97450	
3,26	2,03	98000	
3,27	2,04	98510	
3,29	2,04	99050	
3,31	2,04	99550	
3,33	2,05	100100	
3,34	2,05	100600	
3,36	2,06	101150	
3,38	2,06	101650	
3,40	2,06	102200	
3,41	2,07	102700	
3,43	2,08	103250	
3,45	2,08	103750	
3,47	2,08	104300	
3,48	2,09	104800	
3,50	2,09	105350	
3,52	2,10	105850	
3,54	2,10	106400	
3,55	2,10	106900	
3,57	2,11	107450	
3,59	2,11	107950	
3,61	2,12	108500	
3,62	2,12	109010	
3,64	2,13	109550	
3,66	2,13	110050	
3,68	2,14	110600	
3,69	2,14	111100	
3,71	2,15	111650	
3,73	2,15	112150	
3,75	2,16	112700	
3,76	2,17	113200	
3,78	2,17	113750	
3,80	2,17	114250	
3,82	2,18	114800	
3,83	2,18	115300	
3,85	2,19	115860	
3,87	2,20	116350	
3,89	2,20	116900	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
3,90	2,20	117400	
3,92	2,21	117950	
3,94	2,22	118450	
3,96	2,22	119000	
3,97	2,23	119510	
3,99	2,24	120050	
4,01	2,24	120550	
4,03	2,25	121100	
4,04	2,25	121600	
4,06	2,26	122150	
4,08	2,27	122650	
4,10	2,28	123200	
4,11	2,29	123700	
4,13	2,29	124250	
4,15	2,30	124750	
4,17	2,31	125300	
4,18	2,32	125800	
4,20	2,32	126350	
4,22	2,33	126850	
4,24	2,34	127410	
4,25	2,34	127900	
4,27	2,35	128450	
4,29	2,36	128950	
4,31	2,37	129500	
4,32	2,37	130000	
4,34	2,38	130550	
4,36	2,39	131060	
4,38	2,39	131600	
4,39	2,40	132100	
4,41	2,41	132650	
4,43	2,41	133150	
4,45	2,42	133700	
4,46	2,43	134200	
4,48	2,43	134750	
4,50	2,44	135250	
4,52	2,45	135800	
4,53	2,46	136300	
4,55	2,46	136860	
4,57	2,47	137350	
4,59	2,48	137900	
4,60	2,48	138400	
4,62	2,49	138950	
4,64	2,50	139450	
4,66	2,51	140000	
4,67	2,51	140500	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
4,69	2,52	141050	
4,71	2,53	141550	
4,73	2,53	142100	
4,74	2,54	142600	
4,76	2,55	143150	
4,78	2,56	143650	
4,80	2,57	144200	
4,81	2,57	144700	
4,83	2,58	145250	
4,85	2,59	145750	
4,87	2,60	146300	
4,88	2,61	146800	
4,90	2,62	147350	
4,92	2,62	147850	
4,94	2,63	148400	
4,95	2,64	148900	
4,97	2,65	149450	
4,99	2,65	149950	
5,01	2,67	150500	
5,02	2,67	151000	
5,04	2,69	151550	
5,06	2,69	152050	
5,08	2,71	152600	
5,09	2,71	153100	
5,11	2,72	153650	
5,13	2,73	154150	
5,15	2,74	154700	
5,16	2,75	155200	
5,18	2,76	155750	
5,20	2,77	156250	
5,22	2,78	156800	
5,23	2,79	157300	
5,25	2,80	157850	
5,27	2,81	158350	
5,29	2,82	158900	
5,30	2,83	159400	
5,32	2,84	159950	
5,34	2,85	160450	
5,36	2,86	161000	
5,37	2,88	161500	
5,39	2,89	162050	
5,41	2,90	162550	
5,43	2,91	163100	
5,44	2,93	163600	
5,46	2,94	164150	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
5,48	2,95	164650	
5,50	2,97	165200	
5,51	2,97	165700	
5,53	2,98	166250	
5,55	3,00	166750	
5,57	3,01	167300	
5,58	3,02	167800	
5,60	3,04	168350	
5,62	3,05	168850	
5,64	3,06	169400	
5,65	3,07	169900	
5,67	3,08	170450	
5,69	3,09	170950	
5,71	3,11	171500	
5,72	3,12	172000	
5,74	3,13	172550	
5,76	3,14	173050	
5,78	3,16	173600	
5,79	3,18	174100	
5,81	3,19	174650	
5,83	3,20	175150	
5,85	3,21	175700	
5,86	3,23	176200	
5,88	3,24	176750	
5,90	3,26	177250	
5,92	3,28	177800	
5,93	3,29	178300	
5,95	3,31	178850	
5,97	3,32	179350	
5,99	3,34	179900	
6,00	3,36	180400	
6,02	3,38	180940	
6,04	3,40	181440	
6,06	3,42	181990	
6,07	3,45	182500	
6,09	3,48	183050	
6,11	3,51	183550	
6,13	3,53	184100	
6,14	3,56	184600	
6,16	3,58	185150	
6,18	3,61	185650	
6,20	3,63	186200	
6,21	3,66	186700	
6,23	3,68	187250	
6,25	3,71	187750	

Tabela A1: Resultado de todas as cargas aplicadas x deslocamentos – Corpo de prova 3 – CP 3

Tempo (min)	Deslocamento do prato inferior (mm)	Carga (N)	Carga Máxima (N)
6,27	3,74	188290	
6,28	3,78	188780	
6,30	3,82	189340	
6,32	3,86	189850	
6,34	3,91	190400	
6,35	3,95	190880	
6,37	4,01	191390	
6,39	4,10	191880	
6,41	4,22	192410	
6,42	4,34	192950	
6,44	4,47	193530	
6,46	4,60	193950	
6,48	4,81	194340	
6,49	5,11	194630	
6,51	5,59	194810	
6,53	6,74	190890	
6,55	9,42	182160	
6,56	11,87	180180	

Fonte: O autor, 2018

APÊNDICE B

Evolução histórica das construções em estruturas mistas de aço e concreto no Brasil

Neste Apêndice aborda-se a evolução histórica das construções em estruturas mistas aço e concreto no Brasil. Desde a sua criação nos anos de 1940 até o ano de 2015, destacam-se as edificações da construção de Brasília, onde foram utilizadas mais de 15.000 toneladas de aço. O Edifício Esther mostrado na Figura B1 foi a primeira edificação de lajes maciças com vigas de aço, que foram bastante utilizadas nas décadas de 1940 e 1950, com alguma interação permitida para essa condição.

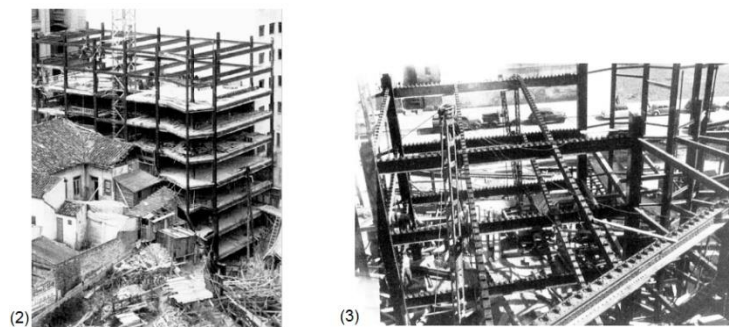
Figura B1: Edifício Esther, na década de 1940, com jardim na cobertura



Foto: IAU, 2000

O desenvolvimento dos mais variados tipos de conectores de cisalhamento tem contribuído para se obter uma melhor integração das vigas mistas. Destaca-se a construção do Edifício Garagem América, cujos desafios referem-se à questão de logística e interferências integrantes da obra, como mostram as Figuras B2 e B3. Porém, a obra foi realizada constituindo-se um passo para novas edificações no sistema misto aço-concreto a partir da década de 1950.

Figuras B2 e B3: Edifício Garagem América em fase de construção, na década de 1950



Fonte: Metálica, 2017

Ainda na década de 1950, outra edificação foi projetada para fins comerciais, tratando-se do edifício Palácio do Comércio, mostrado na Figura B4.

Figura B4: Edifício Palácio do Comércio, na década de 1950



Fonte: Memopoa, 2017

A Esplanada dos Ministérios mostrado na Figura B5 foi inaugurada no ano de 1959. O detalhe dessa obra refere-se à fabricação das estruturas metálicas, pois foram trazidas dos Estados Unidos e, devido à exiguidade de estrada de ferro na época e também de rodovias para o transporte dessas estruturas e outros materiais de construção, a decisão foi transportar esses materiais por via aérea, evento que aumentou consideravelmente o custo das obras.

Figura B5: Edifício Esplanada dos Ministérios, na década de 1950



Fonte: Wikimedia, 2017

Em 1961, ergueu-se o edifício Avenida Central, uma importante obra destinada a lojas, consultórios, escritórios e diferentes modalidades de serviços. A sua localização é na cidade Rio de Janeiro/RJ, como mostrado na Figura B6.

Figura B6: Edifício Avenida Central, na década de 1960



Fonte: HMA arquitetura, 2017

Por volta do ano de 1964, outra importante edificação destinada a lojas comerciais, sede de banco e apartamentos residenciais foi erguida, desta vez no centro da cidade de Porto Alegre/RS, o edifício Santa Cruz, mostrado na Figura B7.

Figura B7: Edifício Santa Cruz, na década de 1960



Fonte: Almanaque Gaúcho, 2017

Em 1973, ergue-se o edifício Palácio do Desenvolvimento, edifício comercial localizado no setor bancário norte, em Brasília/DF. Consumiu aproximadamente 2.195 toneladas de aço ASTM-A7 e foi finalizado na década de 1970, como mostrado na Figura B8.

Figura B8: Palácio do Desenvolvimento, na década de 1970



Fonte: R7 Notícias, 2017

Precisamente no ano de 1979, têm se o projeto de estrutura do Palácio de Congressos da Bahia na cidade de Salvador/BA, mostrado na Figura B9. Essa edificação difere das demais obras, pois passou a utilizar o aço USI SAC-50 ao invés do tradicional ASTM-A7. Esse aço foi aplicado, devido a sua resistência a corrosão atmosférica, cuidado especial por tratar-se de uma edificação de estrutura metálica localizada em uma região litorânea, onde a corrosão devida à água do mar é mais agressiva sobre o aço que não possui proteção.

Figura B9: Palácio de Congressos da Bahia, na década de 1970



Fonte: WW2, 2017

Na década de 1980, foram construídas 20 edificações de aço e concreto totalizando aproximadamente 13.601 toneladas de aço. A diversidade nas construções metálicas instigou a criatividade de arquitetos e engenheiros para a criação de diversas obras, que vão desde a fabricação de hangares, residências, agências bancárias, sedes de empresas, edifícios residenciais, ginásios poliesportivos e finalmente edificações para fins recreativos.

O edifício Casa do Comércio em Salvador/BA, mostrado na Figura B10, é um modelo de edificação concluída no ano de 1987, que leva em consideração a economia de peso e maior durabilidade.

Figura B10: Casa do Comércio em Salvador/BA, na década de 1980



Fonte: Olá Bahia, 2017

Pode-se dizer que a utilização dos conectores pino com cabeça teve maior aplicação a partir da década de 1990. Exceto na construção do edifício Montmartre, em Belo Horizonte/MG, mostrado na Figura B11, que é destinado a lojas comerciais de nove pavimentos, onde foi utilizado o conector tipo perfil “U” laminado.

Figura B11: Edifício Montmartre, na década de 1990



Fonte: Flávio Almada, 2017

As principais edificações dessa década atingiram o peso de aproximadamente 14.202 toneladas e as construções diversificaram entre salas para escritórios, residências, hospitais, clínicas médicas, shoppings, agências bancárias e institutos culturais.

Nota-se que a utilização da estrutura mista aço e concreto está em constante crescimento, demonstrando importância e o seu espaço nos diversos tipos de edificações podendo-se citar a construção do Shopping Diamond Mall, em Belo Horizonte/MG, mostrado na Figura B12.

Figura B12: Shopping Diamond Mall, na década de 1990



Fonte: Multiplan, 2017

Em 2004, uma obra importante para a população de Ipatinga/MG, foi a inauguração do novo Prédio da Câmara Municipal de Ipatinga. Após passar por quatro sedes, em diversos endereços, a câmara está em sua quinta sede, localizada na Praça dos Três Poderes no centro da cidade. Essa edificação construída em aço e concreto foi devido a real necessidade de se atender à crescente demanda dos trabalhos do poder legislativo. A Câmara Municipal de Ipatinga, mostrada na Figura B13 é considerada uma referência no estado de Minas Gerais, não só em termos orçamentários, mas também, pela competência na aplicação dos recursos em benefício da população da cidade de Ipatinga.

Figura B13: Prédio Câmara Municipal de Ipatinga, no ano de 2004



Fonte: Câmara Municipal de Ipatinga, 2017

Outra importante obra, iniciada em 2006 e concluída em 2012, foi a reforma do Hospital Israelita Albert Einstein, mostrado na Figura B14, unidade situada no bairro Morumbi na capital São Paulo. Essa reforma visou aumentar a sua área antes de 86.000 m² para 230.000 m² aumentando a quantidade de leitos operacionais, consultórios, salas de cirurgia, salas de aulas, auditório e estacionamento.

Figura B14: Hospital Albert Einstein, no ano de 2012



Fonte: Inovação AES, 2017

No ano de 2013 foi concluído o shopping Pátio Batel localizado em Curitiba-PR, mostrado na Figura B15. Nessa edificação, a estrutura mista de aço e concreto foi adotada devido à versatilidade de instalação, bem como, a previsão de alteração que pudesse ocorrer em alguns espaços comerciais. A estrutura metálica foi usada a partir do primeiro subsolo e sobre a área da doca, como uma alternativa para vencer grandes vãos e ainda possibilitar as manobras dos veículos de carga. Tanto a estrutura de cobertura do último pavimento quanto do espaço utilizado nas salas de cinema foram executadas em aço.

Figura B15: Shopping Pátio Batel, no ano 2013



Fonte: ArcoWeb, 2017

Por fim, as torres do São Paulo Corporate Towers, também conhecido como edifício Viol, foi inaugurado no ano de 2015 conforme mostrado na Figura B16. É uma edificação localizada no bairro Vila Olímpia na cidade de São Paulo. Destinada a salas comerciais, conta com o que há de mais moderno em termos construtivos. As duas torres são idênticas e possui uma rotação, uma em relação à outra de 90° no sentido horário.

Essa concepção arquitetônica resultou em edificações, segundo Pelli (2009), que parecem dançar suavemente em meio a uma grande área de espécies nativas da mata atlântica. Para resistir às cargas horizontais, devido às cargas de vento, foi construído um núcleo rígido de concreto que acomoda os elevadores e as escadas. Nesse núcleo rígido foram fixadas as vigas de aço de perfis soldados e laminados.

Figura B16: Edifício Viol obra concluída, no ano 2015



Fonte: CBRE, 2017