

**ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DE CONECTORES  
DE CISALHAMENTO FEITOS DE VERGALHÃO CA-50 PARA  
USO EM ESTRUTURA MISTA AÇO-CONCRETO**

**LATIF CHATER**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS  
E CONSTRUÇÃO CIVIL  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DE CONECTORES DE  
CISALHAMENTO FEITOS DE VERGALHÃO CA-50 PARA USO  
EM ESTRUTURA MISTA AÇO-CONCRETO**

**LATIF CHATER**

**ORIENTADOR: LUCIANO MENDES BEZERRA**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ESTRUTURAS E  
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**PUBLICAÇÃO: E.DM-013<sup>a</sup>/15  
BRASÍLIA/DF: MAIO - 2015**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ESTUDO NUMÉRICO E EXPERIMENTAL DE CONECTORES DE  
CISALHAMENTO FEITOS DE VERGALHÃO CA-50 PARA USO  
EM ESTRUTURA MISTA AÇO-CONCRETO**

**LATIF CHATER**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE  
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS  
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**Prof. Luciano Mendes Bezerra, PhD (UnB)  
(Orientador)**

---

**Prof. Francisco Evangelista Junior, PhD (UnB)  
(Examinador Interno)**

---

**Prof. Otávio Rangel de Oliveira e Cavalcante, Dr. (UFC)  
(Examinador Externo)**

**BRASÍLIA/DF, 15 DE MAIO DE 2015  
FICHA CATALOGRÁFICA**

**CHATER, LATIF**  
*Estudo Numérico e Experimental de Conectores de Cisalhamento Feitos de Vergalhão CA-50 para Uso em Estrutura Mista de Aço-Concreto [Distrito Federal] 2015.*  
*xix, 177p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Estruturas e Construção Civil, 2015).*  
*Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.*  
*Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.*  
*I. Conector de cisalhamento* *2. Estruturas Mistas*  
*I. ENC/FT/UnB* *II. Título (série)*

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

CHATER, L. (2015). Estudo Numérico e Experimental de Conectores de Cisalhamento Feitos de Vergalhão CA-50 para Uso em Estrutura Mista de Aço-Concreto. Dissertação de Mestrado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.DM-013<sup>a</sup>/15, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 177p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: Latif Chater

TÍTULO: Estudo de Conector e Cisalhamento em Barra de Aço CA-50 para Viga Mista Aço-Concreto

GRAU: Mestre ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Latif Chater  
SHIS QI 05 Conjunto 08 Casa 09, Lago Sul.  
71.615-080 Brasília – DF – Brasil.  
[latifchater@gmail.com](mailto:latifchater@gmail.com)

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu avô, Latif Kalil Chater e minha avó Emília Ibrahim Chater pela inspiração e exemplos de vida e de perseverança.

Aos meus pais, pelo apoio constante e incondicional.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil (PECC) da Universidade de Brasília pela ampliação do meu horizonte de conhecimento sobre as estruturas.

À fundação CAPES pela bolsa de estudos concedida.

A CONCRECON, empresa fornecedora de concreto usinado de Brasília, que colaborou imensamente através da doação de todo o concreto utilizado nos ensaios experimentais deste trabalho.

Ao Prof. PhD Luciano Mendes Bezerra pelo apoio nos momentos críticos do caminho e por todo o conhecimento compartilhado.

Ao Prof. Dr. Otávio Cavalcante, idealizador e proponente do conector treliçado, foco deste trabalho, por suas generosas contribuições para o enriquecimento desta pesquisa.

Ao companheiro de pesquisa e amigo Wallison Barbosa, MSc, doutorando pelo PECC, pela força e ajuda inestimáveis.

Ao Prof. Dr. Yosiaki Nagato, pela grande colaboração com relação à estratégia de instrumentação dos ensaios experimentais.

Aos técnicos e colaboradores Pedro, Magno, Severino, Nelson, Pablo e Xavier por todo o apoio no laboratório.

## RESUMO

### ESTUDO DE CONECTOR DE CISALHAMENTO EM BARRA DE AÇO CA-50 PARA VIGA MISTA AÇO-CONCRETO

**Autor:** Latif Chater

**Orientador:** Luciano Mendes Bezerra

**Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil - UnB**

**Brasília, Maio de 2015**

O emprego da tecnologia de estruturas mistas apresenta vantagens significativas para a indústria da construção civil, em relação ao comportamento estrutural, e também quanto a aspectos construtivos. Os conectores de cisalhamento desempenham papel fundamental na solidarização dos materiais, no caso deste desta pesquisa o aço e o concreto, e portanto na qualidade da ação conjunta dos mesmos. Neste trabalho é apresentado um conector de cisalhamento composto por barra de aço CA-50 dobrada em formato próximo ao de uma treliça ou dente de serra, soldado a viga metálica. Foi realizado um estudo prévio da solução construtiva em modelo de elementos finitos, para determinação de seu potencial como objeto de estudo experimental. O estudo numérico mostrou que os conectores treliçados de diâmetro nominal acima de 12,5 mm apresentam resistência superior ao *stud bolt*, conector tomado como referência por ser o mais largamente empregado. A ductilidade se mostrou bastante semelhante entre os conectores, como pode ser observado nas curvas carga-deslizamento. Este comportamento motivou o estudo experimental de *push-out* em laboratório de três modelos do conector treliçado com diâmetro de 12,5 mm, seguindo o procedimento descrito na norma europeia EN 1994-1-1:2004 onde constatou-se uma carga final de ruptura bastante elevada e um comportamento rígido da conexão.

**Palavra chave:** estruturas mistas, aço, concreto, conectores de cisalhamento.

## **ABSTRACT**

### **STUDY OF CA-50 STEEL REBAR SHEAR CONNECTOR FOR STEEL-CONCRETE COMPOSITE BEAM**

**Author: Latif Chater**

**Supervisor: Luciano Mendes Bezerra**

**Civil Construction and Structures Graduate Program - UnB**

**Brasília, May of 2015**

The employment of composite structures technology presents many advantages to the construction industry, regarding the structural behavior and also the building process. The shear connectors play a fundamental role, causing the different materials, in the case of this research the steel and the concrete, to respond together, and therefore also determine the quality of this conjunct behavior. In this work a shear connector built from a CA-50 type rebar bent in a lattice or saw tooth form and welded to the steel profile is presented for the first time. A previous numerical study was made using the Finite Elements Method (FEM) to assert the connector's potential and to justify experimental tests. The numerical study showed that the lattice connectors with diameters above 12,5 mm in diameter reach a final bearing load higher than that of the stud bolt connector, taken as the control as it is the most widely used. All the connectors revealed a similar ductility, as can be seen in the load-slip graphics. This behavior motivated the experimental push-out tests of three 12,5 mm diameter rebar specimens, in accordance with the EN 1994-1-1:2004 european code, where a very high bearing load was observed, as well as a rigid behavior of the connection.

**Key words:** composite structures, steel, concrete, shear connectors.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 MOTIVAÇÃO .....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 OBJETIVOS GERAIS.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 ESCOPO DO TRABALHO.....</b>	<b>3</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 HISTÓRICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 INTERFACE AÇO-CONCRETO .....</b>	<b>7</b>
2.2.1 Aderência Entre Aço e Concreto.....	8
2.2.2 Grau de Conexão .....	8
2.2.3 Grau de Interação .....	11
2.2.4 Ductilidade dos Conectores.....	14
<b>2.3 ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO (PUSH-OUT).....</b>	<b>15</b>
2.3.1 Preparação dos Modelos.....	16
2.3.2 Procedimento de Ensaio .....	16
<b>2.4 CONECTORES DE CISALHAMENTO .....</b>	<b>18</b>
2.4.1 Conector <i>Stud Bolt</i> .....	18
2.4.2 Conector ‘U’ e Conector ‘V’ .....	21
2.4.3 Conectores Perfobond, Crestbond, T-Rib, ‘T’ e Similares .....	23
2.4.4 Conectores Horizontais .....	25
2.4.5 Conector Piramidal.....	27
2.4.6 Conectores não Soldados .....	27
2.4.7 Conexão por Aderência.....	28
<b>2.5 ESFORÇOS ATUANTES NO CONECTOR <i>STUD</i> .....</b>	<b>29</b>
<b>3. CONCEPÇÃO DO CONECTOR TRELIÇADO E ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS .....</b>	<b>32</b>

<b>3.1</b>	<b>CONECTOR DE CISALHAMENTO TRELIÇADO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>MODELAGEM NUMÉRICA.....</b>	<b>34</b>
3.2.1	Elementos Finitos Adotados.....	35
3.2.2	Calibração do Modelo Numérico do <i>Stud Bolt</i> com Resultados Experimentais e Critérios para a Análise Não-Linear .....	38
3.2.3	Modelo Numérico do Conector Trelaçado .....	43
3.2.4	Acoplamentos/Vínculos entre Elementos, Condições de Contorno e Aplicação de Cargas .....	44
3.2.5	Resultados .....	47
<b>4.</b>	<b>METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....</b>	<b>55</b>
<b>4.1</b>	<b>MODELOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>55</b>
<b>4.2</b>	<b>INSTRUMENTAÇÃO DOS MODELOS .....</b>	<b>59</b>
<b>4.3</b>	<b>CONCRETAGEM DAS AMOSTRAS E CORPOS-DE-PROVA .....</b>	<b>64</b>
4.3.1	Preparação das Amostras .....	64
4.3.2	Dosagem do Concreto .....	66
4.3.3	Concretagem.....	66
<b>4.4</b>	<b>MONTAGEM DO ENSAIO.....</b>	<b>68</b>
<b>4.5</b>	<b>AQUISIÇÃO DE DADOS E APLICAÇÃO DE CARGA.....</b>	<b>71</b>
<b>5.</b>	<b>RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>73</b>
<b>5.1</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....</b>	<b>73</b>
5.1.1	Abatimento do Tronco de Cone do Concreto Fresco - <i>Slump Test</i> .....	74
5.1.2	Resistência à Compressão do Concreto .....	74
5.1.3	Resistência à Tração por Compressão Diametral do Concreto .....	76
5.1.4	Módulo de Elasticidade do Concreto .....	77
5.1.5	Gráfico de Tensão x Deformação do Aço.....	78
<b>5.2</b>	<b>CARGAS DE RUPTURA E RESISTÊNCIA DE PROJETO.....</b>	<b>81</b>
<b>5.3</b>	<b>DESLIZAMENTO VERTICAL .....</b>	<b>84</b>
<b>5.4</b>	<b>SEPARAÇÃO TRANSVERSAL – UPLIFT.....</b>	<b>88</b>

5.5	DEFORMAÇÕES DOS CONECTORES .....	92
5.6	FISSURAÇÃO DO CONCRETO.....	99
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	103
6.1	CONCLUSÕES DO ESTUDO NUMÉRICO .....	103
6.2	CONCLUSÕES DO ENSAIO EXPERIMENTAL .....	104
6.3	CONCLUSÕES GERAIS.....	105
6.4	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	105
7.	BIBLIOGRAFIA.....	107
	APÊNDICES .....	112
A.	PASSOS DE CARGA APLICADOS NOS EXPERIMENTOS .....	113
B.	DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DOS MODELOS.....	125
C.	DEFORMAÇÕES DAS ARMADURAS DE FLEXÃO E DE CISALHAMENTO .....	138
D.	DESENHOS ESQUEMÁTICOS DAS FÔRMAS .....	151
E.	DOCUMENTOS EM FORMATO .TXT PARA ENTRADA NO ANSYS .....	152

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Resumo das condições de contorno e restrições no acoplamento de elementos.....	46
Tabela 3.2 - Verificação do conector stud e treliçado para uma carga de 10 tf. ....	49
Tabela 4.1 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto.....	66
Tabela 5.1 - Resultados dos ensaios de resistência do concreto à compressão. ....	75
Tabela 5.2 - Resultados dos ensaios de resistência do concreto à tração por compressão diametral. ....	77
Tabela 5.3 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto.....	78
Tabela 5.4 – Resultados da caracterização do aço CA-50 de bitolas 10 e 12,5mm. ....	81
Tabela 5.5 – Cargas de ruptura dos modelos ensaiados experimentalmente.....	83
Tabela A.1 - Evolução de cargas para o modelo V1 .....	113
Tabela A.2 - Evolução de cargas para o modelo V2 .....	117
Tabela A.3 - Evolução de cargas para o modelo V3 .....	121
Tabela B.1 - Deslocamentos verticais no modelo V1 .....	126
Tabela B.2 - Deslocamentos verticais no modelo V2 .....	130
Tabela B.3 - Deslocamentos verticais no modelo V3 .....	134
Tabela C.1 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V1.....	139
Tabela C.2 - Deformação nos conectores de cisalhamento do modelo V2 .....	143
Tabela C.3 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V3.....	147

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Ponte Rock Rapids Bridge, Iowa, E.U.A. (Smith, 2005).....	5
Figura 2.2 – Primeiro conector proposto (Viest, 1960 <i>apud</i> Chaves, 2009).....	6
Figura 2.3 – Conector rígido (Chapman, 1964 <i>apud</i> Chaves, 2009).....	6
Figura 2.4 – Viga híbrida e viga mista sujeitas a flexão (Queiroz <i>et al</i> , 2001 <i>apud</i> Silva, 2006).....	7
Figura 2.5 – Equilíbrio longitudinal de forças na viga mista (Oehlers <i>et al</i> , 1997) .....	10
Figura 2.6 – Tensão e deformação de uma viga mista para diferentes graus de conexão (adaptado de Oehlers e Bradford, 1995).....	11
Figura 2.7 – Comportamento de vigas mistas de acordo com a interação aço concreto (Malite, 1990 <i>apud</i> Kirchof, 2004).....	12
Figura 2.8 – Deslocamentos longitudinais na viga mista (Oehlers <i>et al</i> , 1997).....	13
Figura 2.9 – Diferença entre conector rígido e flexível quanto ao deslocamento provocado por incrementos de força (David, 2007).....	15
Figura 2.10 – Ensaio de <i>push-out</i> conforme a EN 1994-1-1:2004.....	15
Figura 2.11 – Determinação da capacidade de deslizamento (EN 1994-1-1:2004) .....	17
Figura 2.12 – Fixação de conector <i>stud</i> sobre deck metálico (Cruz <i>et al</i> , 2006) .....	18
Figura 2.13 – Fonte e pistola para solda do conector <i>stud bolt</i> (fonte: <a href="http://www.valoc.net/#!/page2/zoom/cjg9/imageoz9">http://www.valoc.net/#!/page2/zoom/cjg9/imageoz9</a> ) .....	19
Figura 2.14 – Conector ‘U’ (Vianna, 2009) .....	21
Figura 2.15 – Conector ‘U’ soldado às vigas em um canteiro de obras (Kirchof, 2004).....	22
Figura 2.16 – Processo de corte e dobra para obtenção de conector ‘V’ a partir de conector ‘U’ (Cavalcante, 2010) .....	22
Figura 2.17 – Disposição do conector ‘V’ e dos <i>studs</i> sobre o perfil, comparados por Cavalcante (Cavalcante, 2010).....	23
Figura 2.18 – Conectores Perfobond e Crestbond (Cruz <i>et al</i> , 2006) .....	23
Figura 2.19 – Processo para obtenção do conector T-Rib (Velasco <i>et al.</i> , 2007) .....	24
Figura 2.20 – Variações de conectores ensaiados por GALJAARD e WALRAVEN (2001) (Mahdi <i>et al</i> 2012) .....	24
Figura 2.21 – Conector de barras horizontais e conector de <i>stud bolts</i> deitados (Nishimura <i>et al</i> , 1971; e Kuhlman e Kürchner, 2001 e Breuninger, 2001 <i>apud</i> Jurkiewiez e Hottier, 2005).....	25

Figura 2.22 – Conector de barras horizontais soldados à alma de perfil metálico recortado em forma de “ <i>dovetail</i> ” (Hottier <i>et al</i> 2002 <i>apud</i> Jurkiewicz e Hottier, 2005) .....	25
Figura 2.23 – Conector de barras horizontais soldados a alma recortada do perfil metálico (Jurkiewicz e Hottier, 2005) .....	26
Figura 2.24 – Conector piramidal (Lee e Han, 1998).....	27
Figura 2.25 – Conector não soldado Hilti (Crisinel 1990) .....	27
Figura 2.26 – Conector não soldado (Tahir <i>et al</i> , 2009).....	28
Figura 2.27 – Conexão por aderência (Thomann e Lebet, 2008) .....	29
Figura 2.28 – Modelos de distribuição de tensões para o conector <i>stud</i> (Cavalcante, 2010).....	30
Figura 3.1 – Foto do conector dobrado, com régua de 30 cm para escala. ....	32
Figura 3.2 – Gabarito para a dobra do conector para aço de 12,5mm de diâmetro (medidas em cm) .....	33
Figura 3.3 – Conectores treliçados no ensaio de <i>push-out</i> . a) Conectores enfileirados contíguos (provenientes da dobra de uma mesma barra de aço). b) Conectores enfileirados independentes, conforme executado experimentalmente. ....	34
Figura 3.4 – Elemento finito SOLID45 (adaptado do ANSYS v.11).....	35
Figura 3.5 – Elemento finito SOLID65 (adaptado do ANSYS v.11).....	36
Figura 3.6 – Elemento finito BEAM189 (adaptado do ANSYS v.11).....	36
Figura 3.7 – Sentido das normais dos elementos de superfície utilizados para descrever o contato entre o aço dos conectores e o concreto da laje. (Cavalcante, 2010).....	37
Figura 3.8 – Elementos finitos de contato, conforme empregados no modelo numérico. (Cavalcante, 2010).....	37
Figura 3.9 – Constante de Rigidez Normal FKN dos elementos de contato e a penetração entre eles (Barbosa, 2010) .....	38
Figura 3.10 – Modelo em elementos finitos utilizado para a calibração com o ensaio experimental do conector <i>stud</i> . ....	39
Figura 3.11 – Resultado da calibração para o deslocamento vertical do perfil. ....	40
Figura 3.12 – Curva de caracterização do comportamento estrutural do concreto das lajes do ensaio <i>push-out</i> conforme considerado no modelo numérico. ....	41
Figura 3.13 – Curva de caracterização do comportamento estrutural do aço do perfil do ensaio <i>push-out</i> conforme considerado, de maneira simplificada, no modelo numérico. ....	42

Figura 3.14 – Curva de tensão por deformação obtidas por Cavalcante (2010) para o <i>stud bolt</i> em ensaio de tração direta, utilizada como base para o modelo numérico de calibragem. ....	42
Figura 3.15 – Curva de tensão por deformação obtidas por Cavalcante (2010) para o aço CA-50 em ensaio de tração direta, utilizada como base para o modelo numérico.....	43
Figura 3.16 – Modelo em elementos finitos do ensaio <i>push-out</i> para o conector treliçado e orientação dos eixos de coordenadas. ....	44
Figura 3.17 – Graus de liberdade restringidos para o modelo em elementos finitos do conector <i>stud bolt</i> . ....	45
Figura 3.18 – Graus de liberdade restringidos para o modelo em elementos finitos do conector treliçado. ....	46
Figura 3.19 – Ilustrações do procedimento e passos de interação para convergência por Newton-Raphson extraídas e adaptadas do manual do software (ANSYS v.11), sendo F1, F2 e F3 os passos de carga com convergência que constarão na curva final.....	47
Figura 3.20 - Resultados de ensaios <i>push-out</i> experimentais do <i>stud bolt</i> realizados por Cavalcante (2010) e numéricos para o <i>stud bolt</i> e para os treliçados.....	48
Figura 3.21 - Análise mais detalhada do conector treliçado e <i>stud</i> . ....	49
Figura 3.22- Distribuição de tensões (kN/cm <sup>2</sup> ) no sentido de ‘Uz’ para 7,5 tf por conector, com a compressão arbitrada com sinal negativo. ....	50
Figura 3.23- Distribuição de tensões (kN/cm <sup>2</sup> ) no sentido de ‘Uz’ para 10,9 tf por conector, com a compressão arbitrada com sinal negativo. ....	52
Figura 3.24- Tensão equivalente de Von Mises (kN/cm <sup>2</sup> ) para uma carga 7,5 tf por conector. ....	53
Figura 3.25- Tensão equivalente de Von Mises (kN/cm <sup>2</sup> ) para uma carga 10,9 tf por conector. ....	54
Figura 4.1 – Perfil metálico W 250x73 adotado para o ensaio <i>push-out</i> .....	55
Figura 4.2 – Posicionamento do conector e da armação da laje em relação ao perfil metálico. ....	56
Figura 4.3 – Formas para o ensaio <i>push-out</i> .....	56
Figura 4.4 – Detalhe da soldagem dos conectores aos perfis metálicos.....	57
Figura 4.5 – Disposição dos 8 extensômetros (E1 a E8) diretamente sobre os conectores de cada amostra. ....	60
Figura 4.6 – Procedimento de instrumentação dos conectores.....	61
Figura 4.7 – Amostra com todos os conectores instrumentados. ....	62

Figura 4.8 – Posições dos defletômetros tipo LVDT. ....	63
Figura 4.9 – Posicionamento dos dois defletômetros horizontais e um vertical, de um lado da alma do perfil e do outro vertical do lado oposto. ....	64
Figura 4.10 – Aplicação de graxa em mesa de perfil, encaixe do perfil e armadura na fôrma com espaçadores e vista das 3 amostras antes da concretagem (sentido horário). ....	65
Figura 4.11 – Aplicação de silicone nas aberturas feitas entre a forma e o perfil metálico, para passagem dos fios dos extensômetros. ....	65
Figura 4.12 – Preenchimento das fôrmas com concreto e vibração com vibrador de agulha. ....	67
Figura 4.13 – Moldagem dos corpos-de-prova para caracterização do concreto. ....	67
Figura 4.14 – Cura dos modelos e dos corpos-de-prova com panos úmidos protegidos lonas plásticas. ....	68
Figura 4.15 – Montagem dos blocos de concreto, da chapa de aço e do modelo sobre a chapa, com camadas intermediárias de gesso. ....	69
Figura 4.16 – Esquema de montagem da rótula e chapas para distribuição alinhada da carga para o perfil metálico. ....	70
Figura 4.17 – Visão geral da montagem do ensaio. ....	70
Figura 4.18 – Módulos “Spyder-8” e computador utilizados para coleta de dados. ....	71
Figura 4.19 – Sistema de aquisição dos dados de carregamento e bombas hidráulicas para aplicação da carga. ....	72
Figura 5.1 – Ensaio de abatimento do tronco de cone. ....	74
Figura 5.2 – Realização de ensaio de resistência à compressão e discos de neoprene utilizados nos contatos da prensa com as amostras. ....	75
Figura 5.3 – Tipologia das rupturas dos corpos-de-prova ensaiados à compressão. ....	76
Figura 5.4 – Ensaio de resistência à tração do concreto por compressão diametral. ....	76
Figura 5.5 – Ciclos de carregamento e momentos de tomada de leituras conforme a ABNT NBR 8522:2008. ....	77
Figura 5.6 – Ensaio de módulo de elasticidade do concreto. ....	78
Figura 5.7 – Ensaio de módulo de elasticidade do concreto. ....	79
Figura 5.8 – Curvas de tensão x deformação obtidas para o aço CA-50 de bitola 10mm. ....	80
Figura 5.9 – Curvas de tensão x deformação obtidas para o aço CA-50 de bitolas 12,5mm. ....	80

Figura 5.10 – Gráficos de aplicação de carga pelo tempo para os três modelos ensaiados. .....	82
Figura 5.11 – Gráficos de deslizamento vertical pela carga para cada um dos três modelos ensaiados, com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios. ....	85
Figura 5.12 – Gráfico de deslizamento vertical médio para as 3 amostras, obtido pela média aritmética simples entre os dois defletômetros de cada modelo. ....	86
Figura 5.13 – Gráfico de deslizamento vertical médio pela carga do modelo V1 para determinação do deslizamento vertical característico. ....	87
Figura 5.14 – Gráfico de deslizamento vertical médio dos três modelos ensaiados e dos conectores ensaiados por Cavalcante (2010). ....	88
Figura 5.15 – Gráficos de separação transversal – <i>uplift</i> – pela carga para o modelo V1 com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios. ....	89
Figura 5.16 – Gráficos de separação transversal – <i>uplift</i> – pela carga para o modelo V2 com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios. ....	89
Figura 5.17 – Gráficos de separação transversal – <i>uplift</i> – pela carga para o modelo V3 com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios. ....	90
Figura 5.18 – Gráfico de separação transversal – <i>uplift</i> – média dos defletômetros pela carga para os três modelos. ....	90
Figura 5.19 – Comparativos entre o <i>uplift</i> para diferentes conectores de cisalhamento ensaiados por Cavalcante (2010), com o mesmo posicionamento de defletômetros. ....	91
Figura 5.20 – Gráficos de carga x deformação dos extensômetros acoplados aos conectores. ....	95
Figura 5.21 – Fases de carregamento do ensaio e respectivos comportamentos dos conectores. ....	96
Figura 5.22 – Fotos dos conectores após o ensaio. ....	98
Figura 5.23 – Detalhe da ruptura por tração na haste vertical no modelo V3. ....	98
Figura 5.24 – Mapa de fissuras das faces externas das lajes dos modelos. ....	99
Figura 5.25 – Mapa de fissuras das faces externas das lajes dos modelos de <i>stud bolt</i> ensaiados por Cavalcante (2010). ....	100
Figura 5.26 – Vista superior dos modelos após a ruptura, com os modelos V1, V2 e V3 dispostos nesta ordem da esquerda para a direita. ....	101
Figura 5.27 – Vistas laterais e internas das lajes dos modelos. ....	101
Figura 5.28 – Mecanismo de surgimento da quina fissurada, por rotação maior de uma laje em relação a outra, causada por instabilidade devido a alguma excentricidade. ....	102

Figura D.1 – Perspectiva 3D da fôrma montada .....	151
Figura D.2 – Detalhe das partes componentes e suas medidas para o corte das chapas de compensado. ....	151

## LISTA DE SÍMBOLOS

Neste item são apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta Dissertação de Mestrado. Aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicado assim que mencionados no texto.

$A_{cs}$	–	área da seção transversal do conector;
$A_c$	–	área da seção de concreto;
$A_s$	–	área da seção do perfil metálico;
$d$	–	diâmetro do corpo do conector de cisalhamento;
$E_{cm}$	–	modulo de elasticidade do concreto;
$f_c$	–	resistência à compressão do concreto;
$f_{ck}$	–	resistência característica do concreto à compressão;
$f_{cm}$	–	resistência do concreto à compressão obtido experimentalmente;
$F_{comp}$	–	força resultante de compressão no concreto da laje mista;
$F_{hd}$	–	força de cisalhamento de cálculo tomada como a menor resistência dentre o escoamento da seção bruta do perfil metálico e a resistência à compressão da laje colaborante;
$F_s$	–	força de tração no perfil de aço;
$f_u$	–	resistência última de ruptura;
$f_{ucs}$	–	resistência à ruptura do aço do conector;
$f_{ut}$	–	resistência à ruptura do aço do conector obtida experimentalmente;
$f_y$	–	tensão de escoamento do aço;
$FKN$	–	coeficiente de rigidez normal aplicado pelo programa Ansys;
$H_a$	–	altura da zona de compressão triaxial atuante no conector;
$MEF$	–	Método dos Elementos Finitos;
$M_{sh}$	–	momento fletor ocasionado pela força ‘Fsh’ distante ‘Z’ da base do conector;
$P_c$	–	resistência do concreto da laje mista;
$P_{Rk}$	–	resistência característica, tomada como a menor carga de ruptura dentre as amostras, dividido pelo número de conectores e reduzido em 10%;
$P_s$	–	resistência do perfil metálico da viga mista;
$P_{sh}$	–	resistência dos conectores de cisalhamento;
$P_{shmax}$	–	resistência dos conectores de cisalhamento no ponto de momento fletor máximo;

- $P_{shmax,fi}$  – resistência dos conectores de cisalhamento no ponto de momento fletor máximo necessária para anular o deslocamento entre o aço e o concreto;
- $Q_{Rd}$  – resistência de cálculo dos conectores de cisalhamento;
- $R$  – força de reação a carga aplicada no ensaio de cisalhamento direto *push-out* nos apoios das lajes;
- $R_g$  – coeficiente para a consideração do efeito de atuação de grupo de conectores;
- $R_p$  – coeficiente para a consideração da posição do conector;
- $R_{est}$  – rigidez estimada pelo Ansys em função das características do material;
- $R_{final}$  – rigidez final de cálculo considerada no elemento de contato pelo programa Ansys;
- $t$  – tempo;
- $V_{sh}$  – força de cisalhamento na interface aço-concreto;
- $Z$  – distância de aplicação de ‘Fsh’ a base do conector de cisalhamento;

### LETRAS GREGAS

- $\alpha$  – fator de forma que depende da razão entre a altura nominal do stud bolt e o seu diâmetro ‘ $d$ ’;
- $\eta_i$  – grau de conexão entre os materiais, indicativo da resistência da viga mista;
- $\gamma_v$  – fator parcial de segurança segundo a norma EN 1994-1-1:2004;
- $\delta_u$  – capacidade de deslizamento de conector de cisalhamento ensaiado modelo de *push-out*, segundo a EN 1994-1-1:2004;
- $\delta_{uk}$  – capacidade de deslizamento característico de conector de cisalhamento ensaiado modelo de *push-out*, segundo a EN 1994-1-1:2004;
- $\varphi$  – grau de interação entre a laje de concreto e o perfil metálico.

### LISTA DE ABREVIACÕES

- ABNT – Associação brasileira de normas técnicas;
- ASTM – American society for testing and materials;
- ENC – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB;

EN – Euro-Norma  
NBR – Norma Brasileira;

# 1. INTRODUÇÃO

O sistema estrutural de vigas mistas se apresenta como uma boa alternativa para o projeto e execução de estruturas. Sua tecnologia e aplicação já são bem disseminadas na realidade da construção civil brasileira e internacional. Trata-se de um sistema composto por laje de concreto solidarizada a viga de aço através de conectores de cisalhamento, cuja função é absorver os esforços de cisalhamento surgidos na interface entre os materiais e impedir o afastamento vertical entre laje e perfil. (Alva e Malite, 2005)

Este sistema busca aproveitar de maneira otimizada seus materiais componentes: o concreto é solicitado principalmente à compressão e o aço à tração. Neste arranjo dos materiais, diminui-se a necessidade de emprego do concreto na zona tracionada de uma viga, onde sua resistência seria desprezada. Desta forma, minimiza-se o uso de concreto em relação a uma estrutura de concreto armado. Em comparação a uma estrutura metálica, o perfil de aço necessário terá altura menor, tendo em vista que uma parcela do esforço de compressão a que estaria sujeito está sendo absorvido pelo concreto e por que a peça apresenta em geral maior rigidez (Veríssimo, 2007).

No presente trabalho de pesquisa, busca-se sugerir e analisar um novo tipo de conector de cisalhamento, através de experimentos tipo *push-out* realizados de acordo com os preceitos da norma europeia EN 1994-1-1:2004 e análises numéricas pelo Método dos Elementos Finitos através do software ANSYS 11.0. Espera-se que este trabalho contribua em alguma medida para uma maior popularização da tecnologia de viga mista de aço-concreto no Brasil, tendo em vista o melhor aproveitamento que proporciona dos materiais aço e concreto, que trabalham em suas funções ótimas e os possíveis benefícios que pode trazer para a construção, como ganhos em prazo de execução, quantidade de materiais empregados e qualidade da estrutura.

O conector proposto consiste em uma barra de aço CA-50 dobrada em formato próximo ao de uma treliça, onda ou dente de serra, fixado por solda à viga metálica. Possui uma haste vertical, comparável ao *stud bolt*, que é reforçada na parte superior por uma diagonal a 45°.

## **1.1 MOTIVAÇÃO**

Os conectores mais empregados hoje no Brasil são o conector stud ou pino com cabeça e o conector de perfil laminado em U, ambos previstos na norma de projeto de estruturas de aço laminado NBR 8800:2008.

O stud é popular, inclusive internacionalmente, devido principalmente à alta produtividade que proporciona através de pistola de solda específica com alta velocidade de aplicação. Além disso, tem boa ancoragem no concreto e facilita a colocação da armadura da laje. Suas desvantagens são a baixa resistência à fadiga, por ser um conector flexível, e o fato de requerer gerador próprio de grande potência, da ordem de 225 KVA de acordo com Cruz et al, (2006), para alimentação da pistola de solda, o que eleva seu custo de instalação (Vianna, 2009). O perfil em U apresenta menor concentração de tensões, por ter maior área de superfície, mas se deforma mais que o stud por sua pequena espessura (Cavalcante, 2010). Outro problema do conector U advém do emprego de perfis metálicos com mesas muito estreitas quando adotado o sistema de pré-laje, que não permitem a acomodação do comprimento necessário do perfil U (Veríssimo, 2007).

O conector proposto neste trabalho tem como objetivo proporcionar redução do custo do material e redução da dependência de equipamentos específicos. A redução de custo é obtida pelo fato de ser fabricado a partir de vergalhões de aço CA-50 de baixo custo relativamente aos perfis de aço e studs, com vasto uso no mercado. Ainda em relação ao stud, o conector proposto apresenta a vantagem de não exigir equipamento de solda específico com gerador próprio.

## **1.2 OBJETIVOS GERAIS**

O objetivo principal deste trabalho é o estudo do comportamento estrutural de um novo tipo de conector de cisalhamento para vigas mistas aço-concreto.

Os objetivos específicos são:

- Estudar o conector numericamente através do Método dos Elementos Finitos, para começar a conhecer o seu comportamento estrutural e verificar se apresenta vantagens suficientes para seguir com o estudo experimental;

- Realizar ensaios experimentais normatizados de cisalhamento direto do tipo *push-out* para o conector proposto, buscando determinar o real comportamento do conector e parâmetros de qualificação do mesmo quanto a sua ductilidade e resistência pela norma EN 1994-1-1:2004;

### **1.3 ESCOPO DO TRABALHO**

O Capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica acerca das estruturas mistas, apresentando um breve histórico das mesmas, o funcionamento geral das conexões das estruturas mistas aço-concreto, as orientações para o ensaio de cisalhamento direto (*push-out*), um panorama de outros tipos de conectores de cisalhamento e o comportamento estrutural específico dos conectores tipo stud bolt.

No Capítulo 3 é apresentada a concepção e características do conector de cisalhamento estudado neste trabalho. Em seguida são expostos os detalhes da modelagem numérica deste conector pelo Método dos Elementos Finitos e os resultados desta análise.

O Capítulo 4 discorre sobre a metodologia experimental empregada para os ensaios realizados em laboratório. É mostrada a configuração e instrumentação dos modelos, as características do concreto e sua forma de aplicação e, por fim, a montagem do ensaio sob o pórtico de carga e o modo de extração dos dados do experimento.

Os resultados experimentais constam no Capítulo 5, a começar pelos resultados de caracterização dos materiais empregados, seguidos pelos dados do ensaio de *push-out* propriamente dito. Ao final, são mostradas e analisadas as formas de ruptura dos modelos.

No Capítulo 6 são apresentadas conclusões acerca dos resultados dos ensaios numérico e experimental e sugestões para estudos futuros neste tópico.

O Capítulo 7 contém a bibliografia utilizada para embasar este trabalho.

Na seção final, dos Apêndices, são disponibilizados os resultados das leituras de deslocamentos dos ensaios em detalhes, desenhos com cotas para a construção das formas

e o documento tipo “.txt” para entrada direta de dados no software ANSYS referente as modelagens numéricas realizadas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 HISTÓRICO

De acordo com Cosenza e Zandonini (1999), a tecnologia de estrutura mista de aço e concreto foi empregada pela primeira vez em 1894 em uma ponte e um prédio nos E.U.A. A ponte Rock Rapids Bridge, em Rock Rapids, Iowa, empregava uma viga metálica imersa em concreto e o prédio Methodist Building, em Pittsburgh tinha vigas imersas no concreto do piso.



Figura 2.1 – Ponte Rock Rapids Bridge, Iowa, E.U.A. (Smith, 2005)

No Brasil, foram executadas estruturas mistas para alguns prédios e pequenas pontes na década de 50 (Tristão, 2002). A partir da década de 70 e durante a década de 80, a construção com viga mista ficou praticamente estagnada, de acordo com Malite (1993) apud Kirschhoff (2004), devido à preferência dada pela indústria da construção ao concreto armado e protendido.

Antes da década de 70, num contexto mundial, várias pontes foram construídas com um sistema híbrido de lajes de concreto simplesmente apoiadas sobre vigas de aço, os dois materiais trabalhando de forma independente. Mas as solicitações atuais de carregamento fizeram necessário o reforço ou a substituição dessas estruturas. A capacidade portante do sistema é melhorada em mais de 50% quando se utilizam conectores de cisalhamento

ligando o perfil metálico à laje de concreto, que permitem uma resposta conjunta da laje e da viga aos esforços (Mahdi et al, 2012).

Os primeiros estudos de conectores de cisalhamento foram feitos na Suíça, em que se propôs um conector composto por barras redondas dobradas em espiral, disposto longitudinalmente ao longo da viga e soldado nos pontos de contato (Viest, 1960 apud Chaves, 2009).

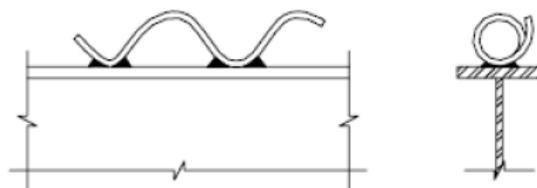


Figura 2.2 – Primeiro conector proposto (Viest, 1960 apud Chaves, 2009)

Em seguida, os europeus estudaram a combinação de dois tipos de conectores: conectores confeccionados a partir de barras de aço para concreto armado em formas de ganchos e presilhas e conectores rígidos feitos de barras retangulares de aço (Viest, 1960 apud Chaves, 2009).

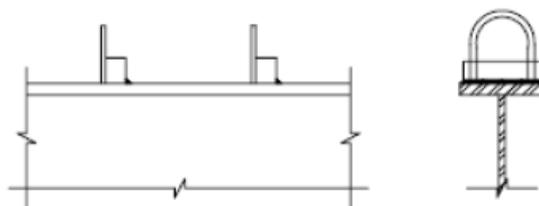


Figura 2.3 – Conector rígido (Chapman, 1964 apud Chaves, 2009)

Nos E.U.A., a pesquisa foi direcionada a conectores flexíveis, dentre eles perfis U de aço laminado e os do tipo *stud bolt*. Os conectores *stud* começaram a ser estudados em 1954, nas Universidades de Illinois e de Lehigh, com a realização de ensaios laboratoriais com carga estática e cíclica, para fadiga, do tipo *push-out* em vigas I (Chaves, 2009).

No Brasil, a viga mista foi normatizada pela primeira vez em 1986 na NBR-8800: Projeto e Execução de Estruturas de Aço de Edifícios. Malite foi o primeiro a pesquisar o assunto no Brasil em sua tese de mestrado de 1990, dando prosseguimento em seu doutorado em

1993, quando ensaiou 3 tipos de conectores de cisalhamento de chapa dobrada: a cantoneira simples, a enrijecida e o perfil U (Kirchhof, 2004).

## 2.2 INTERFACE AÇO-CONCRETO

Em uma viga mista, de modo geral, a parte superior da laje é solicitada a compressão e a base do perfil metálico é solicitada a tração. Além disso, o concreto da laje e o aço do perfil tem propriedades mecânicas e geométricas distintas, como o módulo de elasticidade e a seção. Por conta destas diferenças, a resposta dos materiais ao carregamento é diferente, havendo a tendência de um deslizamento relativo entre eles. Quando não há conectores de cisalhamento entre os dois materiais, este deslizamento ocorre livremente, e a viga é híbrida, sem ação mista, com cada material agindo separadamente, conforme a Figura 2.4 (a). Com conectores de cisalhamento, surge entre as partes da viga composta, na medida em que esta é solicitada, uma força de cisalhamento associada ao deslocamento contido da laje em relação ao perfil metálico, conforme ilustrado na Figura 2.4 (b), e a viga é dita mista (Queiroz *et al*, 2001 *apud* Silva, 2006). Além da força de cisalhamento, surge também uma força vertical que tende a causar uma separação dos dois materiais. Este deslocamento é denominado *uplift*. Esta força se faz presente mesmo quando não há ação mista da viga, isto é, quando a viga em questão é híbrida e não possui conectores de cisalhamento que garantam a interação entre os materiais.

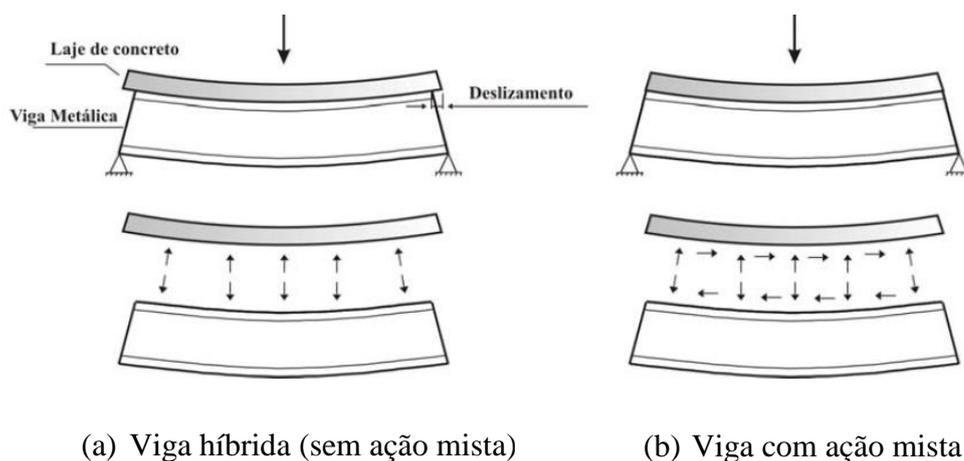


Figura 2.4 – Viga híbrida e viga mista sujeitas a flexão (Queiroz *et al*, 2001 *apud* Silva, 2006)

### 2.2.1 Aderência Entre Aço e Concreto

Veríssimo (2007) observou que apesar de existirem de fato forças de atrito, que até podem atingir valores elevados, estas não costumam ser computadas na resistência das vigas mistas por apresentarem comportamento pouco previsível.

Segundo Johnson (1994), quando a viga mista é posta sob carregamento, o cisalhamento longitudinal é transferido para a interface aço-concreto, o que provoca um rompimento da ligação entre estes materiais. Esta ligação não é refeita com o descarregamento, ou seja, a aderência entre os materiais é perdida. Esta aderência entre o aço e o concreto, portanto, não pode ser considerada no projeto, o que torna necessário o uso dos conectores de cisalhamento.

No estudo experimental de cisalhamento direto *push-out*, a norma europeia 1994-1-1:2004 exige que seja empregada graxa ou material similar na interface aço-concreto, para que não seja captada qualquer contribuição da aderência nesta zona nas leituras do ensaio. Caso contrário seria difícil distinguir qual parcela da resistência ao cisalhamento se deve de fato ao conector e qual foi a contribuição da aderência.

Para classificar a conexão provida pelos conectores Oehlers et al (1997) trazem os conceitos de grau de conexão, que trata da resistência estrutural da conexão e o grau de interação, relacionado à resistência ao deslizamento da mesma.

### 2.2.2 Grau de Conexão

O grau de conexão é indicativo da resistência da viga mista. A viga tem grau de conexão máximo, chamado grau de conexão total ou completo, quando sua resistência não depende dos conectores, mas das deformações máximas do concreto e do aço na seção transversal mais solicitada.

Oehlers et al (1997) e a norma brasileira NBR 8800:2008 trazem a mesma fórmula para o cálculo do grau de conexão  $\eta_i$ , conforme a Equação 2.1. A norma brasileira, no entanto, define o grau de conexão como grau de interação, em seu item O.2.3.1.1.2.

$$\eta_i = \frac{\sum Q_{Rd}}{F_{hd}} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Em que:

$\sum Q_{Rd}$  é o somatório das forças resistentes de cálculo individuais dos conectores de cisalhamento situados entre a seção de momento positivo máximo e a seção mais próxima de momento nulo;

$F_{hd}$  é a força de cisalhamento de cálculo entre o componente de aço e a laje, tomado como o menor valor dentre a resistência ao escoamento da seção bruta do perfil inteiro de aço e a resistência à compressão da seção da laje considerada como colaborante.

Na norma NBR 8800:2008, o grau de conexão (chamado de grau de interação) completo é obtido quando se tem  $\eta_i = 1$  e é parcial para valores entre 0 e 1. O limite mínimo estabelecido na mesma é de 0,4. A alínea f) do item O.1.1.2 desta norma afirma:

“A interação entre o aço e o concreto é completa, na região de momento positivo, se os conectores situados nessa região tiverem resistência de cálculo igual ou superior à resistência de cálculo do componente de aço à tração ou da laje de concreto à compressão, o que for menor. A interação é parcial caso a resistência de cálculo dos conectores seja inferior às duas resistências mencionadas”.

Oehlers et al (1997) mostram através da Figura 2.6 o equilíbrio de forças longitudinais numa seção de momento positivo de uma viga mista. De acordo com os autores, a flexão produz nesta seção a força resultante de compressão  $F_{comp}$  no concreto, de tração  $F_s$  no aço e de cisalhamento  $V_{sh}$  na interface aço-concreto. A capacidade resistente da viga mista a flexão pode ser então determinada chegando-se a uma distribuição de tensões que produza equilíbrio entre as forças horizontais, ou seja,  $F_{comp} = F_s$ .

Na Figura 2.5 (a), está representada a distribuição de tensões na seção para o caso de a conexão ser total, com a laje resistindo a toda a compressão, e o perfil metálico à tração. A Figura 2.5 (b) mostra o caso de uma viga híbrida, com grau de conexão nulo, em que o perfil metálico resiste aos esforços separadamente da laje, absorvendo a tração e a compressão. A Figura 2.5 (c) mostra o caso de os conectores de cisalhamento não terem um funcionamento pleno, transmitindo apenas parte do esforço de compressão para a laje

e caracterizando a conexão parcial. Em todas estas,  $f_c$  é a resistência à compressão do concreto,  $f_y$  a tensão de escoamento do aço,  $A_c$  a área da seção de concreto e  $A_s$  a área da seção do perfil metálico.

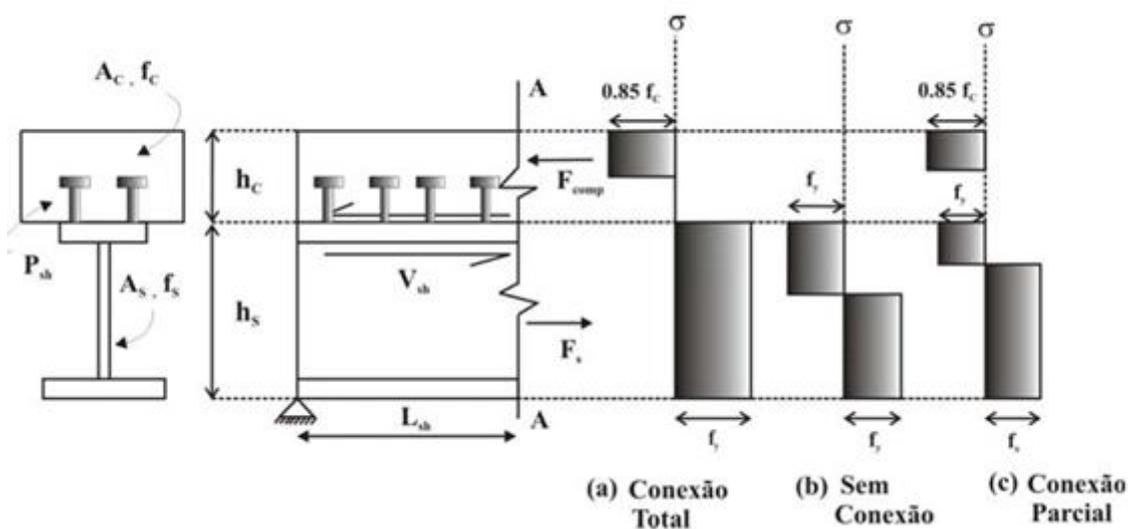


Figura 2.5 – Equilíbrio longitudinal de forças na viga mista (Oehlers *et al*, 1997)

O grau de conexão é definido a partir da comparação entre as resistências das partes componentes da viga mista. Caso a laje de concreto (de resistência  $P_c = 0,85 \cdot f_c \cdot A_c$ ) ou o perfil metálico (de resistência  $P_s = A_s \cdot f_y$ ) tenham maior capacidade resistente que os conectores de cisalhamento (de resistência  $P_{sh}$ ), a ruptura se dará nos conectores, caracterizando uma conexão parcial. Caso os conectores sejam mais resistentes que o perfil e a laje, ou seja,  $P_{sh} > P_s$  e  $P_{sh} > P_c$ , diz-se que a viga mista tem conexão total.

Oehlers e Bradford (1995) ilustram, através da Figura 2.6 três casos de graus de conexão, sendo dois de conexão total e um de parcial. Os dois primeiros demonstram a diferença entre a distribuição de tensões na viga mista quando se tem resistência ao escoamento da seção bruta de menor que a resistência a compressão do concreto, na Figura 2.6 (a), e o contrário na (b). Na Figura 2.6 (c) a resistência do conector é inferior as resistências do concreto da laje e do perfil metálico e por isso a contribuição da resistência da laje é limitada.

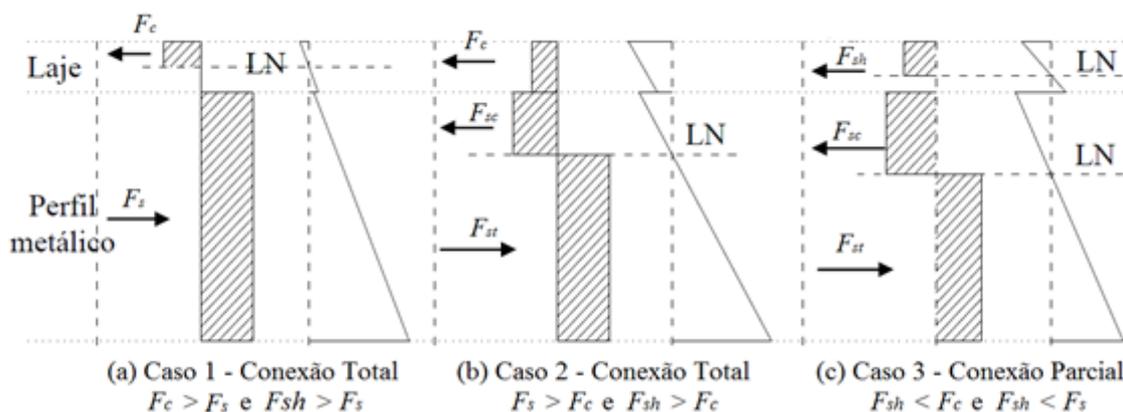


Figura 2.6 – Tensão e deformação de uma viga mista para diferentes graus de conexão (adaptado de Oehlers e Bradford, 1995)

No dimensionamento de uma viga mista, é usual determinar a resistência mínima dos conectores para atingir o grau de conexão total, obtendo-se a quantidade e dimensões dos conectores, e então se proceder ao cálculo, ignorando a influência dos mesmos.

### 2.2.3 Grau de Interação

O grau de interação diz respeito ao deslizamento relativo entre o aço e o concreto. Se o grau de interação é nulo, a viga em questão não tem ação mista, tratando-se, portanto, de uma viga híbrida e não de uma viga mista.

Quando o grau de interação é máximo, é chamado de total e isto indica que não há deslizamento entre os componentes da viga mista, o que aconteceria se os conectores de cisalhamento tivessem rigidez infinita. Neste caso a viga teria somente uma linha neutra e comportamento totalmente solidário entre o concreto e o perfil de aço, com a hipótese das seções planas permanecerem planas (de Navier-Bernoulli) mantendo-se válida ao longo de toda a peça.

A interação parcial é uma configuração intermediária entre os dois primeiros casos, com escorregamento (ou deslizamento) menor que no primeiro caso e duas linhas neutras.

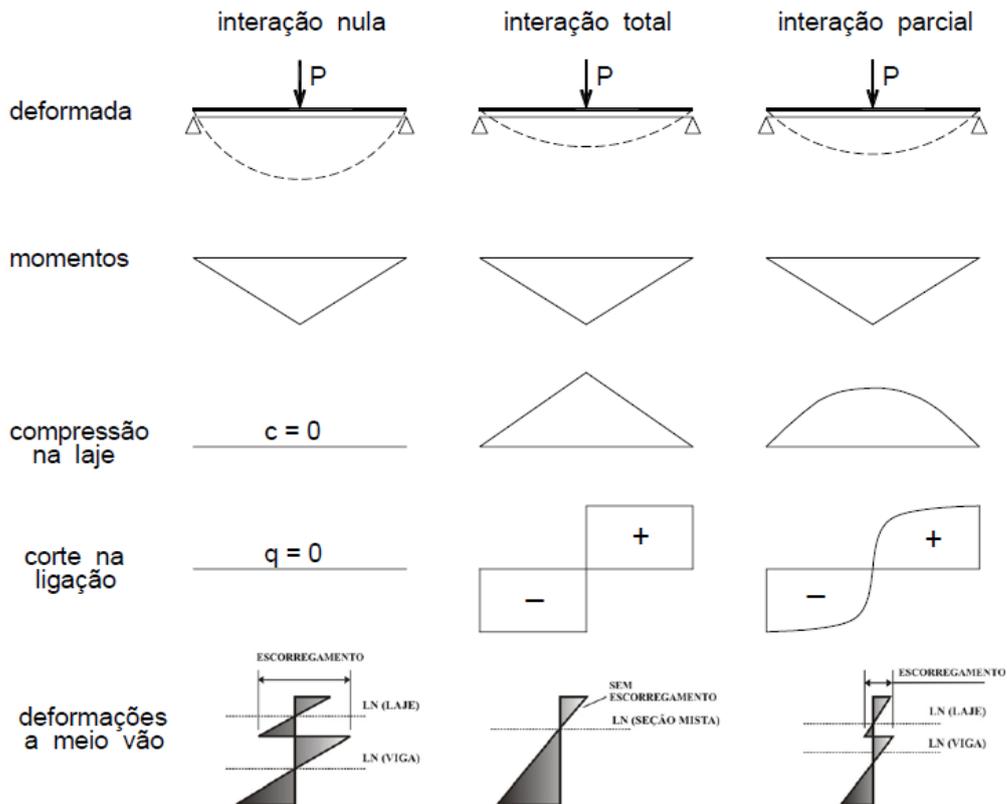


Figura 2.7 – Comportamento de vigas mistas de acordo com a interação aço concreto (Malite, 1990 *apud* Kirchof, 2004)

Segundo Johnson (1975), ensaios de *push-out*, que serão explicados em detalhe na no item 2.3, mostram que mesmo com cargas muito baixas o deslizamento nunca é zero. O autor mostra através de dedução analítica envolvendo equações diferenciais que o erro do cálculo quando se considera a interação e a conexão totais, no entanto, são da ordem de 5% para tensões de compressão no concreto e de menos de 13% para deformações, quando comparado ao cálculo realizado considerando a interação parcial e a conexão total, conforme sugerem os ensaios laboratoriais.

A Figura 2.8 é a base do modelo analítico proposto por Oehlers et al (1997). A viga da figura não tem carga aplicada sobre ela em (a), onde se encontra indeformada. Em (b) observa-se que os pontos B (no concreto) e C (no aço) passam a distar  $L + U_c$  e  $L + U_s$ , respectivamente, do ponto de aplicação da carga  $Q$ . O deslizamento é dado por  $s = U_c - U_s$ . Oehlers e Bradford (1995) demonstram que  $s = \int_L \varepsilon_c dx - \int_L \varepsilon_s dx$ . Diferenciando  $s$ , obtém-se  $ds/dx = \varepsilon_c - \varepsilon_s$ . Essas relações estão ilustradas em (c), que mostra como é

o deslocamento e a deformação próximos ao ponto de aplicação da carga  $Q$  e (d), que mostra os perfis de deformação da laje de concreto e do perfil metálico sendo  $h_{na}$  a distância entre as linhas neutras da laje e do perfil.

A viga com interação nula tem  $h_{na}$  máximo e a com interação total tem  $h_{na}$  nulo. Quando  $h_{na}$  está entre estes dois extremos, a conexão é parcial.

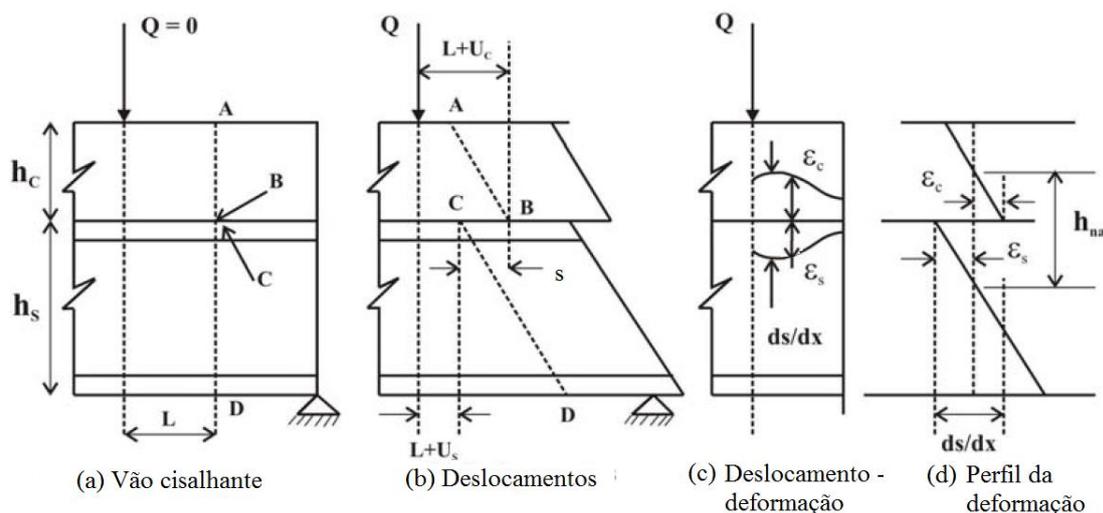


Figura 2.8 – Deslocamentos longitudinais na viga mista (Oehlers *et al*, 1997)

Oehlers *et al* (1997) assumem simplifadamente que o comportamento do perfil e da laje é elástico, e o dos conectores plástico, para chegarem analiticamente a uma expressão do grau de interação entre o aço e o concreto, que depende das rigidezes da laje de concreto, do perfil metálico e dos conectores de cisalhamento.

$$\varphi = \frac{P_{sh_{max}}}{P_{sh_{max,fi}}} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

em que:

$\varphi$  é o grau de interação entre a laje de concreto e o perfil metálico.

$P_{sh_{max}}$  é a força resistente dos conectores de cisalhamento no ponto de momento fletor máximo;

$P_{sh_{max,fi}}$  é a força resistente dos conectores de cisalhamento no ponto de momento fletor máximo necessária para anular o deslocamento entre o aço e o concreto.

#### 2.2.4 Ductilidade dos Conectores

Os conectores de cisalhamento podem ser classificados quanto a sua ductilidade em rígido ou flexível. O conector rígido é aquele que apresenta pouca deformação e baixo deslizamento entre concreto e aço quando solicitado. O conector flexível tem o comportamento oposto, deformando-se muito antes de romper e permitindo maior deslizamento relativo na viga mista.

O conector flexível, apesar de ter uma ruptura dúctil, o que é desejável, tem baixo desempenho quando solicitado à fadiga, pois se deforma muito com a variação cíclica de carga, diferentemente do conector rígido. O conector do tipo *stud bolt*, apresentado em maior detalhe no item 2.4.1, por exemplo, é flexível e tem baixa resistência à fadiga, por que se deforma até mesmo para cargas de serviço. O conector ideal apresentaria comportamento rígido sob cargas de serviço e flexível para as cargas dos Estados Limites Últimos (Veríssimo, 2007).

A norma EN 1994-1-1:2004 traz uma definição da ductilidade para um conector de cisalhamento com base no deslizamento característico  $\delta_{uk}$ , obtido do ensaio de *push-out*, como será abordado no item 2.3.3. Para valores deste deslizamento superiores a 6,0 mm, o conector é considerado flexível. Caso seja classificado como flexível, admite-se que todos os conectores são mobilizados quando se impõe o carregamento à viga e assim, os conectores podem ser igualmente distribuídos sobre a superfície do perfil metálico. Caso contrário, a distribuição de conectores deve levar em conta a distribuição da tensão cisalhante pela interface aço-concreto.

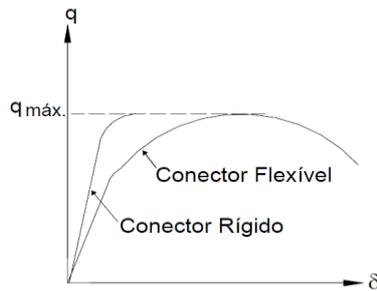


Figura 2.9 – Diferença entre conector rígido e flexível quanto ao deslocamento provocado por incrementos de força (David, 2007)

### 2.3 ENSAIOS DE CISALHAMENTO DIRETO (*PUSH-OUT*)

O ensaio de cisalhamento direto, mais conhecido como *push-out*, foi padronizado na norma europeia para cálculo de estruturas mistas, a EN 1994-1-1:2004. Ele consiste basicamente em soldar a um perfil de aço os conectores de cisalhamento em ambos os lados. Duas lajes de 60x60x15 cm, armadas, são então moldadas nas faces das mesas do perfil de aço, envolvendo os conectores. Finalmente, são aplicadas diferentes cargas sobre a viga, medindo-se os deslizamentos resultantes do perfil em relação à laje, o que permitirá a construção de um gráfico força x deslizamento e uma análise da ductilidade e resistência dos conectores. Também deve ser mensurado o uplift, que é o distanciamento das lajes.

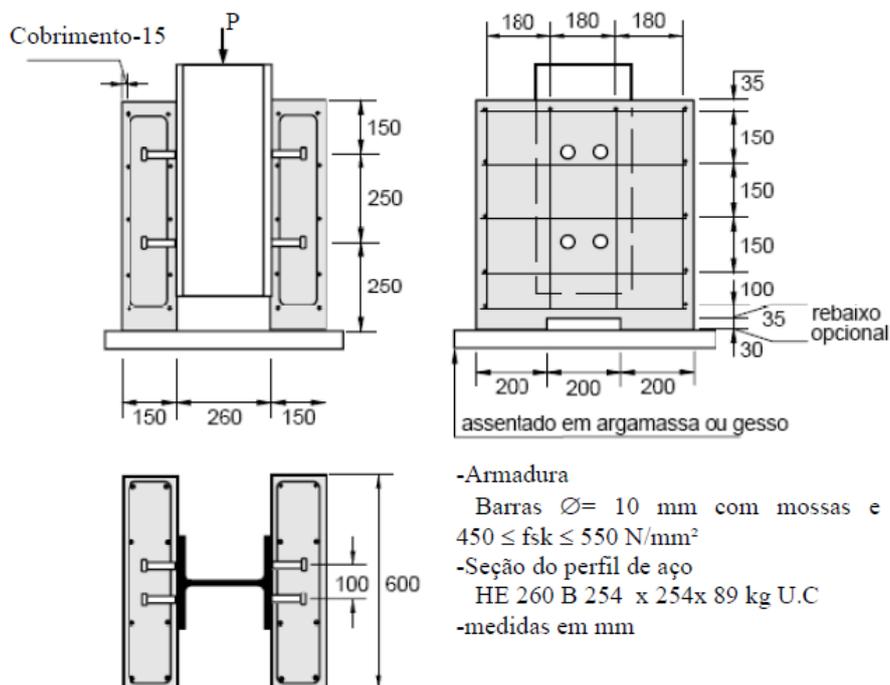


Figura 2.10 – Ensaio de *push-out* conforme a EN 1994-1-1:2004

A Figura 2.10 traz o detalhamento das armaduras das lajes, além de outras dimensões necessárias à fabricação dos modelos.

### **2.3.1 Preparação dos Modelos**

Na montagem do ensaio, os perfis devem receber na região de interface com o concreto alguma substância que elimine a aderência com o concreto, como a graxa, antes da concretagem. Na concretagem devem ser moldados 4 corpos de prova para cada lote de concreto, cilíndricos ou cúbicos, colocados do lado dos modelos e curados ao ar, para determinação da resistência à compressão do concreto. A ruptura dos corpos de prova deve ser feita à mesma época do ensaio *push-out*. A resistência  $f_{cm}$  será tomada como a média dos 4 corpos de prova, e deve ter valor de  $70\% \pm 10\%$  da resistência  $f_{ck}$  esperada.

### **2.3.2 Procedimento de Ensaio**

O procedimento de ensaio é dividido em três partes. Na primeira, a carga deve ser aplicada em incrementos enquanto são medidos os respectivos deslocamentos longitudinais relativos entre a laje e o perfil para cada um desses incrementos ou de forma contínua, até que se chegue a 40% da carga estimada de ruptura. Em seguida, deve-se aplicar a carga ciclicamente de 5% e 40% da carga de ruptura estimada, por 25 vezes, continuando a tomada das medidas de deslocamento longitudinal. Na última fase, deve-se levar o modelo à carga de ruptura em menos de 15 minutos, e continuar tomando as medidas até que se alivie a carga máxima de ruptura em 20%. Segundo Veríssimo (2007), isto é possível através de um ensaio com controle de deslocamentos, que permite monitorar a evolução do comportamento após o pico de força, uma vez que o ensaio com controle de força pode provocar a ruptura brusca do modelo após a carga máxima.

### **2.3.3 Avaliação do Ensaio**

A norma estabelece que para três modelos nominalmente idênticos ensaiados, caso nenhum resultado individual exceda em mais de 10% a média dos resultados de todos os testes, a resistência para dimensionamento pode ser tomada como:

$$P_{Rd} = \frac{f_u}{f_{ut}} \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

em que:

$P_{Rk}$  é a resistência característica, tomada como a menor carga de ruptura dentre as amostras, dividido pelo número de conectores e reduzido em 10%;

$f_u$  é a mínima resistência última especificada para o material do conector;

$f_{ut}$  é a resistência última do material do conector empregado no teste obtida por ensaio;

$\gamma_V$  é o fator parcial de segurança (o valor recomendado é de 1,25).

Caso se exceda o limite de 10% do desvio padrão, mais três testes devem ser feitos.

A capacidade de deslizamento de um modelo, denominada  $\delta_u$ , deve ser tomada como o deslizamento medido para a carga  $P_{Rk}$ , ou seja, a carga máxima reduzida em 10%. A capacidade de deslizamento característica  $\delta_{uk}$  é, por sua vez,  $\delta_u$  reduzida em 10%.

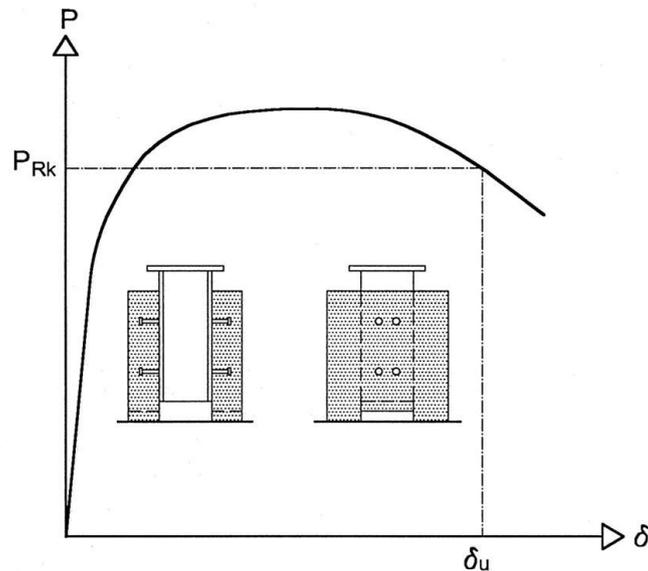


Figura 2.11 – Determinação da capacidade de deslizamento (EN 1994-1-1:2004)

Segundo a norma, o conector pode ser considerado dúctil caso sua capacidade de deslizamento característica  $\delta_{uk}$  seja superior a 6,0 mm. Esta classificação é importante uma vez que a norma permite que seja considerado o comportamento plástico ideal somente para conectores dúcteis, que possuem capacidade de deformação suficiente para comportarem-se desta maneira.

## 2.4 CONECTORES DE CISALHAMENTO

Desde o primeiro conector de cisalhamento proposto na Suíça, diversos modelos têm sido testados por pesquisadores. Buscou-se aqui fazer um levantamento sucinto de algumas das principais soluções surgidas até a presente data.

### 2.4.1 Conector *Stud Bolt*

O conector stud bolt, ou pino com cabeça, como também é conhecido no Brasil, é o mais largamente utilizado pela indústria da construção hoje (Mahdi et al, 2012). O próprio pino do conector atua como o eletrodo de solda por arco elétrico em sua base. A cabeça, com diâmetro no mínimo 1,5 vezes maior que o corpo (Johnson, 1994), tem o propósito de resistir ao uplift (separação vertical entre o perfil e a laje).



Figura 2.12 – Fixação de conector *stud* sobre deck metálico (Cruz et al, 2006)

As principais vantagens do conector são: alta velocidade de soldagem; boa ancoragem no concreto; facilidade de disposição da armadura da laje e facilidade de produção em grande escala (Mahdi et al, 2012).

Dentre as desvantagens trazidas por este conector está o fato de a pistola de solda específica para o *stud bolt* demandar um gerador próprio, com potência de 225 kVA. Veríssimo (2007) destaca que a própria pistola de solda tem um alto custo de aquisição, e que o gerador e a necessidade de boa infra-estrutura de energia no canteiro de obras oneram o projeto, podendo até mesmo inviabilizá-lo.

Além disso, o *stud bolt* é um conector flexível, não sendo recomendado para situações onde a sobrecarga de utilização (variável) represente grande parcela do carregamento total, o que leva ao comprometimento do sistema misto por conta da fadiga (Cruz et al, 2006). Mahdi et al (2012), dizem ser desaconselhável o emprego deste conector em conjunto com concretos classe C30 ou superiores, por que a resistência destes passa a ser governada pela resistência da seção transversal do stud.



Figura 2.13 – Fonte e pistola para solda do conector *stud bolt*  
(fonte: <http://www.valoc.net/#!/page2/zoom/cjg9/imageoz9>)

A norma brasileira NBR 8800:2008 determina em seu item O.4.2.1.1 que o dimensionamento do conector *stud bolt*, denominado pino com cabeça, seja tomado como o menor valor dentre as equações:

$$Q_{Rd} = \frac{1}{2} \frac{A_{cs} \sqrt{f_{ck} E_c}}{\gamma_{cs}} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

e

$$Q_{Rd} = \frac{R_g R_p A_{cs} f_{ucs}}{\gamma_{cs}} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Em que:

$Q_{Rd}$  é a resistência do conector;

$A_{cs}$  é a seção transversal do conector;

$f_{ucs}$  é a resistência à ruptura do aço do conector;

$E_c$  é o módulo de elasticidade do concreto;

$R_g$  é um coeficiente para consideração do efeito de atuação de grupos de conectores, dado em O.4.2.1.2;

$R_p$  é um coeficiente para consideração da posição do conector, dado em O.4.2.1.3.

A norma europeia EN 1994-1-1:2004, por sua vez, define a resistência para consideração deste conector em projeto em seu item 6.6.3.1, conforme as equações

$$P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot d^2 / 4}{\gamma_v} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

$$P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} \quad (\text{Eq. 2.7})$$

Em que:

$f_u$  é a resistência de ruptura do aço do conector stud bolt;

$d$  é o diâmetro do corpo do conector stud bolt;

$\gamma_v$  é o fator parcial de segurança (o valor recomendado é de 1,25);

$\alpha$  fator de forma que depende da razão entre a altura nominal do stud bolt e o seu diâmetro ' $d$ ';

$f_{ck}$  resistência característica à compressão do corpo de prova cilíndrico do concreto empregado;

$E_{cm}$  módulo de elasticidade secante do concreto empregado.

#### 2.4.2 Conector 'U' e Conector 'V'

O conector U é obtido de pedaços de perfis 'U' ou 'C', dispostos com o plano da alma perpendicular ao eixo da viga. Este conector possui baixa inércia em relação a direção da força cisalhante devido a pequena espessura da sua alma, o que o caracteriza como um conector flexível, mais suscetível a deformações que o conector *stud*. A área de contato entre o conector e o concreto da laje é consideravelmente maior do que para o *stud bolt*, o que leva a uma melhor distribuição de tensões no concreto (Cavalcante, 2010).

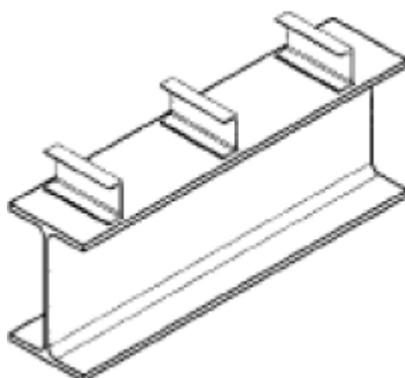


Figura 2.14 – Conector 'U' (Vianna, 2009)

Veríssimo (2007) aponta três desvantagens do conector 'U': dificuldade de acomodamento do comprimento necessário do conector em sistemas de pré-laje (sistema no qual elementos pré-fabricados da laje se apoiam sobre a viga antes da concretagem); incompatibilidade com sistema de forma metálica incorporada; e baixa produtividade em campo.



Figura 2.15 – Conector ‘U’ soldado às vigas em um canteiro de obras (Kirchof, 2004)

Buscando melhorar a alta ductilidade do conector ‘U’, mantendo sua vantagem sobre o conector tipo *stud bolt*, quanto a distribuição de tensões no concreto, Cavalcante (2010) propôs o conector ‘V’, fabricado a partir do conector ‘U’. A alteração da disposição da alma do conector, plana para o conector ‘U’, para um formato de ‘V’ aumentou consideravelmente o momento de inércia da peça. O processo para obtenção do perfil ‘V’ testado em laboratório e simulado numericamente está ilustrado na Figura 2.16.

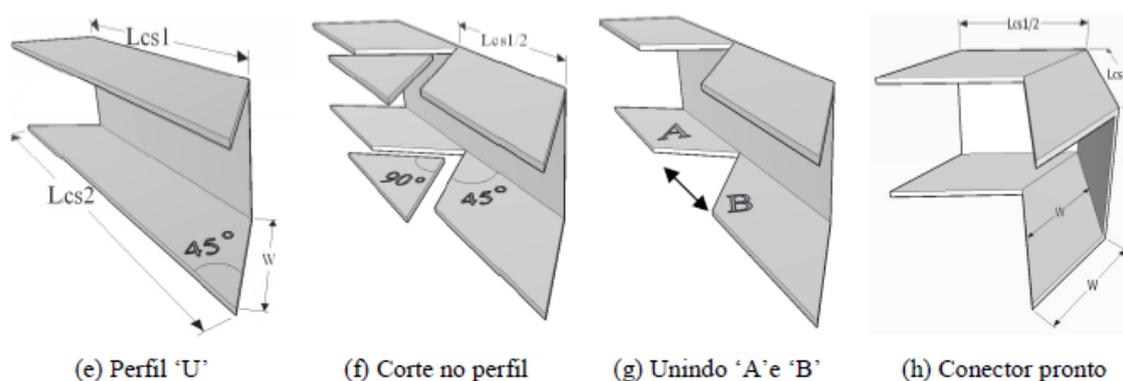


Figura 2.16 – Processo de corte e dobra para obtenção de conector ‘V’ a partir de conector ‘U’ (Cavalcante, 2010)

Os resultados mostraram que o conector ‘V’ tem menor deslizamento e deslocamento vertical (uplift), melhor distribuição de tensões no concreto e permite escolha de espessura menor do flange do perfil metálico em relação ao stud.

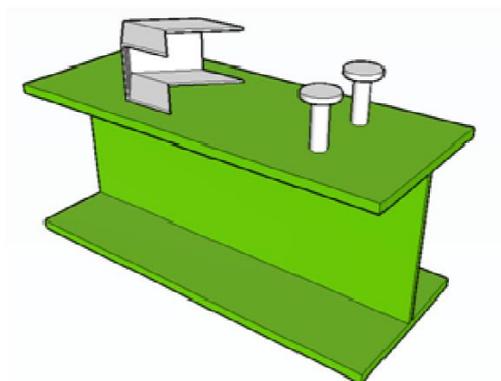


Figura 2.17 – Disposição do conector ‘V’ e dos *studs* sobre o perfil, comparados por Cavalcante (Cavalcante, 2010)

### 2.4.3 Conectores Perfobond, Crestbond, T-Rib, ‘T’ e Similares

O conector Perfobond foi concebido em 1987 pela empresa Leonhardt, Andra and Partners. A motivação para sua criação foi o comportamento insatisfatório dos conectores stud à fadiga em pontes, onde a carga variável é mais relevante (Leonhardt et al, 1987 apud Mahdi et al, 2012). O conector consiste de uma chapa de aço com furos soldada ao perfil metálico e tem comportamento mais rígido.

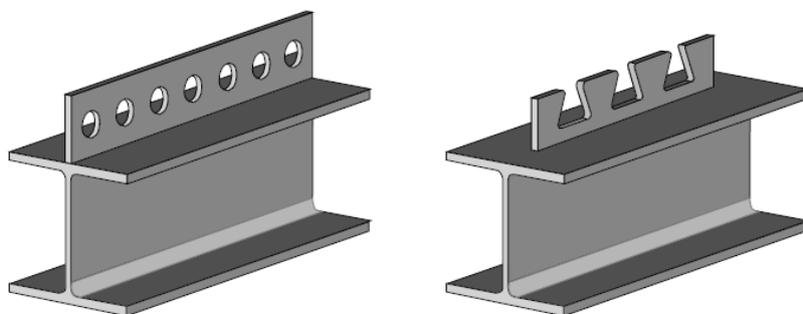


Figura 2.18 – Conectores Perfobond e Crestbond (Cruz *et al*, 2006)

O conector Crestbond é uma variação do Perfobond, em que os furos são abertos para facilitar a montagem da armadura da laje. Proposto por Veríssimo, este, assim como o Perfobond, tem sua resistência e ductilidade influenciadas pela resistência do concreto e pela armadura dentro ou próxima aos furos (Leonhardt, 1987 e Oguejiofor e Hosain, 1994 apud Veríssimo et al, 2006). Segundo Veríssimo et al (2006), ambos o Perfobond e o Crestbond apresentam boa capacidade de retenção de carga após o pico, sendo que para

dimensões semelhantes, o Crestbond suporta uma carga um pouco menor que o Perfobond, mas se apresenta maior ductilidade na ruptura.

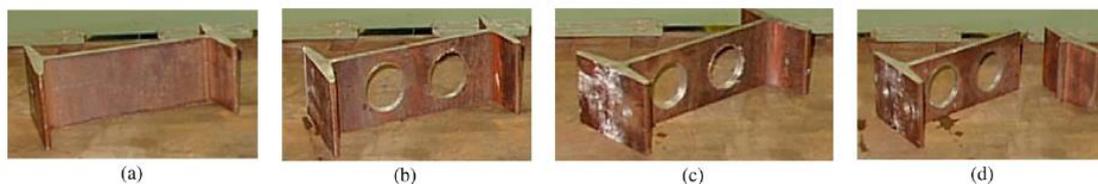


Figura 2.19 – Processo para obtenção do conector T-Rib (Velasco et al., 2007)

Velasco et al. (2007) propuseram um conector tipo Perfobond, mas com uma flange com plano perpendicular ao eixo do perfil metálico, denominado T-Rib ou T-Perfobond, que visa transferir melhor as forças advindas de momento negativo de vigas em balanço no aço de reforço para as mesas da coluna (o hogging moment).

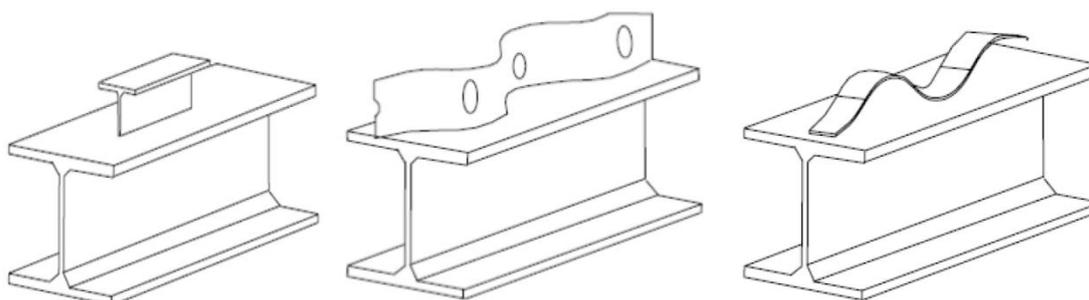


Figura 2.20 – Variações de conectores ensaiados por GALJAARD e WALRAVEN (2001) (Mahdi *et al* 2012)

Galjaard e Walraven (2001) afirmam ser impraticável o emprego do conector stud para concretos de alta resistência, e por isso, ensaiaram diversos modelos diferenciados: o conector ‘T’; o oscillating Perfobondstrip (Perfobond oscilante); e o Waveform Strip (tira ondulada), obtendo bons resultados para concreto de alta resistência. Segundo Rodera (2008), o Perfobond oscilante, não tem bom comportamento para concretos de resistência regular por que apresenta rápida queda de resistência após pico de carga. Mahdi et al (2012), criticam o conector de tira ondulada por sua difícil soldagem. O conector ‘T’,

segundo Rodera (2008), apresenta resistência equivalente a do Perfobond, mas maior ductilidade.

#### 2.4.4 Conectores Horizontais

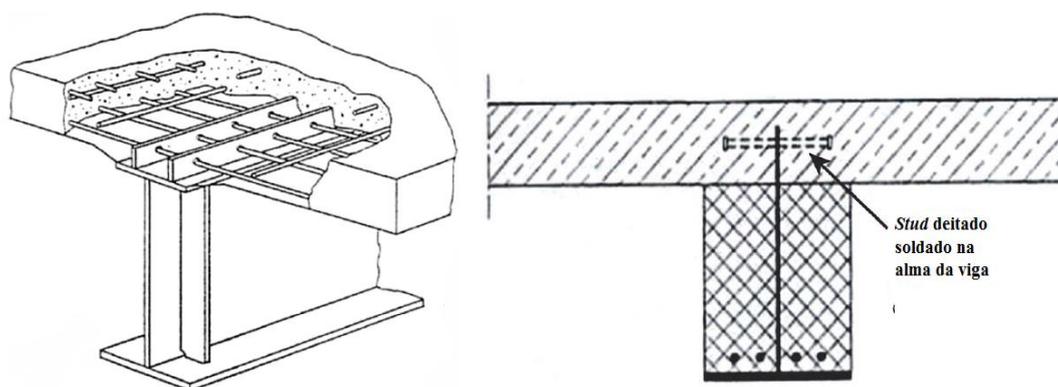


Figura 2.21 – Conector de barras horizontais e conector de *stud bolts* deitados (Nishimura *et al*, 1971; e Kuhlman e Kürchner, 2001 e Breuninger, 2001 *apud* Jurkiewiez e Hottier, 2005)

O conector horizontal tem sido pouco desenvolvido, de acordo com Jurkiewiez e Hottier (2005). Os autores comentam que Nishimura *et al* (1971) propuseram um que consistia em barras que passavam por buracos de uma placa com furos soldada a mesa da viga e que veio a dar origem, com o trabalho de Kraus e Wurzer (1997), a sistemas tipo Perfobond. Segundo eles, Kuhlman e Kürchner (2001) e Breuninger (2001) desenvolveram estudos, em seguida, acerca de sistema de *stud bolts* soldados diretamente, na horizontal, à alma dos perfis metálicos subtraídos de sua mesa superior.

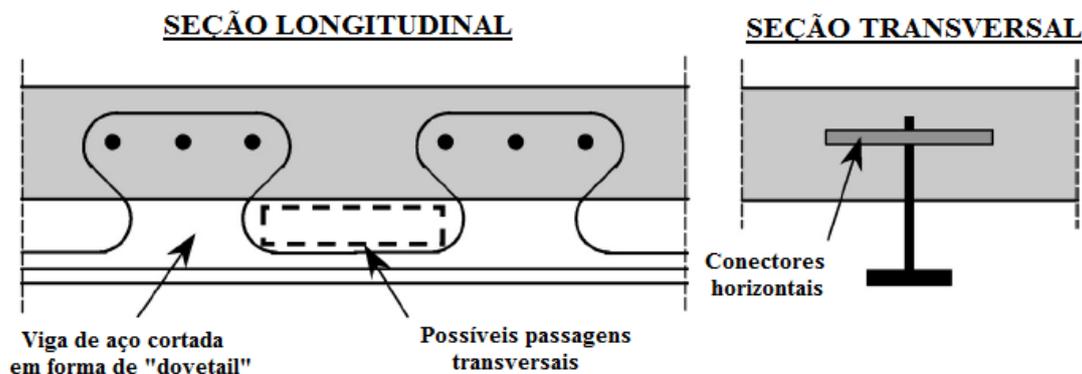


Figura 2.22 – Conector de barras horizontais soldados à alma de perfil metálico recortado em forma de “*dovetail*” (Hottier *et al* 2002 *apud* Jurkiewiez e Hottier, 2005)

Com o intuito de evitar a soldagem dos conectores, que pode vir a ser um ponto fraco da viga mista quando solicitada a carregamentos cíclicos, Hottier *et al* (2002) apud Jurkiewicz e Hottier (2005) estudaram um modelo em que se retira a mesa superior do perfil metálico, e realiza-se um recorte em forma de “*dovetail*”, conforme a Figura 2.22. Por estes recortes são passadas barras de aço, horizontalmente.

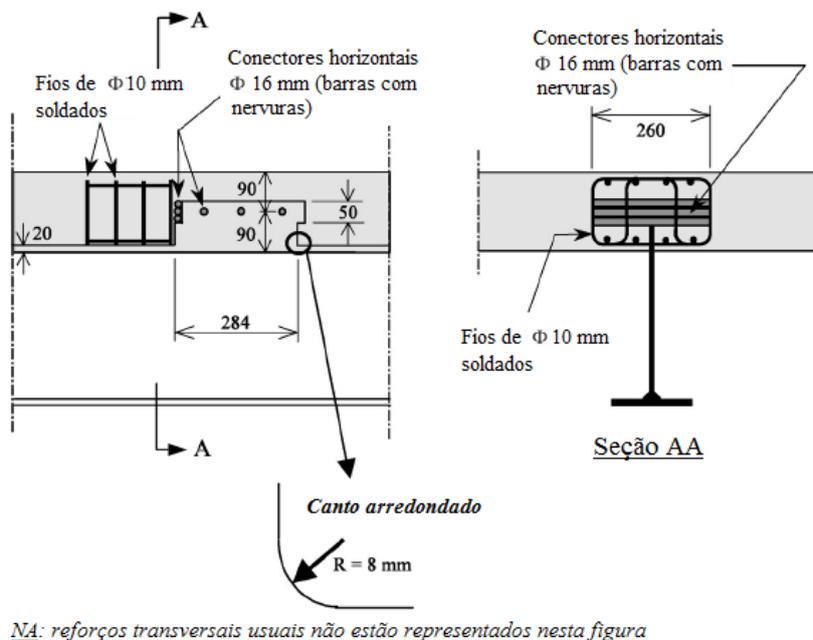


Figura 2.23 – Conector de barras horizontais soldados a alma recortada do perfil metálico (Jurkiewicz e Hottier, 2005)

Jurkiewicz e Hottier (2005) estudaram um conector horizontal composto por barras de aço com nervura soldados a alma recortada do perfil metálico, que é inserido na laje de concreto. O perfil tem sua mesa superior retirada anteriormente. Uma malha de fios soldados é posicionada antes do conector propriamente dito. As vigas ensaiadas se romperam por formação de rótula plástica na viga, e não por falha nos conectores. O deslizamento e o uplift tiveram valores máximos de 1,8 mm e 70  $\mu$ m na ruptura, o que é muito baixo.

### 2.4.5 Conector Piramidal

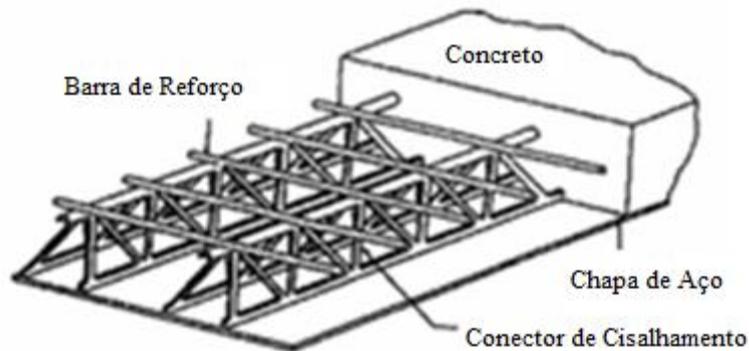


Figura 2.24 – Conector piramidal (Lee e Han, 1998)

Lee e Han (1998) estudaram o conector piramidal para vigas compostas de chapa de aço e laje de concreto solicitadas a fadiga, por ser este o maior empecilho para seu uso em pontes. Os autores propuseram uma formulação analítica que prevê com boa precisão a resistência do conector, e constataram que a ruptura à fadiga das vigas ensaiadas, com 2 milhões de ciclos de carga, se deu na chapa de aço e no conector.

### 2.4.6 Conectores não Soldados

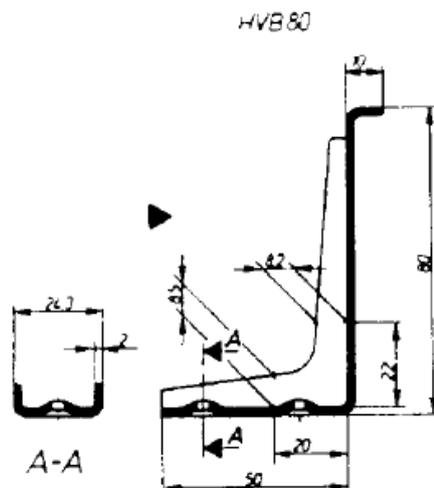


Figura 2.25 – Conector não soldado Hilti (Crisinel 1990)

O conector não soldado da empresa Hilti, ensaiado pela primeira vez em 1983 por Crisinel, foi desenvolvido visando superar dificuldades na soldagem do *stud bolt* e de suprimento de energia elétrica reportadas em canteiros de obra. Este conector é fixado por ferramenta acionada a pólvora. O resultado dos ensaios em vigas e de *push-out* permitem afirmar que o comportamento é muito similar ao do *stud bolt*, embora tenha que ser empregado em maior número para compensar seu menor peso.

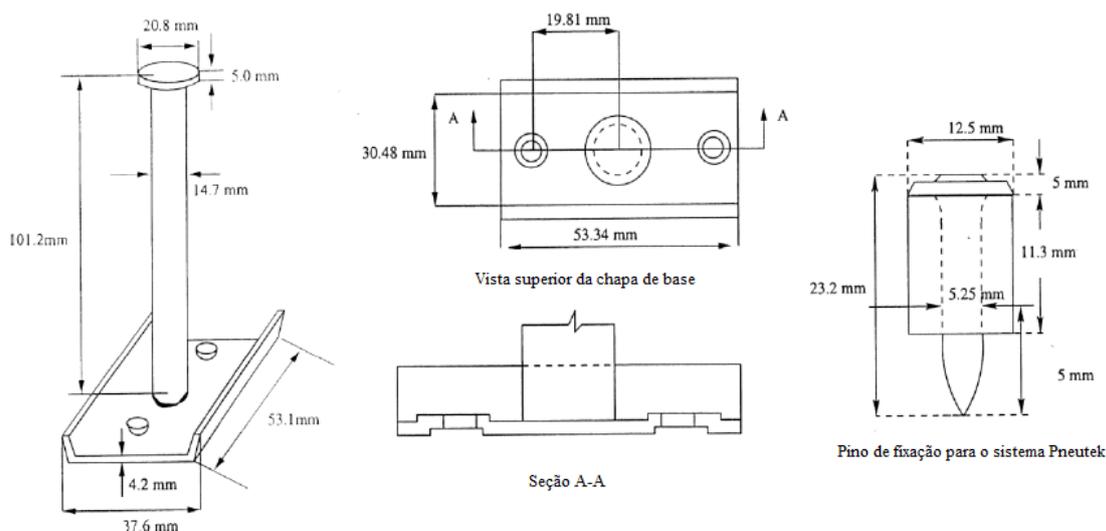


Figura 2.26 – Conector não soldado (Tahir *et al*, 2009)

Tahir et al (2009) ensaiou um conector semelhante ao *stud bolt* fixado por pinos e fabricado pela primeira vez pela empresa Pneutek, em Hudson, E.U.A, em 1971. Sua velocidade de fixação é de 5 a 10 vezes maior que a do *stud bolt* tradicional. Os ensaios em escala real mostraram que a resistência do sistema é comprometida por fraturas surgidas nos conectores antes do escoamento do seu aço, e os autores sugerem aumento da resistência e tamanho do pino e da sua base.

#### 2.4.7 Conexão por Aderência

A aderência entre o perfil metálico e a laje de concreto é desprezada no dimensionamento dos conectores de cisalhamento. De acordo com Bouzaoui et al, (2008), foram feitos ensaios a partir da década de 60 para fazer a conexão somente por aderência, mas os materiais disponíveis não eram adequados. Estes autores realizaram ensaios em vigas com

vão de 8,5 m, com camada de adesivo de 4 mm de espessura juntando o perfil a uma laje de concreto de alta resistência pré-moldada. Embora a ruptura tenha sido na interface aço-concreto, a solução se mostrou viável, com deslizamento entre as partes muito baixo. Bons resultados também foram obtidos por Jurkiewicz et al, (2008), que ensaiaram, com 3 mm de adesivo do tipo epóxi com areia de sílica, um *push-out* e 2 vigas de tamanho real, além de fazer uma análise numérica por elementos finitos.

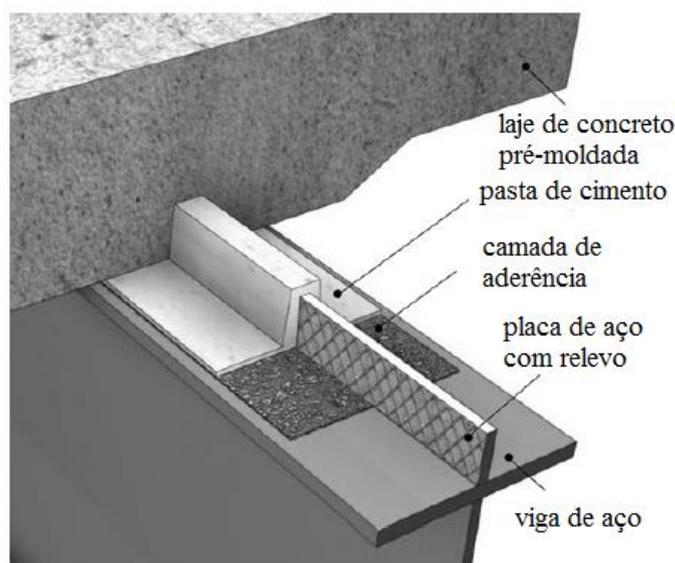


Figura 2.27 – Conexão por aderência (Thomann e Lebet, 2008)

Uma conexão mais elaborada foi proposta anteriormente por Thomann e Lebet (2008), e consiste numa chapa de aço com relevo soldada ao perfil metálico que recebe os pedaços da laje pré-moldada com um corte para encaixe sobre a chapa. Este encaixe deixa uma folga, posteriormente preenchida com uma pasta de cimento sobre uma camada de aderência de epóxi com areia grossa. Essa solução se mostrou praticável, de acordo com os ensaios realizados, e sua vantagem é a rapidez de execução que traria para o campo, compensando um custo mais elevado.

## 2.5 ESFORÇOS ATUANTES NO CONECTOR *STUD*

O conector stud é o conector mais amplamente estudado na literatura, e os esforços que surgem nele servem de base para uma melhor compreensão de todo o mecanismo de

distribuição de tensões em uma viga mista. Lawson (1992) apresenta um modelo para o conector *stud*, em que considera uma força de cisalhamento e uma distribuição de tensões normais na face do conector, ilustrado na Figura 2.28 (a).

O modelo de Oehlers (1992) é mais complexo, com a atuação de uma força normal, uma de cisalhamento e um momento fletor, conforme a Figura 2.28 (b). Este modelo permite um raciocínio interessante quanto aos modos de ruptura. Nele, atua uma força de cisalhamento  $F_{sh}$  na interface entre o perfil e a laje, e a sua reação atua a uma altura ‘Z’ entre a própria superfície de contato e o meio do pino, a depender da relação entre os módulos de elasticidade do concreto ( $E_C$ ) e do aço do conector ( $E_A$ ). Se  $E_C \gg E_A$ , então ‘Z’ é zero, e a parcela resistente  $F_{sh}$  atua na superfície de contato, caso contrário, isto é,  $E_A \gg E_C$ , ‘Z’ tende a ter valor igual a metade da altura do pino. O momento ‘ $M_{sh}$ ’ é equilibrado por essa reação resistente multiplicada por ‘Z’. A zona de compressão triaxial é delimitada pelas dimensões indicadas no desenho como  $f(h_a)$ , que são função da altura efetiva do conector ‘ $h_a$ ’, que segundo Tristão (2002), é dado por  $h_a = 1,8 \times \varphi$ , sendo  $\varphi$  o diâmetro do conector. Esta zona é situada diretamente à frente do conector.

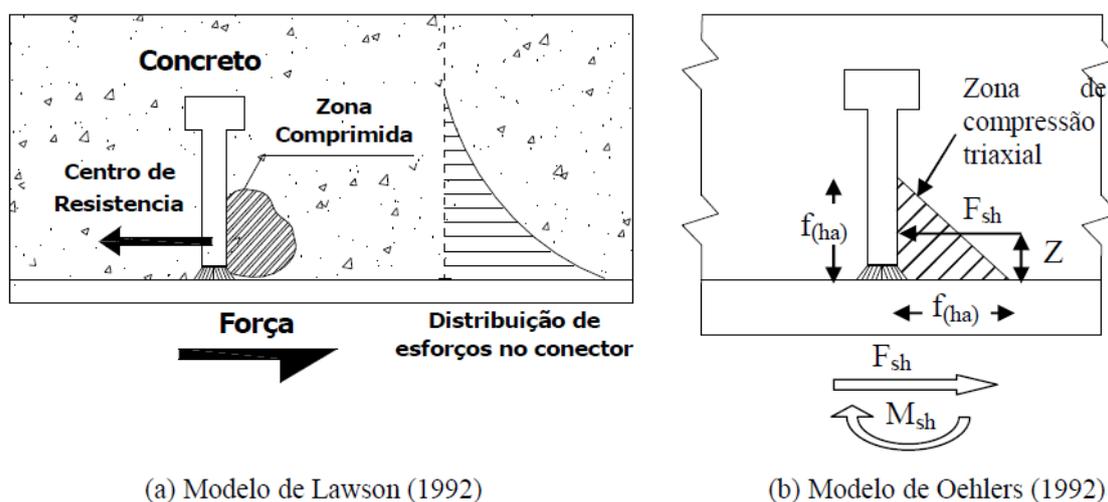


Figura 2.28 – Modelos de distribuição de tensões para o conector *stud* (Cavalcante, 2010)

Os mecanismos de ruptura para o modelo de Oehlers (1992), segundo o autor, podem ser dois. O primeiro acontece quando ocorre a ruína do concreto antes da plastificação do conector. O concreto fissurado, então, perde rigidez, o que aumenta ‘Z’, incorrendo num aumento do momento ‘ $M_{sh}$ ’, o que leva a grandes deformações permanentes do conector,

ou até mesmo a sua ruptura. O outro caso seria a perda de rigidez do conector antes de alguma ruptura do concreto, o que reduziria 'Z', e portanto, o momento ' $M_{sh}$ '. A zona de compressão triaxial também diminui, até a fissuração do concreto, que desencadeia o processo descrito anteriormente.

### 3. CONCEPÇÃO DO CONECTOR TRELIÇADO E ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

O conector de cisalhamento proposto foi testado em laboratório por ensaios *push-out*, sendo que estes ensaios de *push-out* foram simulados previamente pelo método dos elementos finitos através do programa ANSYS 11.0. O modelo numérico foi baseado no procedimento adotado por Cavalcante (2010), que por sua vez se baseou no estudo numérico de Tristão (2002), calibrado para ensaios *push-out* feitos por Kalfas et al (1997), obtendo resultados muito próximos aos experimentais.

#### 3.1 CONECTOR DE CISALHAMENTO TRELIÇADO

O conector proposto consiste num vergalhão de aço para concreto armado CA-50 dobrado num formato triangular, conforme ilustra a figura 2.25.



Figura 3.1 – Foto do conector dobrado, com régua de 30 cm para escala.

A intenção foi obter um conector análogo ao *stud bolt*, tendo, para tanto, uma parte vertical em sua disposição geométrica, posicionado no lugar onde estaria o *stud bolt*. Desta haste vertical que remete ao próprio *stud bolt*, parte, no entanto, um reforço diagonal, dobrado a partir da mesma barra, com o ângulo de  $45^\circ$  e com o menor raio de dobramento possível, para que o comportamento se assemelhasse tanto quanto o possível ao de uma treliça. Para isso, foi feito um gabarito montado a partir de recortes de barras de 25 mm de diâmetro soldados a uma chapa, conforme mostra a Figura 3.2.

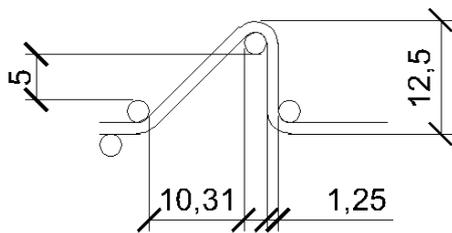


Figura 3.2 – Gabarito para a dobra do conector para aço de 12,5mm de diâmetro (medidas em cm)

Sob a dobra de 45° foram soldados recortes de barra de aço CA-50 com 40 mm de comprimento para ajudar a combater o uplift, assim como a cabeça do *stud bolt*. Deve-se ressaltar que, na aplicação rotineira deste conector, é prevista uma barra transversal, o que garantirá uma completa interação do conector com a laje. A ligação do conector com o perfil metálico foi feita com solda de filete nos trechos horizontais anterior e posterior ao triângulo, paralelos ao eixo do perfil.

Este conector, após idealizado, foi simulado primeiramente por modelo numérico do ensaio de *push-out* padronizado pelo Eurocode EN 1994-1-1:2004, através do método dos elementos finitos, para que se pudesse examinar seu potencial. A partir dos resultados desta simulação, decidiu-se então prosseguir com o estudo do conector treliçado, que se mostrou promissor. Estes resultados estão dispostos a seguir, no item 3.2.5.

O conector treliçado foi idealizado como uma peça contínua, dobrada de uma única vez a partir de um vergalhão, originando consideráveis comprimentos de conector. No entanto, para atender a um padrão de precisão no posicionamento dos conectores satisfatório para um ensaio controlado em laboratório, optou-se por separá-los. Cada triângulo foi fixado, portanto, de forma independente dos demais. A Figura 3.3 ilustra a separação dos conectores, além do esquema de montagem do ensaio de *push-out*.

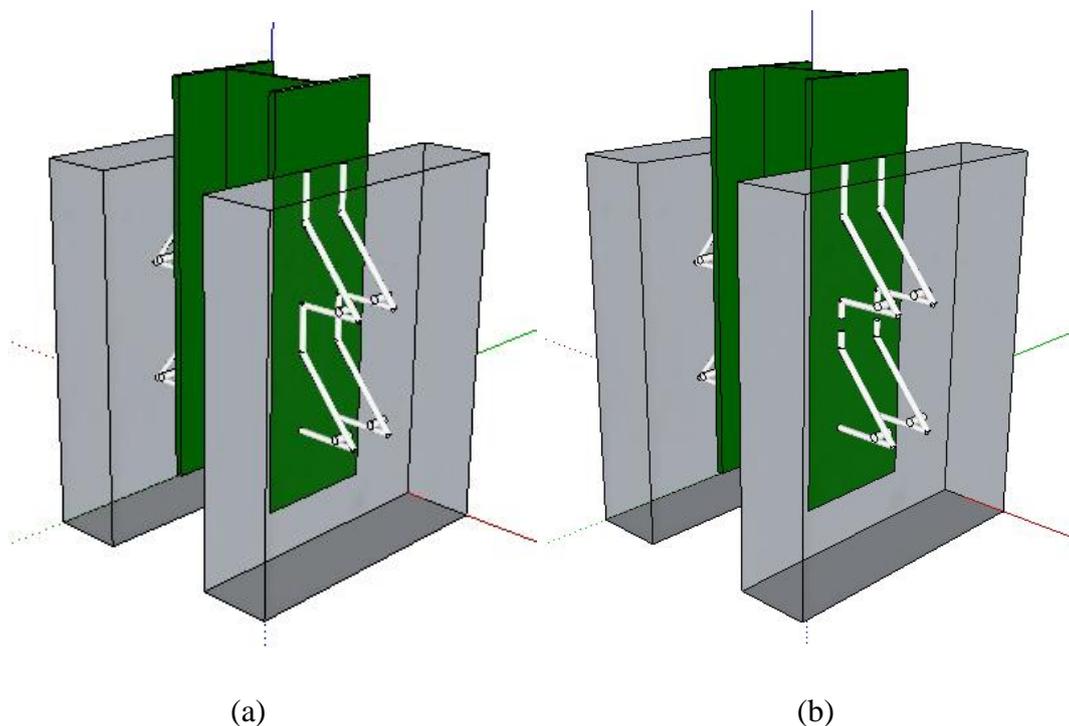


Figura 3.3 – Conectores treliçados no ensaio de *push-out*. a) Conectores enfileirados contíguos (provenientes da dobra de uma mesma barra de aço). b) Conectores enfileirados independentes, conforme executado experimentalmente.

### 3.2 MODELAGEM NUMÉRICA

A análise numérica realizada simulou o próprio ensaio de *push-out*. Os modelos foram desenvolvidos pelo método dos elementos finitos e foram calibrados a partir dos ensaios experimentais do trabalho de Cavalcante (2010). Este foi baseado inicialmente no trabalho de Tristão (2002), em que são aplicados elementos sólidos tetraédricos para a laje de concreto e o perfil metálico. Para o conector de cisalhamento e a armadura do concreto serão empregados os mesmos elementos adotados por Kotinda (2006): elementos de viga e barra, respectivamente. Toda análise foi desenvolvida através do software ANSYS v.11.

Buscou-se realizar, nesta análise, uma comparação com o *stud bolt*, uma vez que é o conector mais amplamente utilizado na indústria. Assim, foram feitos 4 modelos, a partir da calibração realizada. Um com os conectores *stud bolt*, para referência, e os outros três

com o conector treliçado, variando-se a bitola do aço CA-50 dobrado, com 10mm, 12,5mm e 16mm de diâmetro.

O modelo simula o ensaio *push-out*, e foi feito antes dos ensaios experimentais, justamente para prover dados que os orientassem. No ensaio de *push-out*, são ensaiados 8 conectores, sendo 4 dispostos em 2 fileiras em cada flange do perfil (em cada laje). Na modelagem numérica, tomou-se proveito do plano de simetria perpendicular ao plano da alma, modelando-se assim, metade do ensaio experimental, o que contribui para a diminuição do número de elementos finitos e conseqüentemente para o melhor processamento e convergência do modelo.

Quanto a malha dos elementos finitos, buscou-se refiná-la nas regiões próximas aos conectores, obtendo resultados mais refinados nestas regiões e mantendo o esforço computacional necessário mais baixo.

Este modelo em elementos finitos foi calibrado com base nos ensaios de *push-out* do conector stud desenvolvido por Cavalcante (2010).

### 3.2.1 Elementos Finitos Adotados

O perfil metálico foi simulado com o elemento finito SOLID45. O elemento tem a capacidade de simular plasticidade, fluência, inchamento, enrijecimento por tensionamento, altas deflexões e grandes deformações. São até 8 nós (I, J, K, L, M, N, O e P) com conectividade, conforme mostra a Figura 3.4, e 3 graus de liberdade relativos as translações nas 3 direções ortogonais.

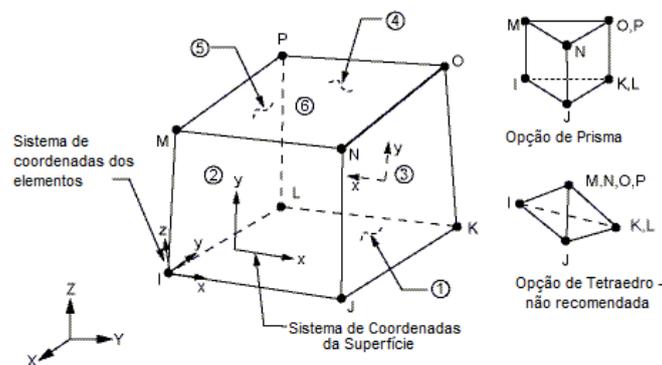


Figura 3.4 – Elemento finito SOLID45 (adaptado do ANSYS v.11).

O concreto da laje foi modelado através de elementos do tipo SOLID65. Este elemento tridimensional é similar ao SOLID45, conforme ilustra a Figura 3.5, com a diferença de que simula a fissuração nas 3 direções ortogonais e o esmagamento na compressão. Além disso, permite a simulação de propriedades não-lineares dos materiais, a deformação plástica e a fluência.

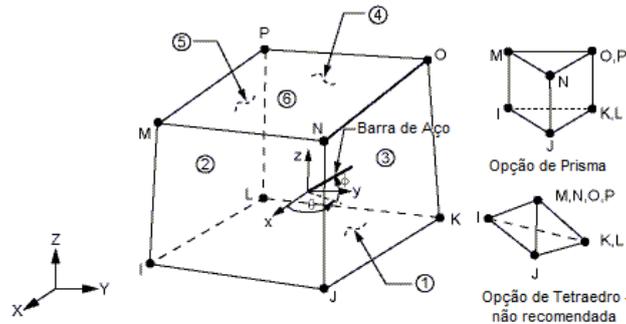


Figura 3.5 – Elemento finito SOLID65 (adaptado do ANSYS v.11).

Os conectores foram simulados com o elemento BEAM189, sendo cada segmento de reta do conector (a haste vertical e a diagonal) dividida em dois elementos. O BEAM189 é indicado para análise de vigas esbeltas a moderadamente curtas, é baseado na teoria de vigas de Timoshenko e considera efeitos de deformação por cisalhamento. O elemento possui 3 nós I, J, K (com um quarto nó L opcional para definição da orientação do elemento) e 6 graus de liberdade por nó, referentes às translações e rotações nas 3 direções, conforme a Figura 3.6.

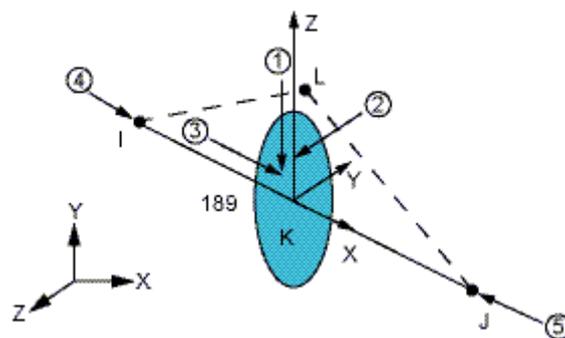


Figura 3.6 – Elemento finito BEAM189 (adaptado do ANSYS v.11).

O contato entre o conector e o concreto da laje foi simulado através de elementos finitos específicos para este propósito, uma vez que esta interação torna o modelo complexo e mais propenso a não convergir.

Para este contato foi adotada a ligação do tipo rígido-flexível e superfície-superfície. Neste tipo de contato, o concreto foi considerado rígido e o aço flexível. O elemento aplicado na superfície flexível (o aço) é o elemento de “contato” enquanto o elemento sobre a superfície rígida (o concreto) é identificado como “alvo”, conforme ilustrado na Figura 3.7. As normais destes elementos devem estar orientadas em sentidos opostos.

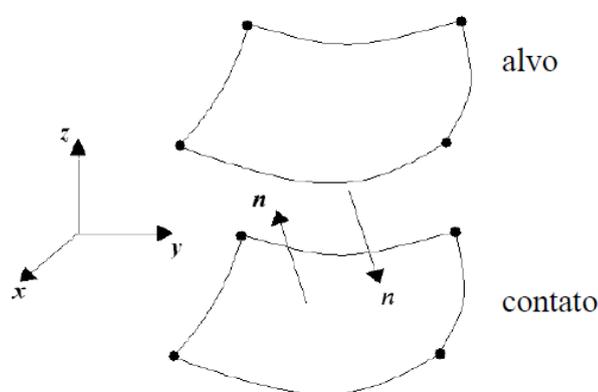


Figura 3.7 – Sentido das normais dos elementos de superfície utilizados para descrever o contato entre o aço dos conectores e o concreto da laje. (Cavalcante, 2010)

Os elementos finitos utilizados no programa ANSYS v.11 foram o CONTAT173, para os elementos de “contato”, ou seja o aço, e o TARGE170 para os elementos “alvo”, o concreto. Os dois elementos, ilustrados na Figura 3.8, são associados através do Coeficiente de Rigidez Normal (FKN), como mostra a Figura 3.9.

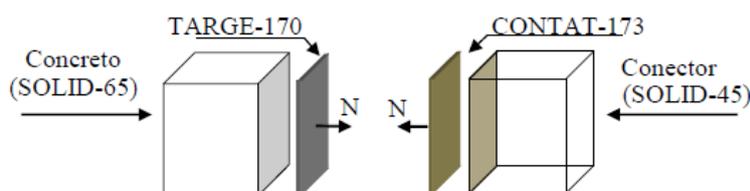


Figura 3.8 – Elementos finitos de contato, conforme empregados no modelo numérico. (Cavalcante, 2010)

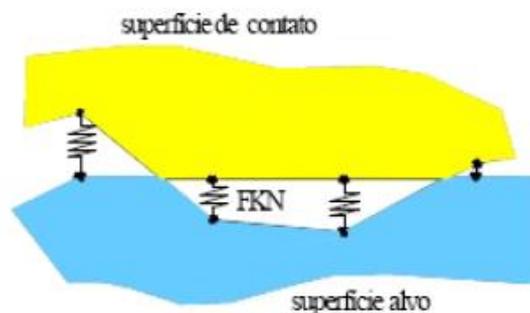


Figura 3.9 – Constante de Rigidez Normal FKN dos elementos de contato e a penetração entre eles (Barbosa, 2010)

O Coeficiente de Rigidez Normal (FKN) é uma constante utilizada pelo software para determinar a rigidez à penetração ou separação entre materiais, através da Equação 3.1.:

$$R_{final} = FKN \cdot R_{est} \quad (\text{Eq. 3.1})$$

Em que:

$R_{final}$  é a rigidez final de cálculo;

$R_{est}$  é a rigidez estimada pelo Ansys através das características do material.

O software admite valores de FKN entre 0,01 e 1. Valores altos da rigidez podem causar problemas de convergência e por isso é geralmente recomendado que se obtenha um valor relativamente baixo que produza pequenas penetrações. Neste trabalho, porém, foi possível empregar FKN de 1, por tentativa e erro, com o intuito de produzir penetração máxima da ordem de 0,1mm entre o perfil metálico e a laje de concreto.

### 3.2.2 Calibração do Modelo Numérico do *Stud Bolt* com Resultados Experimentais e Critérios para a Análise Não-Linear

Para garantir a validade do modelo numérico do conector treliçado, foi feita uma calibração comparando-se o modelo numérico que simula o ensaio de *push-out* do *stud bolt* diretamente com os ensaios experimentais do próprio *stud bolt*, ambos desenvolvidos por Cavalcante (2010). A Figura 3.10 ilustra este modelo em elementos finitos,

empregado na calibração e, por consequência, como base para os critérios de modelagem numérica do próprio conector proposto neste trabalho. O modelo numérico foi desenvolvido em documento de texto do tipo “.txt”, na linguagem de programação do programa ANSYS e está disposto na íntegra no Anexo A. O modelo foi elaborado com uma malha com elementos grandes, especialmente no perfil metálico, para auxiliar na convergência do modelo, diminuindo o esforço computacional.

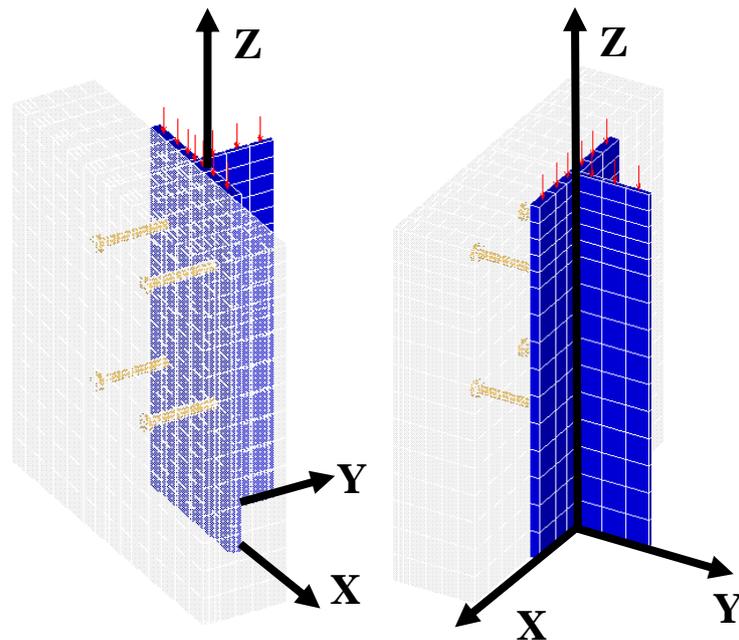


Figura 3.10 – Modelo em elementos finitos utilizado para a calibração com o ensaio experimental do conector *stud*.

No processo de calibração, foi dada ênfase ao deslocamento relativo do perfil em relação à laje, que é o resultado principal do ensaio *push-out*, pois permite a caracterização do conector de forma adequada. A Figura 3.11 dispõe os resultados satisfatórios da calibração do modelo em elementos finitos que utiliza os dados experimentais do conector referência, o *stud*, obtidos por Cavalcante (2010).

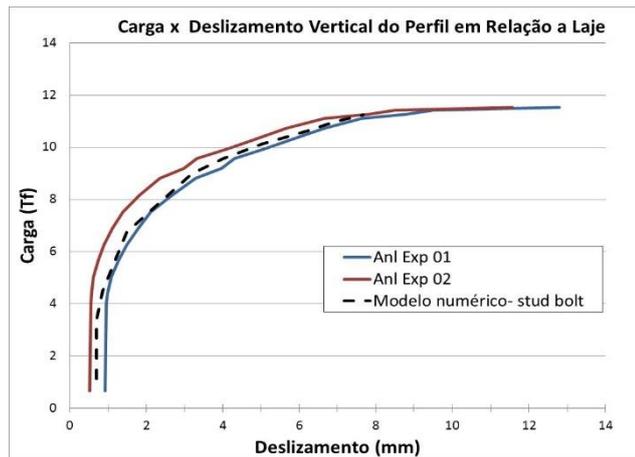


Figura 3.11 – Resultado da calibração para o deslocamento vertical do perfil.

A partir desta calibração, foram extraídos os parâmetros para a análise do conector treliçado quanto ao deslizamento vertical em relação à laje e à distribuição de tensões no conector e no perfil metálico. Estes resultados e os resultados do experimento de *push-out* serão comparados para que se possa fazer uma avaliação satisfatória da empregabilidade do conector proposto neste trabalho.

O primeiro resultado da calibragem foi a eliminação das capacidades de fissuramento e esmagamento do concreto, que eram permitidos pelo elemento finito SOLID65, mas que não permitiam uma boa conformidade das curvas comparando aos ensaios experimentais.

Para simular a resposta do concreto no programa, alternativamente, foi inserido um gráfico de tensão-deformação com base nos resultados experimentais de caracterização realizados por Cavalcante (2010), especificamente o módulo de elasticidade e as resistências a compressão para diferentes dias. O gráfico resultante, inserido na programação do modelo está na Figura 3.12 – Curva de caracterização do comportamento estrutural do concreto das lajes do ensaio *push-out* conforme considerado no modelo numérico. Figura 3.12.

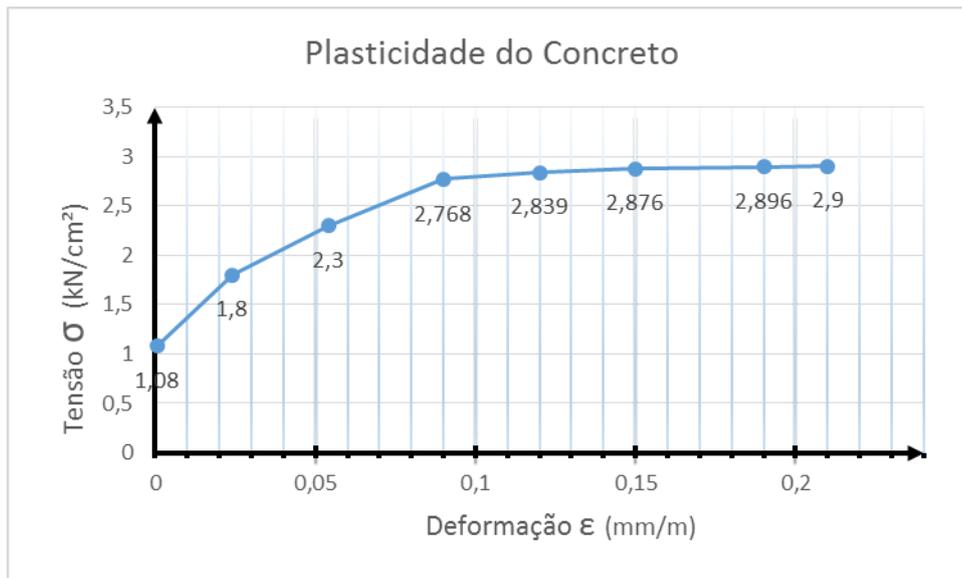


Figura 3.12 – Curva de caracterização do comportamento estrutural do concreto das lajes do ensaio *push-out* conforme considerado no modelo numérico.

Outro resultado da calibragem foi a obtenção do valor do Coeficiente de Rigidez Normal (FKN), considerado como 1. Este valor resultou em uma limitação da penetração da laje de concreto no perfil metálico na porção superior do modelo e do afastamento entre os mesmos na porção inferior de 0,1mm, conforme o objetivo.

As características não-lineares do aço do perfil metálico também foram ajustadas através do modelo de calibração, resultando no gráfico de tensão por deformação da Figura 3.13. O aço do perfil foi caracterizado de forma simplificada por não ser este o foco da análise e pelo fato de o perfil ter pouca influência sobre o modelo. Assim, facilita-se também a convergência e otimiza-se a modelagem. A curva apresenta um comportamento elasto-plástico com endurecimento.

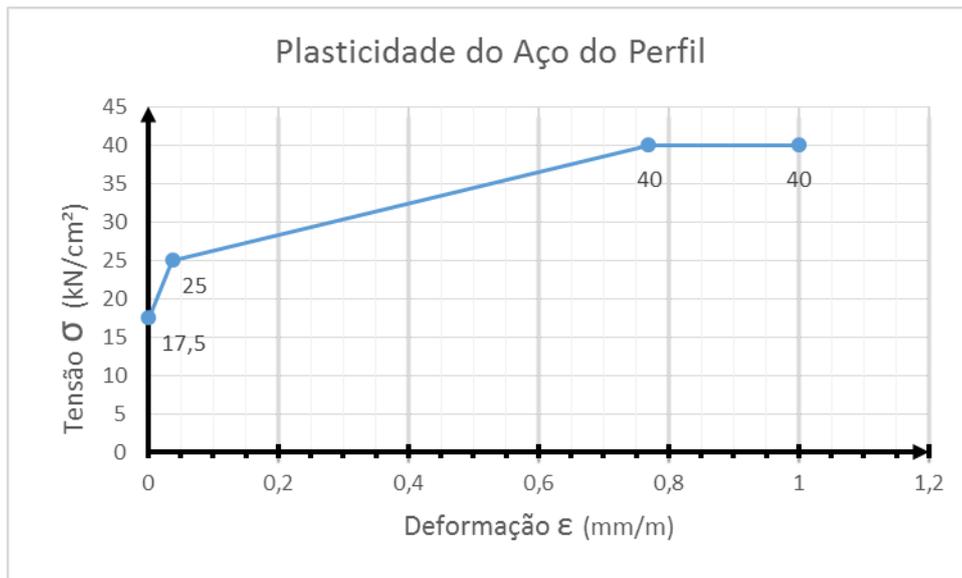


Figura 3.13 – Curva de caracterização do comportamento estrutural do aço do perfil do ensaio *push-out* conforme considerado, de maneira simplificada, no modelo numérico.

A caracterização dos aços do *stud bolt* e do conector treliçado também serviram como base para a entrada de suas características nos modelos numéricos, mas de forma direta, com a entrada dos próprios gráficos dos ensaios experimentais no modelo. A curva da Figura 3.14 traz o resultado do ensaio de caracterização do aço do conector *stud bolt*. A partir desta curva foi configurada a entrada de dados da não-linearidade para o modelo numérico de calibragem.

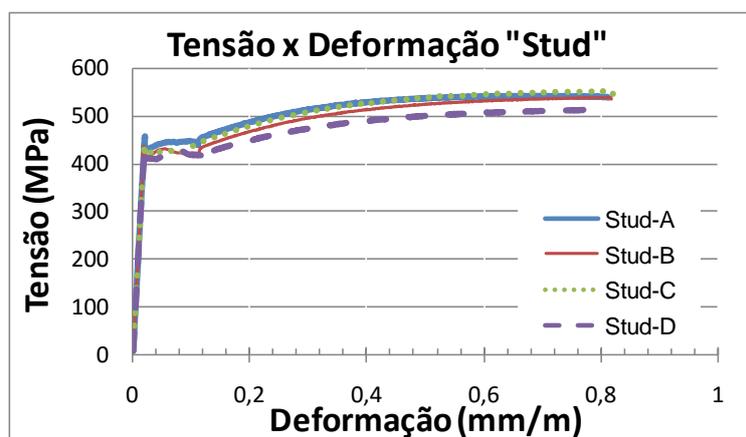


Figura 3.14 – Curva de tensão por deformação obtidas por Cavalcante (2010) para o *stud bolt* em ensaio de tração direta, utilizada como base para o modelo numérico de calibragem.

O aço do conector treliçado é o mesmo aço da armadura, vergalhão classe CA-50, e foi descrito com base na curva tensão deformação da Figura 3.15, obtida do ensaio de caracterização de barras por tração direta.

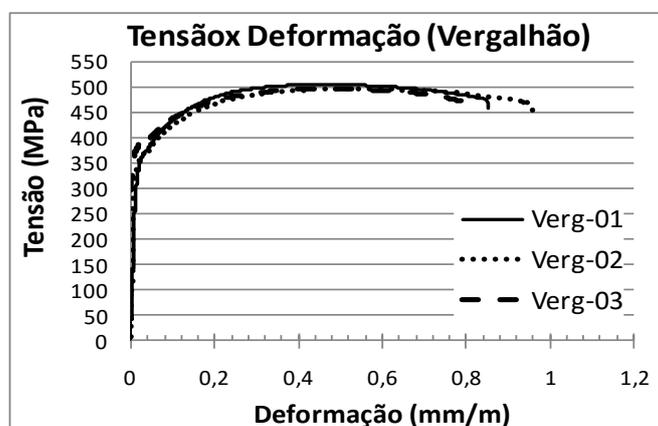


Figura 3.15 – Curva de tensão por deformação obtidas por Cavalcante (2010) para o aço CA-50 em ensaio de tração direta, utilizada como base para o modelo numérico.

### 3.2.3 Modelo Numérico do Conector Treliçado

O modelo em elementos finitos para o conector treliçado, ilustrado na Figura 3.16, foi desenvolvido com base no modelo do *stud bolt*, utilizado na calibração. Mudou-se o mínimo de características possível, visando manter a boa correlação com o modelo calibrador. Assim como o modelo de *stud bolt*, o modelo do conector treliçado foi desenvolvido em arquivo de texto do tipo “.txt” e está publicado na íntegra no Anexo A.

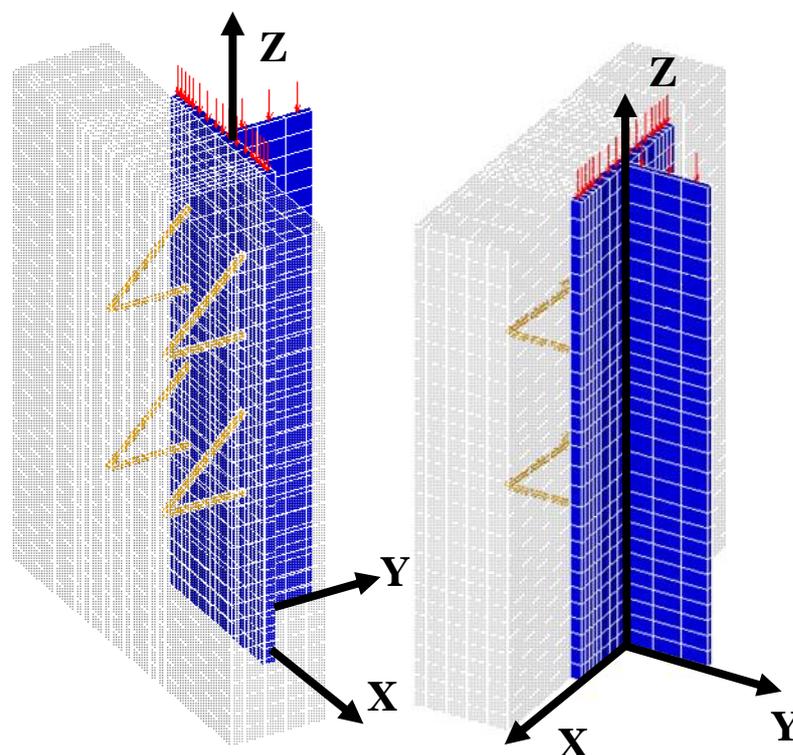


Figura 3.16 – Modelo em elementos finitos do ensaio *push-out* para o conector treçado e orientação dos eixos de coordenadas.

### 3.2.4 Acoplamentos/Vínculos entre Elementos, Condições de Contorno e Aplicação de Cargas

Os conectores ligam-se ao perfil por meio de interação total, onde a base do conector compartilha o mesmo nó do perfil metálico. A ligação entre os conectores e as lajes é descrita com nós coincidentes, mas não comuns, ou seja, possuem as mesmas coordenadas, mas são nós diferentes. Além disso, esses nós coincidentes foram conectados 100% nos eixos ‘Z’ e ‘X’, mas 0% no eixo ‘Y’.

As lajes e os perfis tampouco possuem nós comuns, no intuito de simular o efeito da não aderência no ensaio experimental. Para eliminar a interação entre a mesa do perfil e a laje de concreto no ensaio de laboratório foi adicionada graxa nesta interface. A graxa serve para eliminar o atrito entre o concreto e a mesa do perfil, o que prejudicaria a aferição da real conectividade provida pelo conector estudado. Entre estes materiais, no entanto, foram posicionados os elementos de contato, para limitar a penetração de um sobre o outro quando o modelo é carregado.

As posições de atuação das cargas sobre o modelo encontram-se ilustradas Figuras 3.10 e 3.16 pelas setas vermelhas no topo do perfil metálico. As Figuras 3.17 e 3.18 trazem as condições de apoio do sistema e as restrições nos acoplamentos entre materiais. Observa-se que os nós do corpo dos conectores e de seus apoios no perfil foram acoplados aos materiais a sua volta com restrições as translações em 'X' e 'Z'. Os nós dos topos dos conectores foram restringidos adicionalmente quanto a translação em 'Y', em seu acoplamento à laje de concreto, para simular a ancoragem provida, no caso do *stud bolt* pela cabeça do pino e no caso do conector treliçado pelo recorte de barra soldado sobre esta dobra para este fim. Os nós dos elementos do fundo da laje em contato com o “pisso” foram restringidos quanto as translações em 'X' e 'Z', como condição de contorno.

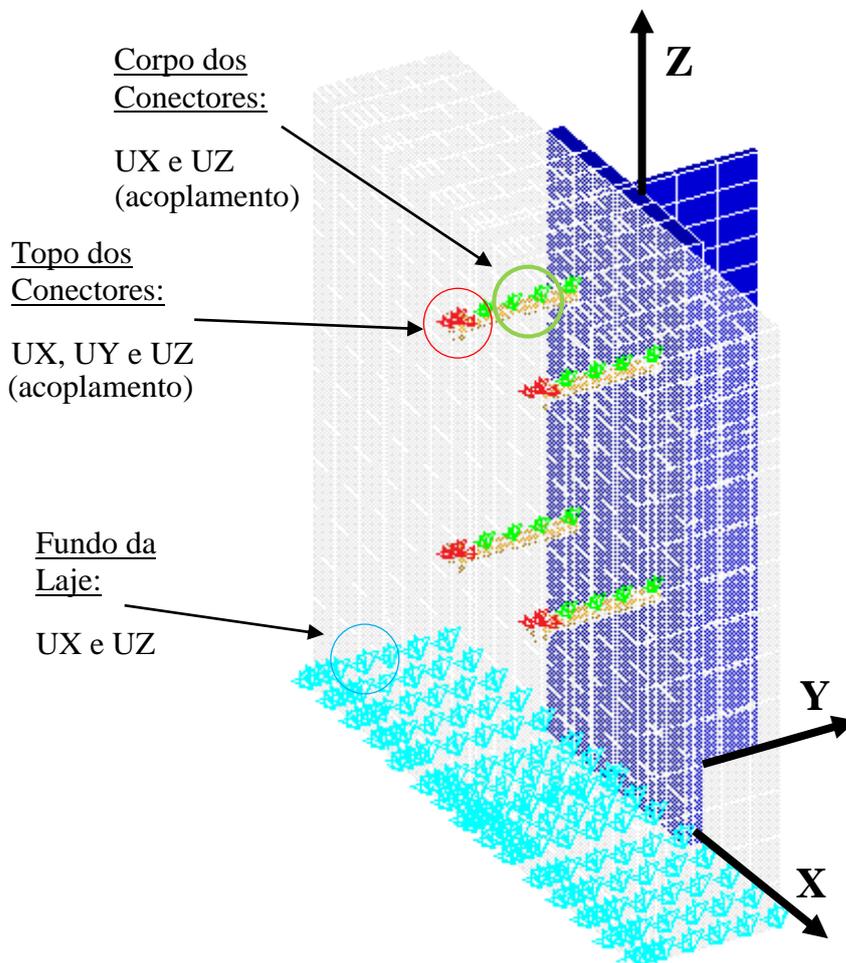


Figura 3.17 – Graus de liberdade restringidos para o modelo em elementos finitos do conector *stud bolt*.

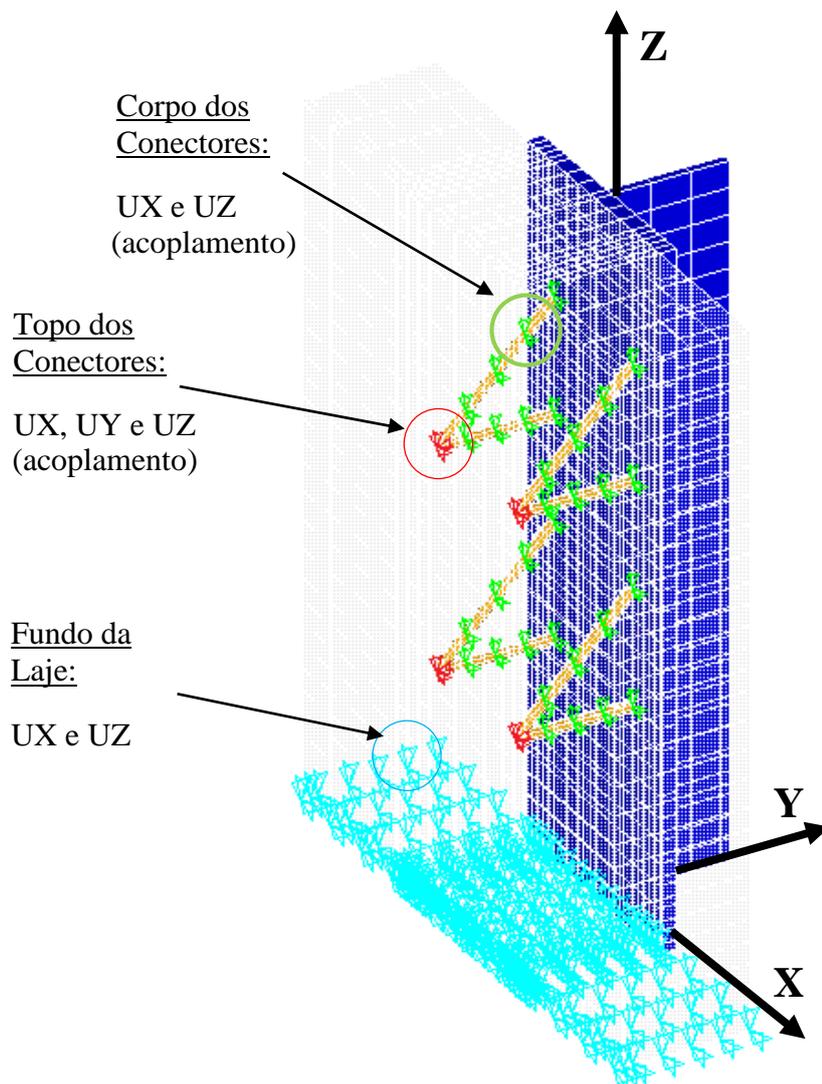


Figura 3.18 – Graus de liberdade restringidos para o modelo em elementos finitos do conector treliçado.

A Tabela 3.1, a seguir, contém um resumo das condições de contorno e de acoplamento dos modelos de elementos finitos.

Tabela 3.1 – Resumo das condições de contorno e restrições no acoplamento de elementos.

	Região do Nó	Restrição
Acoplamentos	Corpo dos Conectores	UX e UZ
	Topo dos Conectores	UX, UY e UZ
Condições de Contorno	Fundo da Laje	UX e UZ

Para configuração das cargas aplicadas aos modelos, foi utilizado o modo automático de incremento de cargas do ANSYS, com o incremento mínimo estabelecido em 1% e o máximo em 10% da carga final. A carga final do ensaio foi estabelecida em 50 tf. Esta carga foi calculada a partir da carga resistente esperada para cada conector individualmente, de 12 tf. Foram simulados 4 conectores, referentes à metade do modelo experimental de *push-out*, o que resultaria numa resistência final de 48 tf, e o valor foi arbitrado em 50 tf, com uma pequena margem de segurança. Neste sistema automático de incremento de cargas, baseado em método numérico de convergência de Newton-Raphson, o *software* aplica primeiramente o incremento máximo de 10%. Caso não haja convergência, a carga é reaplicada com novo incremento somado ao anterior, de metade do daquele, ou seja, de 5%, e assim sucessivamente, até que o passo seja aplicado com convergência bem sucedida do modelo, conforme a Figura 3.19. A partir deste ponto de convergência o mesmo procedimento é retomado iterativamente, até que se alcance a carga final de 50tf.

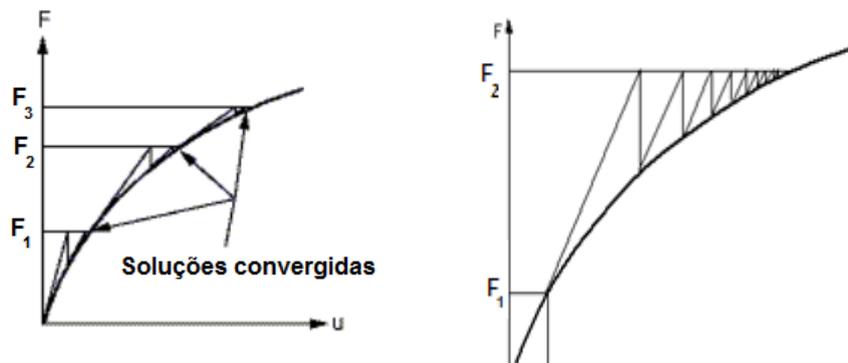


Figura 3.19 – Ilustrações do procedimento e passos de interação para convergência por Newton-Raphson extraídas e adaptadas do manual do software (ANSYS v.11), sendo

$F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  os passos de carga com convergência que constarão na curva final.

### 3.2.5 Resultados

A seguir estão dispostos os resultados das análises numéricas para as quatro variações nos conectores, a saber, o conector *stud bolt* e os conectores treliçados com bitolas de 10mm, 12,5mm e 16,0mm.

### 3.2.5.1 Deslizamento Vertical em Relação à Laje

O deslizamento vertical é das principais características a serem extraídas do ensaio de *push-out*, uma vez que permite avaliar a ductilidade do conector, além da sua capacidade de carga. A Figura 3.20 traz os resultados para o deslizamento vertical para todos os modelos simulados.

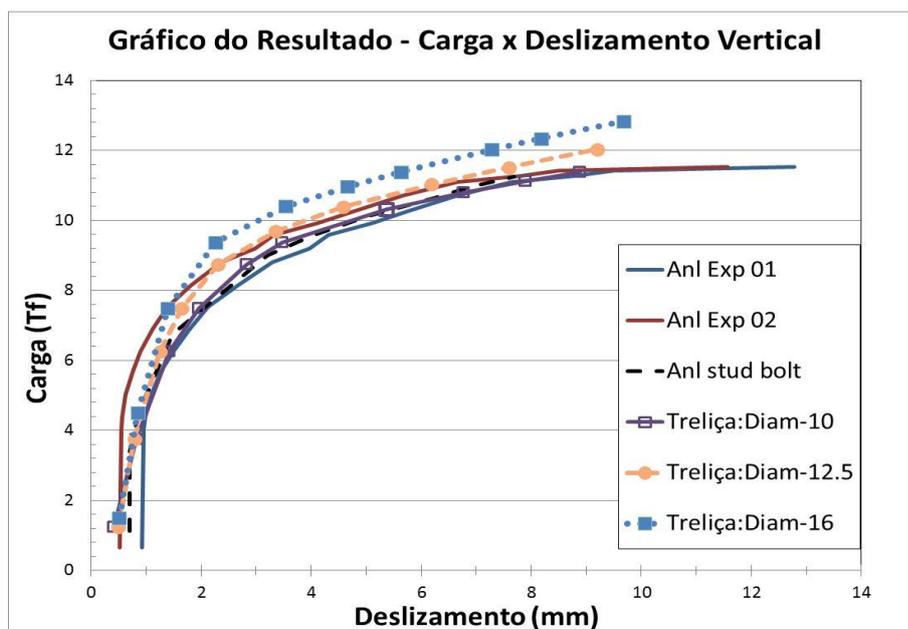


Figura 3.20 - Resultados de ensaios *push-out* experimentais do *stud bolt* realizados por Cavalcante (2010) e numéricos para o *stud bolt* e para os treliçados.

Analisando estes resultados é possível observar que o conector treliçado apresenta deslizamentos semelhantes ao *stud*. O conector treliçado de diâmetro 10,0 mm apresenta carga resistente final de 1,15% inferior ao *stud* com 11,522 tf de carga final por conector. A carga final dos conectores treliçados de 12,5 mm e 16,0 mm foi respectivamente 4,29%, 10,21% superior ao *stud*.

Estabelecendo uma análise mais criteriosa, com base na Figura 3.21, observa-se que o conector treliçado com diâmetro de 10 mm apresenta deslizamento semelhante ao modelo numérico do conector *stud* de 19 mm de diâmetro. O reforço proporcionado pela barra inclinada garante um maior desempenho do conector treliçado, permitindo uma maior ligação entre o perfil metálico e a laje de concreto. O conector treliçado permite uma redução considerável da seção transversal do conector.

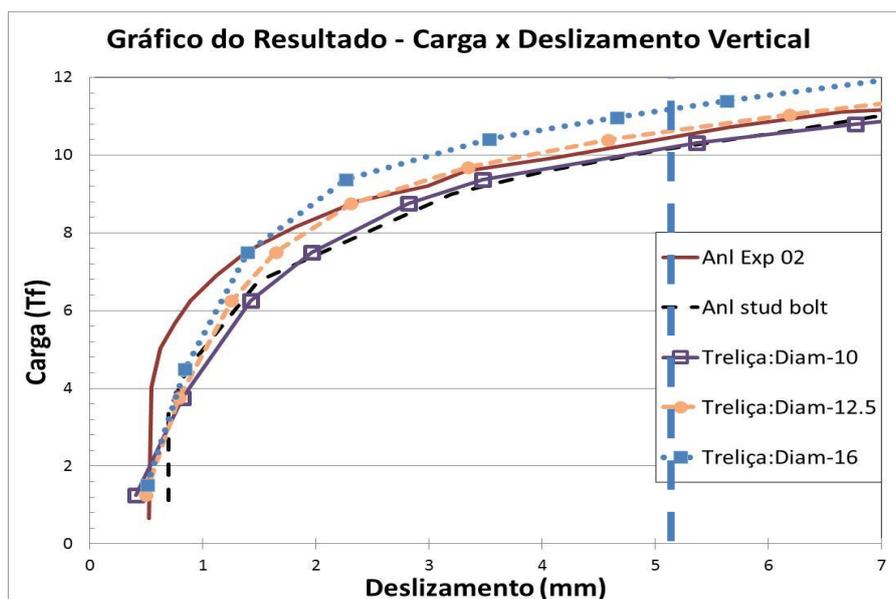


Figura 3.21 - Análise mais detalhada do conector treliçado e *stud*.

Arbitrando-se como referência um deslizamento de 5,0 mm, observa-se que a carga de ensaio para os conectores treliçados varia aproximadamente de 10,0 Tf a 11,2 tf para os conectores de 10,0 e 12,5 mm de diâmetro. Fixando a carga de ensaio em 10 tf o conector *stud* apresentou deslizamento em relação ao conector treliçado de aproximadamente 9 % e 29 % superior aos de diâmetro 12.5 mm e 16 mm, como está apresentado na Figura 3.21 e na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Verificação do conector *stud* e treliçado para uma carga de 10 tf.

Análise comparativa para uma carga de 10 tf por conector		
Conector	Carga (tf)	Deslizamento (mm)
Stud - Numérico	10,13	5,04
Treliçado: Diam-10 mm	10,31	5,37
Treliçado: Diam-12,5 mm	10,39	4,58
Treliçado: Diam-16 mm	10,41	3,54

A distribuição das tensões foi verificada tanto no perfil quanto no conector. Os conectores foram avaliados pela tensão equivalente de Von Mises. A distribuição das tensões foi averiguada para duas situações de carregamento. Na primeira situação para uma carga de aproximadamente 60% da carga final de ensaio (7,5 tf por conector). No segundo instante para carga máxima suportada pelo conector treliçado de 10,0 mm (11,2 Tf por conector).

### 3.2.5.2 Distribuição das Tensões no Perfil

No perfil metálico foi dada ênfase à mesa, onde foi verificada a distribuição de tensões na direção do eixo 'Z'. Através da Figura 3.22, verifica-se um comportamento semelhante, onde o par de conectores na parte frontal produz maior concentração de tensões na mesa do perfil, o que permite identificar que este par de conectores é o mais solicitado. A distribuição de tensões no perfil segue valores muito semelhantes para os conectores treliçados.

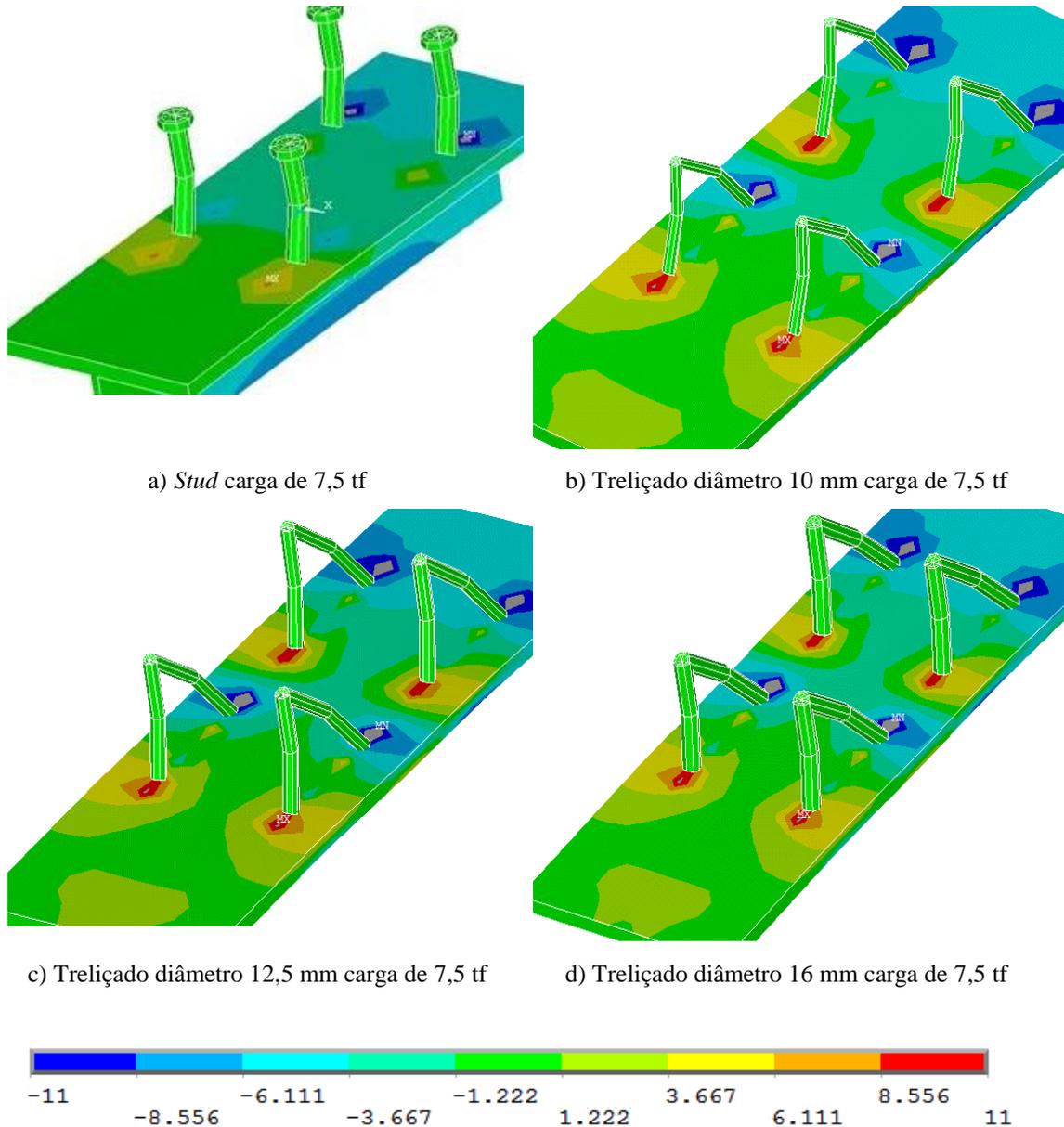


Figura 3.22- Distribuição de tensões (kN/cm<sup>2</sup>) no sentido de 'Uz' para 7,5 tf por conector, com a compressão arbitrada com sinal negativo.

O conector *stud* apresentou menores concentrações de tensões no perfil, contudo apresentou maior deslizamento do perfil para este nível de carregamento, em comparação aos treliçados. Quanto maiores os deslizamentos do perfil, maiores serão as deformações dos conectores pois absorvem um maior percentual dos esforços solicitantes.

No segundo nível de carregamento, conforme Figura 3.23, os conectores treliçados aplicam maior nível de tensão no perfil. Os conectores com maiores diâmetros garantem maior inércia na ligação do perfil com a laje e maior transferência de esforços a mesa do perfil. O conector treliçado 10,0 mm apresentou pouco acréscimo de tensões na mesa do perfil, porém o deslizamento do perfil foi elevado em comparação com os demais conectores. Elevados níveis de deslizamento do perfil, implicam em maiores deformações e empenamentos do conector, que ocasionam uma redução do momento fletor atuante na base do conector e na mesa do perfil. Como resultado o conector absorve uma maior parcela do carregamento.

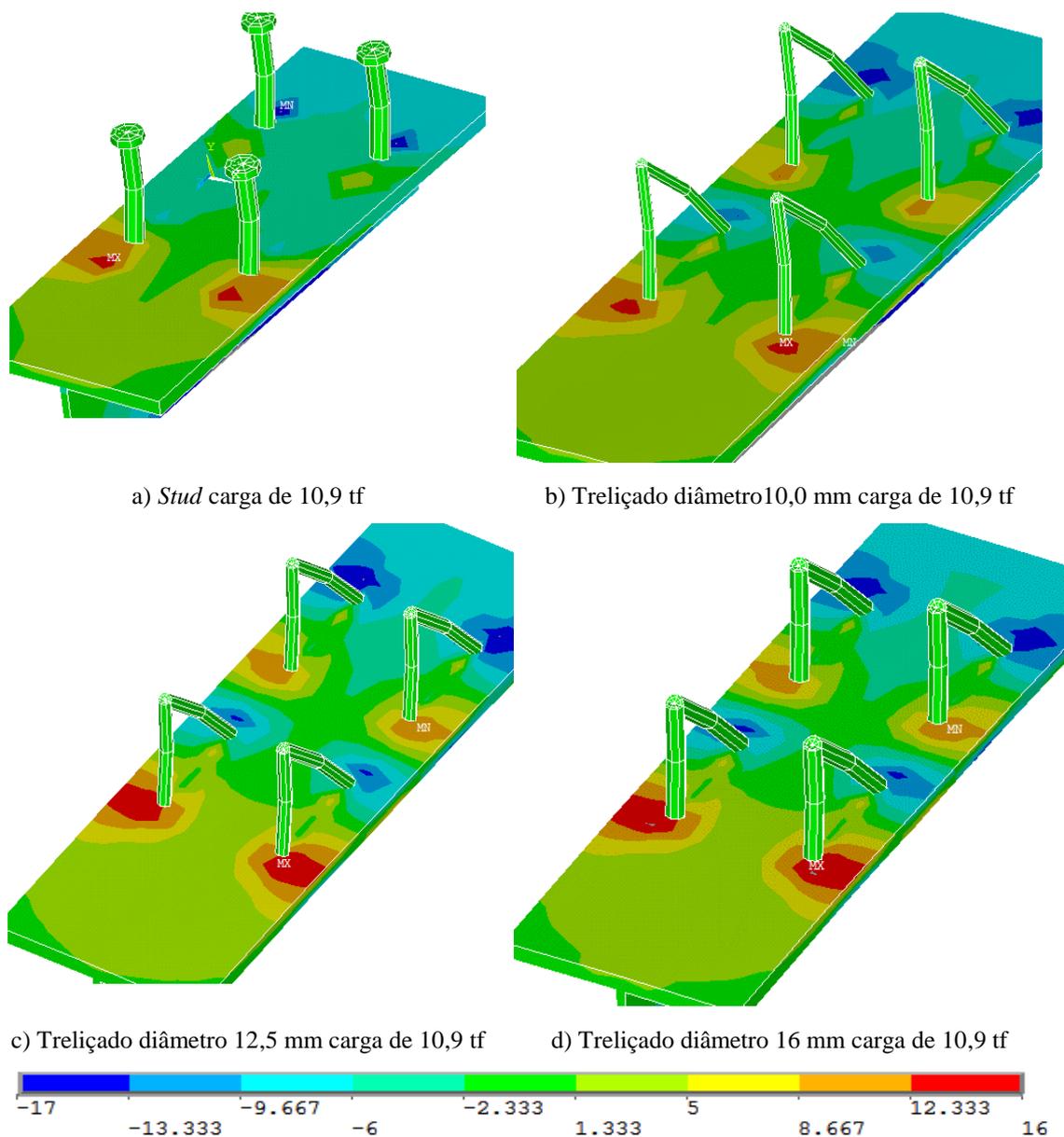


Figura 3.23- Distribuição de tensões (kN/cm<sup>2</sup>) no sentido de 'Uz' para 10,9 tf por conector, com a compressão arbitrada com sinal negativo.

### 3.2.5.3 Distribuição das Tensões nos Conectores

Na análise dos conectores em ambas as situações de carregamento foi observado que quanto menor o diâmetro do conector, maior é a concentração de tensões no conector, conforme as Figura 3.24 e Figura 3.25. Verifica-se também nestas figuras que quanto maior é o diâmetro do conector treliçado, maior é o nível de carregamento aplicado na mesa do perfil. Uma maior inércia na ligação perfil laje implica em um maior momento fletor atuante na mesa do perfil. Analisando a distribuição de tensões na mesa do perfil

para esta situação, observa-se que no conector treliçado os esforços se distribuem em uma maior área do que o conector *stud*, visto que o conector se apoia em dois pontos distintos na mesa do perfil.

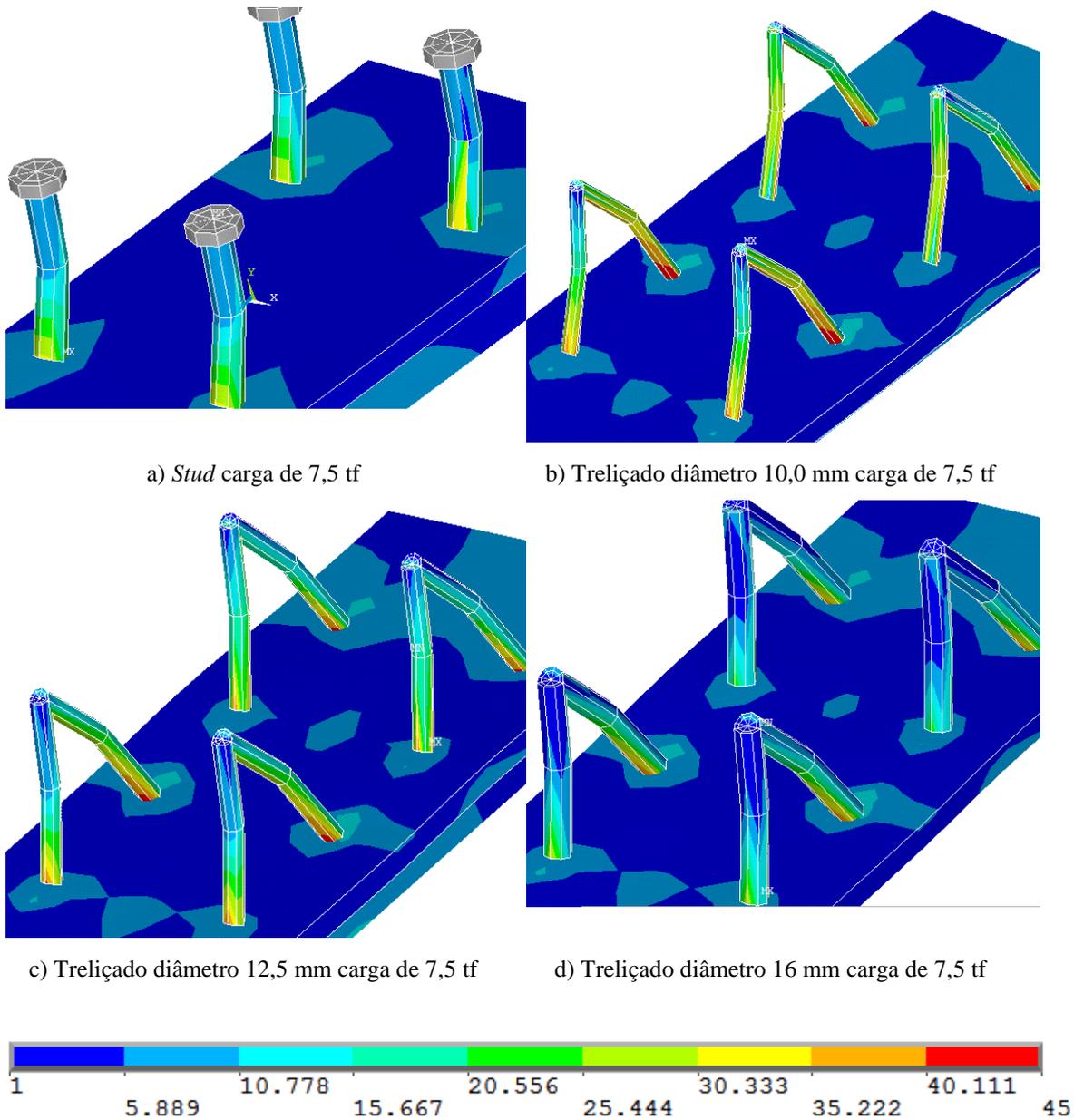


Figura 3.24- Tensão equivalente de Von Mises ( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ) para uma carga 7,5 tf por conector.

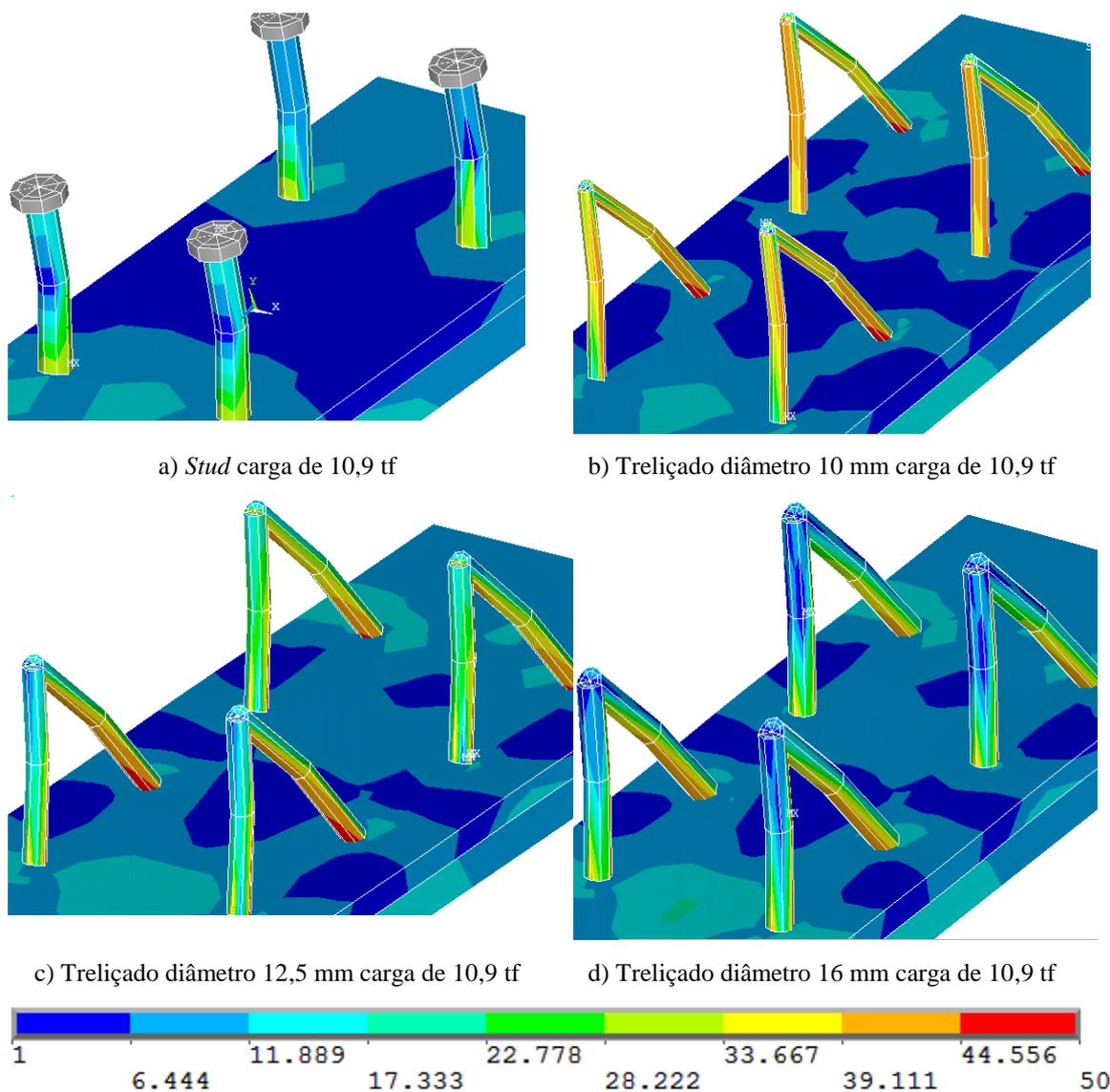


Figura 3.25- Tensão equivalente de Von Mises ( $\text{kN}/\text{cm}^2$ ) para uma carga 10,9 tf por conector.

Os resultados positivos da análise numérica em elementos finitos, especialmente do ponto de vista do deslizamento vertical relativo entre perfil e laje, que demonstrou um comportamento bastante próximo ao do próprio *stud bolt*, creditou o conector treçado para ser avaliado por uma análise experimental, que são estudos mais precisos.

## 4. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Considerando o fato do conector proposto ser novo, foram realizados ensaios de um único diâmetro nominal a fim de estabelecer um estudo inicial do mesmo. Optou-se por ensaiar o conector treliçado de bitola 12,5mm, por ter apresentado comportamento superior ao do *stud bolt* de 19mm de diâmetro, mantendo-se ainda bastante próximo, com resistência final 4,29 % maior e deslizamento vertical 9,12 % menor, na análise do modelo numérico.

Foram ensaiadas três amostras, de acordo com a prescrição da norma europeia EN 1994-1-1:2004, paralelamente à pesquisa de doutorado do MSc Eng<sup>o</sup> Wallison Carlos de Sousa Barbosa, em cuja tese estes dados serão incorporados. O principal objetivo do ensaio consiste na determinação da relação entre a carga aplicada e o deslizamento vertical – relativo entre o perfil metálico e a laje – e o deslocamento horizontal – entre as duas lajes, também chamado *uplift* – com o emprego deste novo tipo de conector. Foi observado também, quantitativa e qualitativamente, a deformação dos conectores, o padrão de fissuração na ruptura dos modelos e o local de rompimento no modelo.

### 4.1 MODELOS EXPERIMENTAIS

Foram fabricadas 3 amostras do conector ensaiado. Para todos os modelos, foram empregadas seções do perfil W250x73, equivalente ao HEB 260, o perfil europeu indicado pela norma EN 1994-1-1:2004, conforme a Figura 4.1.

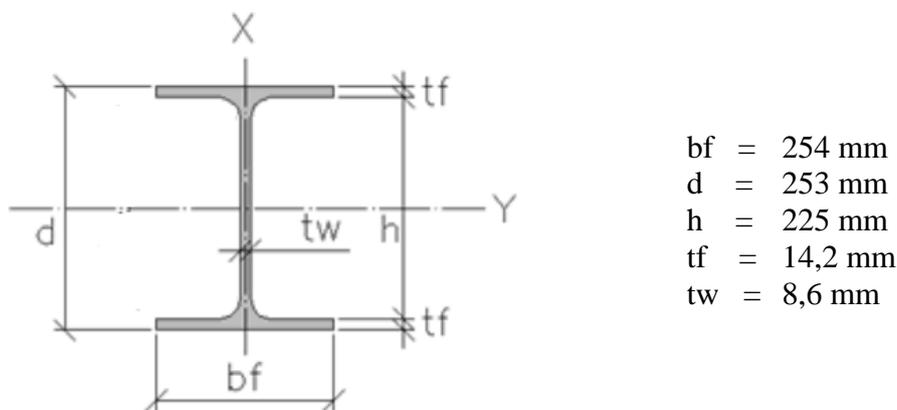


Figura 4.1 – Perfil metálico W 250x73 adotado para o ensaio *push-out*.

A Figura 4.2 traz as dimensões para montagem do conector sobre os perfis de aço de 70 cm. Sob as dobras de 45° da parte superior do conector foram soldados recortes de 40 mm de comprimento de barras de aço CA-50 de diâmetro 16 mm. Em relação a norma do Eurocode EN 1994-1-1:2004, pode-se notar que foi feito um acréscimo de 10 cm na altura da laje, para comportar toda a extensão dos conectores com alguma margem. A armação da laje seguiu o indicado pela norma européia.

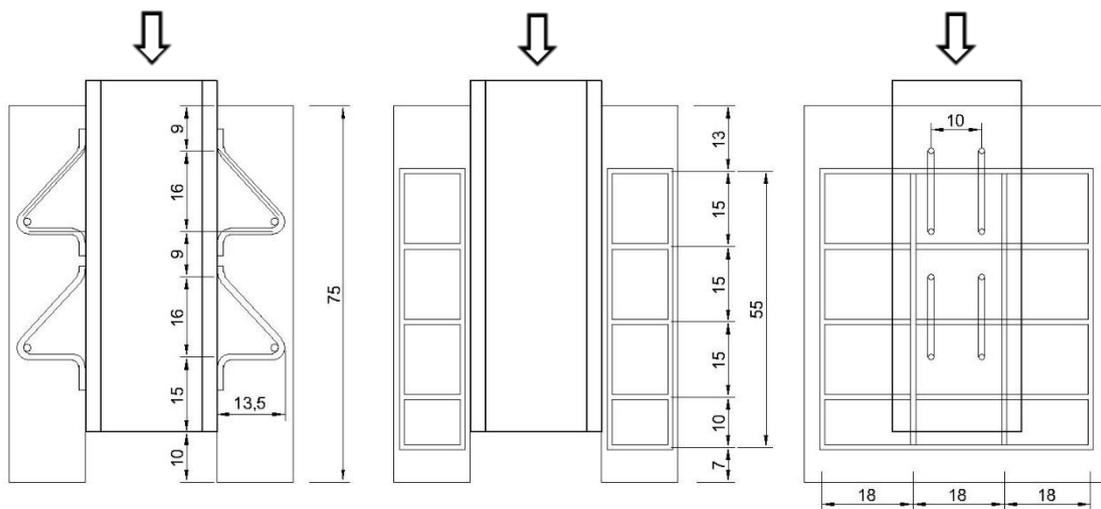


Figura 4.2 – Posicionamento do conector e da armação da laje em relação ao perfil metálico.

As formas foram construídas como mostrado na Figura 4.3, com chapas de compensado de madeira plastificadas de espessura 17 mm e sarrafos de madeira macia para fabricação dos suportes para os espaçadores. As medidas estão dispostas em detalhes no Anexo D.

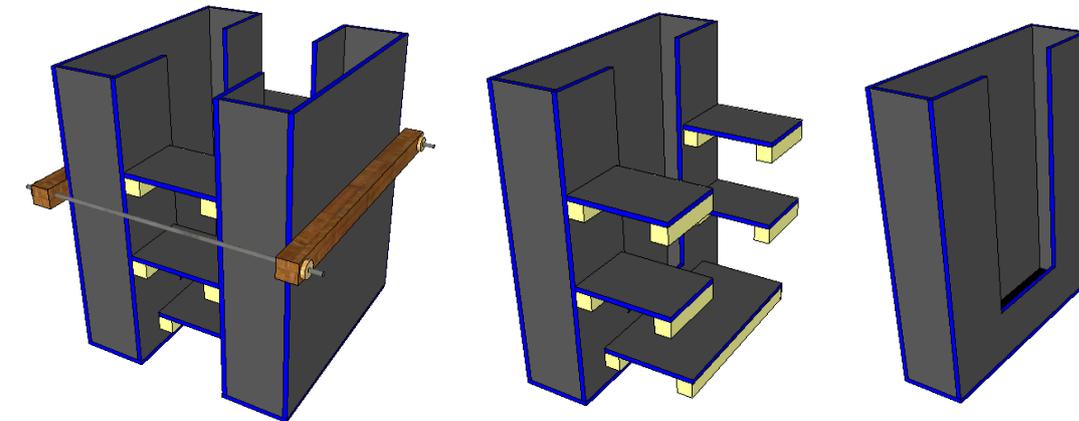


Figura 4.3 – Formas para o ensaio *push-out*

O conector foi soldado ao perfil metálico conforme demonstra a Figura 4.4, dos dois lados da barra de aço redonda. Foi calculado o comprimento e garganta efetivos mínimos de solda para esta ligação não ser o motivo da ruptura dos modelos, o que impossibilitaria o conhecimento do comportamento do conector de forma satisfatória.



Figura 4.4 – Detalhe da soldagem dos conectores aos perfis metálicos.

Para o cálculo, seguiu-se a norma brasileira NBR 8800:2008, considerando-se a solda em bisel, de superfície curva com superfície plana, com metal de solda com resistência mínima à tração  $f_w = 485$  MPa e com aço do metal-base com resistência ao escoamento  $f_y = 434$  MPa. O esforço solicitante principal considerado foi o de cisalhamento da área da solda, e buscou-se dimensionar a solda para que resista mais que o aço do conector à ruptura.

A princípio, considerou-se a solda como sendo de entalhe, por sua penetração sobre a superfície curva. A espessura efetiva da garganta desta solda, de acordo com a tabela 6 da norma NBR 8800 é de  $5.R/8$ , em que 'R' é o raio da superfície curva soldada, neste caso 6,25 mm, resultando em 3,91 mm de garganta efetiva. Como esta é menor que 10 mm, a norma demanda que seja feito um reforço de solda de filete além da superfície nivelada da solda de entalhe. Considerou-se então a perna mínima para a solda de filete adicional, segundo a tabela 10 da norma, de 5 mm, para espessura de metal-base entre 6,35 e 12,5 mm (neste caso o diâmetro de 12,5 mm da barra do conector). O item 6.2.6.2.3 da NBR 8800 preconiza um comprimento mínimo desta solda de filete de 40 mm ou 4 vezes o tamanho da perna.

Com todas essas informações, procedeu-se ao cálculo das resistências das soldas em função de seus comprimentos, tanto para a parte de entalhe quanto para o reforço de filete.

Para a solda de entalhe obteve-se:

$$F_{w,Rd} = 0,6 \cdot A_{MB} \cdot f_y / \gamma_{a1} = 0,6 \cdot (0,0125 \cdot l_w) \cdot 434000 / 1,1 = 2959,1 \cdot l_w \quad (\text{Eq. 4.1})$$

Sendo:

$A_{MB} = b \cdot l_w$  : Área do metal base, produto da menor espessura entre os metais ligados, neste caso a barra de 12,5 mm, e o comprimento efetivo de solda;

$f_y$ : Tensão de escoamento do metal base adotado como  $500/1,15 = 434$  MPa;

$\gamma_{a1}$ : Coeficiente de ponderação das resistências para escoamento, flambagem e instabilidade, retirado da tabela 3 da norma, adotado como 1,1.

Para a solda de filete adicional obteve-se:

$$F_{w,Rd} = 0,6 \cdot A_w \cdot f_w / \gamma_{w2} = 0,6 \cdot (2 \cdot 0,0035 \cdot l_w) \cdot 485000 / 1,35 = 1508,8 \cdot l_w \quad (\text{Eq. 4.2})$$

Em que:

$A_w = g \cdot l_w$  : Área da solda de filete, produto da garganta efetiva, neste caso de 3,5 mm para pernas iguais de 5 mm, multiplicada por 2, por serem dois filetes, e o comprimento efetivo da solda;

$f_w$ : Tensão mínima de ruptura da solda, tomada como 485 MPa, de acordo com a tabela A.4 da norma;

$\gamma_{w2}$ : Coeficiente de ponderação das resistências, adotado como 1,35, em acordo com a nota k da tabela 8 da norma.

Somando-se as parcelas resistentes das soldas de entalhe e de filete, em função do comprimento de solda ' $l_w$ ', tem-se:

$$\sum F_{w,Rd} = 2959,1 \cdot l_w + 1508,8 \cdot l_w = 4467,9 \cdot l_w$$

A força de ruptura do conector  $F_u$ , calculada a partir de da tensão de ruptura  $f_u$ , multiplicada pela área da seção da barra é dada por:

$$f_u = 1,1 \cdot f_y = 1,1 \cdot 434 = 477,4 \text{ MPa}$$

$$A_s = \pi \cdot (0,0125/2)^2 = 1,227 \cdot 10^{-4}$$

$$F_u = f_u \cdot A_s = 58,59 \text{ kN}$$

O comprimento de solda mínimo para que a solda não rompesse antes do conector, considerando o esforço de cisalhamento na interface entre o perfil e o conector como o esforço mais crítico é dado, portanto, por:

$$\frac{F_u}{\sum F_{w,Rd}} = \frac{58,59}{44,769} = 1,31 \text{ cm}$$

A norma NBR 8800 traz um valor mínimo de comprimento da solda de filete de 4,0 cm, e portanto, considerou-se seguro aplicar em todos os conectores, tanto no apoio da perna diagonal quanto da haste vertical e de ambos os lados, uma solda de no mínimo 4,0 cm de comprimento, de entalhe e de filete com garganta de 3,5 mm como reforço, conforme foi realizado nos modelos ensaiados.

## 4.2 INSTRUMENTAÇÃO DOS MODELOS

As 3 amostras ensaiadas foram instrumentadas da mesma forma, com extensômetros ou *strain gages* da marca KYOWA, modelo KFG-5-120-C1-11, diretamente sobre as barras de aço dos conectores e com defletômetros tipo LVDT com curso de 5,0 cm aplicados externamente, tanto na vertical (entre o perfil e as lajes) como na horizontal (entre as duas lajes).

Os extensômetros foram aplicados conforme ilustrado na Figura 4.5. Dos quatro conectores soldados a cada flange do perfil metálico, optou-se por instrumentar um dos de cima e um dos de baixo, em diagonal. Cada conector instrumentado recebeu um extensômetro em sua haste vertical e um em sua haste inclinada, nas faces da barra viradas

para cima, a uma altura de 3,5 cm medida perpendicularmente ao plano da mesa do perfil, para evitar qualquer influência da inclinação da dobra do conector junto a sua base. Assim, cada amostra foi instrumentada com oito *strain gages*.

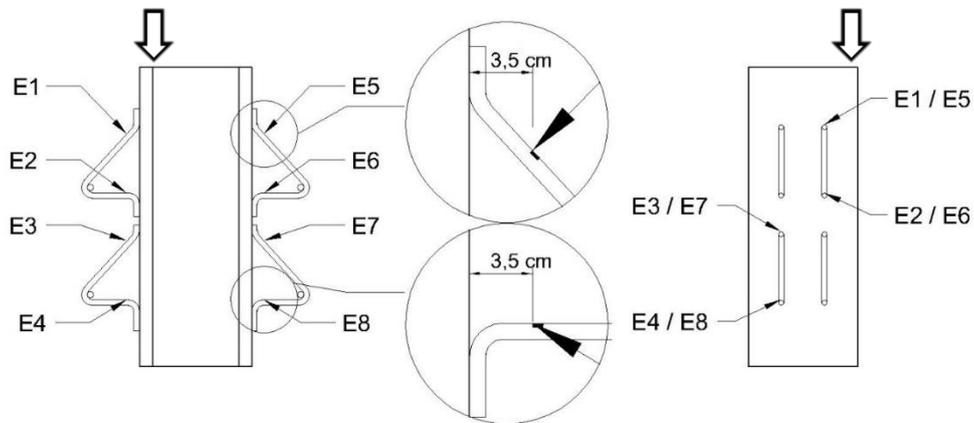


Figura 4.5 – Disposição dos 8 extensômetros (E1 a E8) diretamente sobre os conectores de cada amostra.

A sequência de imagens da Figura 4.6 demonstra o procedimento de aplicação dos extensômetros a superfície dos conectores. Primeiramente, conforme a Figura 4.6 (a), preparou-se uma placa de acrílico, limpando-a com álcool e secando-a em seguida com algodão; sobre a placa são dispostos recortes de plástico que acompanham o *strain gage* em sua embalagem, com o próprio *strain gage* por cima, e por cima deste um pedaço de fita adesiva transparente cobrindo-o. Concomitantemente, conforme a Figura 4.6 (b), a superfície do conector no local a ser instrumentado é polida com limas primeiramente e lixas de folha nº100 para o acabamento fino. A Figura 4.6 (c) mostra o posicionamento do extensômetro sobre a superfície do conector. A fita adesiva sobre o extensômetro é levantado, deixando os fios sobre a folha plástica, e o extensômetro é colado à barra de aço do conector com o uso de cola à base de epóxi, conhecida popularmente como *superbonder*, conforme a Figura 4.6 (d). Os dois fios terminais do extensômetro são soldados às duas pernas de um fio elétrico com diâmetros de 1,0 mm cada, com uma liga de estanho específica para micro-soldagem, como mostra a Figura 4.6 (e). O fio elétrico é firmado em seguida de acordo com a Figura 4.6 (f), com o emprego de duas braçadeiras plásticas. As Figura 4.6 (g), (h) e (i), mostram as camadas de proteção, impermeabilização e isolamento aplicadas em seguida, sendo elas respectivamente: o adesivo epóxi, conhecido popularmente como *araudite*; uma camada de silicone sobre o epóxi; e a fita de auto-fusão incorporando todas as camadas inferiores.



(a) Preparação e limpeza do extensômetro.



(b) Limpeza da superfície a ser instrumentada.



(c) Posicionamento do extensômetro.



(d) Colagem com cola à base de epóxi, o superbonder



(e) Soldagem dos terminais do extensômetro aos fios elétricos



(f) Fixação do fio com braçadeiras plásticas



(g) Camada de proteção com adesivo epóxi *araudite*.



(h) Camada de impermeabilização de silicone transparente.



(i) Camada de isolamento com fita de auto-fusão, envolvendo todas as demais .

Figura 4.6 – Procedimento de instrumentação dos conectores.



Figura 4.7 – Amostra com todos os conectores instrumentados.

Os defletômetros tipo LVDT foram posicionados conforme as Figura 4.8 e Figura 4.9. Foram empregados dois horizontais para medir o distanciamento entre as lajes, o chamado *uplift*, e dois verticais para medir o deslizamento da laje relativamente ao perfil metálico. Os horizontais foram fixados com suportes projetados a fim de que todos os defletômetros mantivessem um padrão de posicionamento., enquanto o apoio para os verticais foi provido por bases magnéticas. As pontas dos dois defletômetros verticais tocavam uma chapa fixada a uma base magnética ligada ao perfil metálico, enquanto a dos horizontais encostavam diretamente sobre o concreto da laje perpendicular a seu eixo.

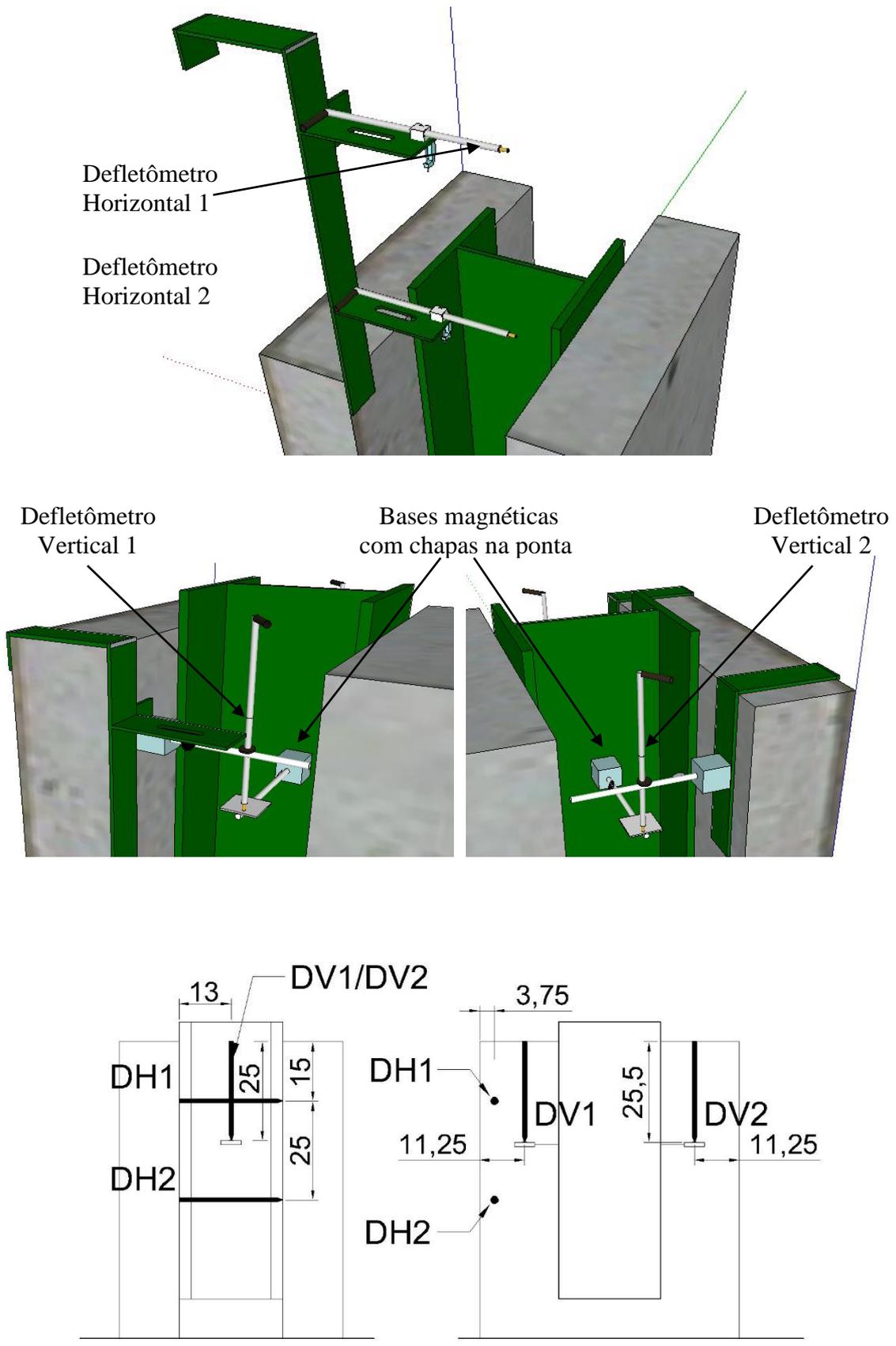


Figura 4.8 – Posições dos defletômetros tipo LVDT.



Figura 4.9 – Posicionamento dos dois defletômetros horizontais e um vertical, de um lado da alma do perfil e do outro vertical do lado oposto.

### **4.3 CONCRETAGEM DAS AMOSTRAS E CORPOS-DE-PROVA**

#### **4.3.1 Preparação das Amostras**

No dia anterior à concretagem, as mesas dos perfis receberam uma camada de graxa a fim de evitar a aderência da laje com a mesa, conforme sugere a norma EN 1994-1-1:2004. Os perfis com as armaduras foram então posicionados dentro das fôrmas com espaçadores nas laterais que garantissem o cobrimento de 1,5 cm nas laterais e com um “caranguejo” de aço com bitola de 5,0mm para garantir o espaçamento do base de 6,5 cm. A Figura 4.10 – Aplicação de graxa em mesa de perfil, encaixe do perfil e armadura na fôrma com espaçadores e vista das 3 amostras antes da concretagem (sentido horário). mostra estas etapas de preparação.



(a) Aplicação de graxa nas mesas



(b) Posicionamento da armadura na fôrma



(c) Amostras prontas para a concretagem

Figura 4.10 – Aplicação de graxa em mesa de perfil, encaixe do perfil e armadura na fôrma com espaçadores e vista das 3 amostras antes da concretagem (sentido horário).

Em seguida, foi aplicado silicone nas frestas localizadas entre as mesas do perfil e as paredes da fôrma, em especial por ter sido necessário grosar pequenos trechos destas paredes da fôrma para permitir a passagem dos fios dos extensômetros, conforme mostra a Figura 4.11.



Figura 4.11 – Aplicação de silicone nas aberturas feitas entre a forma e o perfil metálico, para passagem dos fios dos extensômetros.

### 4.3.2 Dosagem do Concreto

A concretagem dos modelos e dos corpos-de-prova cilíndricos para caracterização do concreto foi realizada no Laboratório de Estruturas da UnB. O concreto foi usinado e doado pela empresa CONCRECON especificamente para esta pesquisa. A resistência à compressão de projeto  $f_{ck}$  pedida foi de 30 MPa com abatimento de  $12 \pm 2$  cm.

A dosagem do concreto foi feita com o traço descrito na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto.

Material	Quantidade
Cimento CP II F-40	320 kg
Brita 0	975 kg
Areia Artificial	424 kg
Areia Natural	424 kg
Água	184 kg
Aditivo Polifuncional	2,56 litros

### 4.3.3 Concretagem

As fôrmas foram preenchidas de concreto com o uso de pás, após o transporte em carrinho-de-mão do caminhão betoneira, que estava estacionado a aproximadamente 5m das modelos. Em seguida foi feito adensamento do concreto com uso de vibrador de agulha de 40mm, na medida em que eram acrescentadas camadas, num total de 3 camadas por laje. A Figura 4.12 retrata os dois procedimentos. O acabamento foi feito passando-se um sarrafo de madeira sobre a superfície e em seguida uma desempenadeira plástica.



(a) Moldagem das amostras



(b) Adensamento do concreto

Figura 4.12 – Preenchimento das fôrmas com concreto e vibração com vibrador de agulha.

Em seguida foram moldados os corpos-de-prova cilíndricos de 20 cm de altura e 10 cm de diâmetro, como mostra a Figura 4.13 para a realização dos ensaios de caracterização do concreto quanto a resistência à compressão, resistência à tração por compressão diametral e módulo de elasticidade.



Figura 4.13 – Moldagem dos corpos-de-prova para caracterização do concreto.

Tanto os modelos de *push-out* quanto os corpos-de-prova foram então curados com a colocação de panos encharcados em água com uma lona plástica por cima. Durante os 7 dias seguintes os panos foram molhados com mangueira duas vezes ao dia. Este procedimento foi adotado visando garantir que não ocorressem fissuras por retração do concreto por secagem.



(a) Panos encharcados posicionados sobre as amostras de *push-out*.



(b) Lona plástica para proteção contra perda de umidade dos panos nas amostras



(c) Panos encharcados posicionados sobre os corpos de prova cilíndricos.



(d) Lona plástica sobre os panos dos corpos de prova cilíndricos.

Figura 4.14 – Cura dos modelos e dos corpos-de-prova com panos úmidos protegidos lonas plásticas.

#### 4.4 MONTAGEM DO ENSAIO

O pórtico do Laboratório de Estruturas do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília compatível com a carga requerida para o ensaio de *push-out* possui considerável altura, que foi compensada com o emprego de blocos de concreto sob o modelo para elevá-lo. Os blocos de concreto foram assentados sobre camadas de gesso, para prover um contato mais uniforme entre as superfícies, além de corrigir eventuais diferenças de nível. Sobre o último bloco, foi posicionada uma chapa de aço, e sobre esta, o modelo a ser ensaiado, sendo ambos assentados também sobre camadas de gesso, pelo mesmo motivo citado anteriormente. A Figura 4.15 ilustra partes do processo.



Figura 4.15 – Montagem dos blocos de concreto, da chapa de aço e do modelo sobre a chapa, com camadas intermediárias de gesso.

Sobre o perfil metálico do modelo a ser ensaiado, foi posicionado então um conjunto de 2 chapas de 5 cm de altura cada, soldadas uma a outra, e entre estas e o macaco hidráulico uma rótula, conforme a Figura 4.16. A rótula serve para alinhar a carga, de modo a evitar ao máximo uma eventual excentricidade. As chapas, por sua vez, distribuem e espraíam a carga advinda da rótula para toda a seção I do perfil metálico. Por segurança, as chapas são ligadas por correntes ao pórtico. A aproximadamente meia altura em cada laje foi passada uma corrente de aço, também fixadas ao pórtico, com o mesmo objetivo. A Figura 4.17 traz uma imagem geral da montagem, e mostra estes detalhes de segurança.

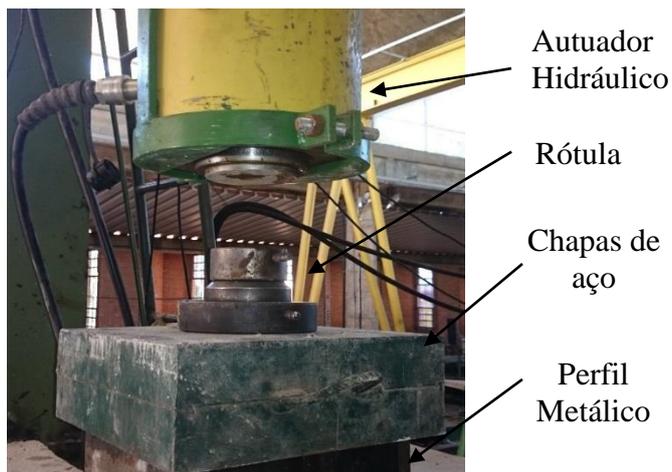


Figura 4.16 – Esquema de montagem da rótula e chapas para distribuição alinhada da carga para o perfil metálico.



Figura 4.17 – Visão geral da montagem do ensaio.

#### 4.5 AQUISIÇÃO DE DADOS E APLICAÇÃO DE CARGA

As leituras das deformações realizadas pelos extensômetros e defletômetros foram coletados com o auxílio do sistema de aquisição de dados “Spyder-8”, o *hardware* ligando o *strain gage* e o computador, e o *software* “Catman-4.5”. O fabricante é a empresa alemã HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik GMBH). Os dados foram armazenados no computador mostrado na Figura 4.18, que também mostra os módulos do “spyder-8”. Foram utilizados dois módulos, uma vez que tinham capacidade de 8 canais cada, e o experimento foi realizado com 8 extensômetros e 4 defletômetros, cada um demandando um canal.



Figura 4.18 – Módulos “Spyder-8” e computador utilizados para coleta de dados.

A aquisição de dados de carregamento foi feita através da leitura direta dos valores em painel digital e anotação a mão. O painel extrai os valores do carregamento da célula de carga a que está conectada, com capacidade de medição de até 2000 kN. A célula de carga está posicionada entre o macaco hidráulico, que transfere a carga para o modelo, e a viga

do pórtico, que absorve a reação à força gerada pelo macaco. A Figura 4.19 ilustra esta montagem.

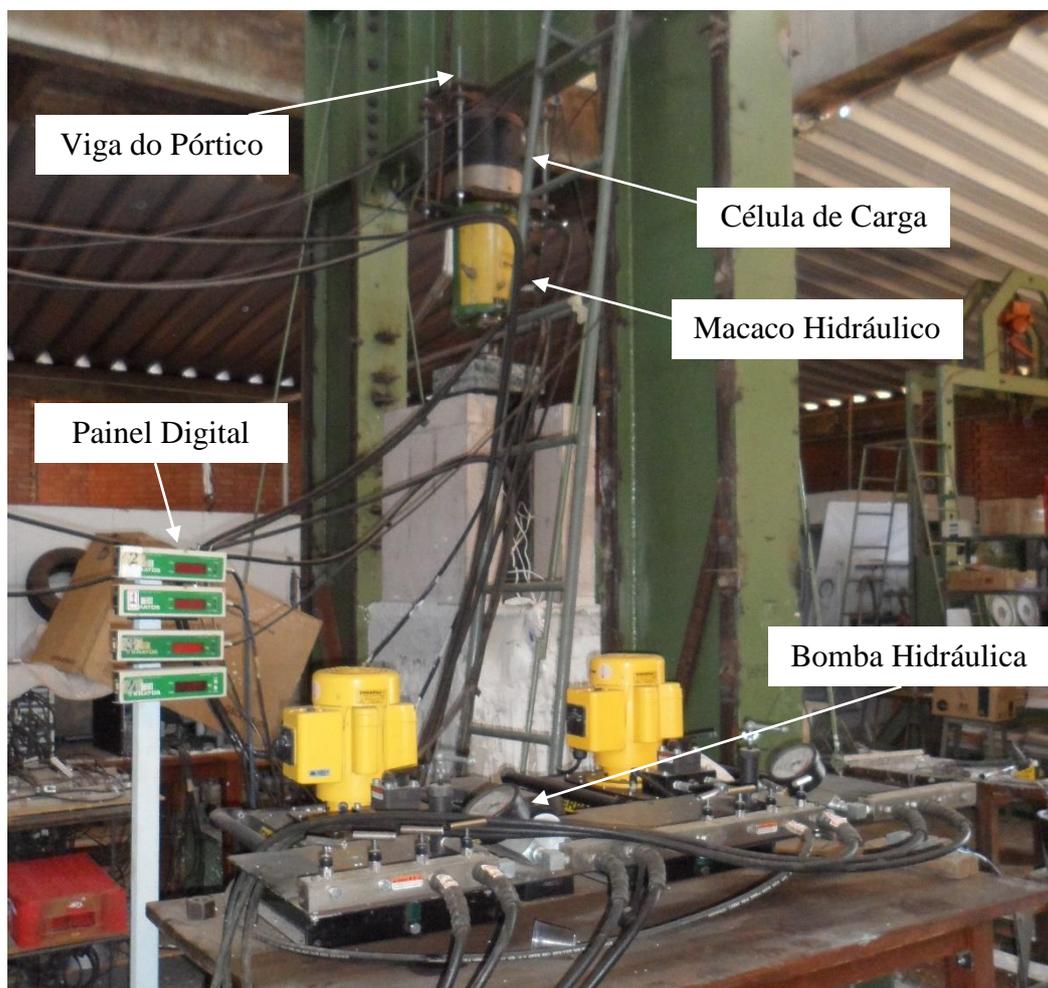


Figura 4.19 – Sistema de aquisição dos dados de carregamento e bombas hidráulicas para aplicação da carga.

O carregamento foi imposto com a bomba hidráulica elétrica mostrada na Figura 4.19. Esta bomba permite a aplicação da carga com controle de força, que é mostrada no painel digital. Seguiram-se as recomendações de carregamento estipuladas pela norma EN 1994-1-1:2004, que consistem na aplicação de um pré-carregamento do modelo com 25 ciclos de 5% a 40% da carga última estimada, na ruptura. Após os 25 ciclos, o modelo é então levado até a carga de ruptura, em menos de 15 minutos. Chegando-se a carga de ruptura, deve-se então aliviar a carga em 20%.

## 5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram realizados ensaios de *push-out*, conforme mencionado anteriormente, para o conector proposto fabricado com aço tipo CA-50 de bitola de 12,5 mm. Foram feitos 3 modelos, com o objetivo global de avaliar a aplicabilidade deste.

O ensaio de de cisalhamento direto *push-out* seguiu os procedimentos descritos na norma europeia EN 1994-1-1:2004, aceita como padrão internacional para avaliação de novos conectores de cisalhamento em lajes mistas e suas características de uma forma mais econômica e rápida, com confiabilidade e diminuindo a necessidade de realizar ensaios em tamanho real. Este ensaio visa caracterizar o conector quanto a sua flexibilidade, através do parâmetro  $\delta_u$ , chamado capacidade de deslizamento e também quanto a sua capacidade resistente a ser considerada em projeto, representado na norma por  $P_{Rd}$ . Além disso, o aço e o concreto empregados foram caracterizados através de ensaios específicos.

São expostos a seguir os resultados de todos os ensaios experimentais realizados, a começar pelos de caracterização dos materiais.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Os materiais ensaiados foram o concreto das lajes e o aço da armadura e dos conectores. O concreto endurecido foi caracterizado quanto a sua resistência à compressão, à tração por compressão diametral e ao módulo de elasticidade. No estado fluido, foi obtido o abatimento pelo ensaio do tronco de cone. Para o aço foram obtidas as curvas de tensão deformação e a resistência ao escoamento através do ensaio de estrição da barra a tração.

O concreto foi doado pela empresa Concrecon, especificamente para os ensaios deste trabalho. Pediu-se a empresa um concreto de resistência a compressão  $f_{ck}$  de 30 MPa e abatimento de  $12 \pm 2$  cm. O aço adquirido era da marca Gerdau, especificação CA-50.

### **5.1.1 Abatimento do Tronco de Cone do Concreto Fresco - *Slump Test***

O ensaio do abatimento do tronco de cone, mostrado na Figura 5.1, seguiu as prescrições da norma ABNT NBR NM 67:1998. O resultado foi de 12,8 cm, dentro dos limites especificados, de 10 e 14 cm.



Figura 5.1 – Ensaio de abatimento do tronco de cone.

### **5.1.2 Resistência à Compressão do Concreto**

Para obter o valor da resistência à compressão do concreto seguiu-se a norma brasileira ABNT NBR 5739:2007. Foram moldados corpos de prova na hora da concretagem, junto aos modelos. Além disso, a concreteira havia moldado corpos de prova na central de dosagem.

Os corpos de prova receberam discos de neoprene nas faces superior e inferior visando regularizar as superfícies em contato com a prensa, conforme a Figura 5.2.



Figura 5.2 – Realização de ensaio de resistência à compressão e discos de neoprene utilizados nos contatos da prensa com as amostras.

Os resultados da resistência à compressão estão dispostos abaixo, na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Resultados dos ensaios de resistência do concreto à compressão.

Local da Moldagem	Resistência à Compressão		
	Idades (Dias)	Resultados Individuais (MPa)	Média (MPa)
UnB - Laboratório de Materiais LMEC	28	45,9	47,3
	28	46,9	
	28	48,5	
	28	47,9	
Concrecon - Central de Dosagem	3	26,4	26,4
	7	29,2	29,2
	28	47,6	47,75
	28	47,9	

Os corpos-de-prova apresentaram ruptura com as tipologias demonstradas na Figura 5.3, em sua maioria classificadas como ruptura cisalhada do Tipo E, de acordo com o Anexo A da norma brasileira ABNT NBR 5379:2007.



Figura 5.3 – Tipologia das rupturas dos corpos-de-prova ensaiados à compressão.

### 5.1.3 Resistência à Tração por Compressão Diametral do Concreto

Os ensaios de caracterização do concreto à tração por compressão diametral do cilindro foram conduzidos em acordo com a norma brasileira ABNT NBR 7222:2011. Um dos ensaios realizados está ilustrado na Figura 5.4.



Figura 5.4 – Ensaio de resistência à tração do concreto por compressão diametral.

Os valores encontrados estão na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Resultados dos ensaios de resistência do concreto à tração por compressão diametral.

Local da Moldagem	Resistência à Tração por Compressão Diametral		
	Idades (Dias)	Resultados Individuais (MPa)	Média (MPa)
UnB - Laboratório de Estruturas	28	4,0	4,6
	28	4,4	
	28	5,2	
	28	4,7	

### 5.1.4 Módulo de Elasticidade do Concreto

O ensaio para determinação do módulo de elasticidade do concreto seguiu a norma ABNT NBR 8522:2008. Foram ensaiados três corpos-de-prova posicionados longitudinalmente em uma prensa como no ensaio de resistência à compressão.

A carga foi lida no mostrador digital da própria prensa, enquanto que as deformações foram tomadas em dois pontos do carregamento: a 0,5 MPa e a 30% da resistência a compressão estimada, o  $f_{ck}$ . Os corpos-de-prova são sujeitos a estas cargas 4 vezes, as leituras sendo tomadas na quarta iteração, conforme a Figura 5.5, extraída da norma.

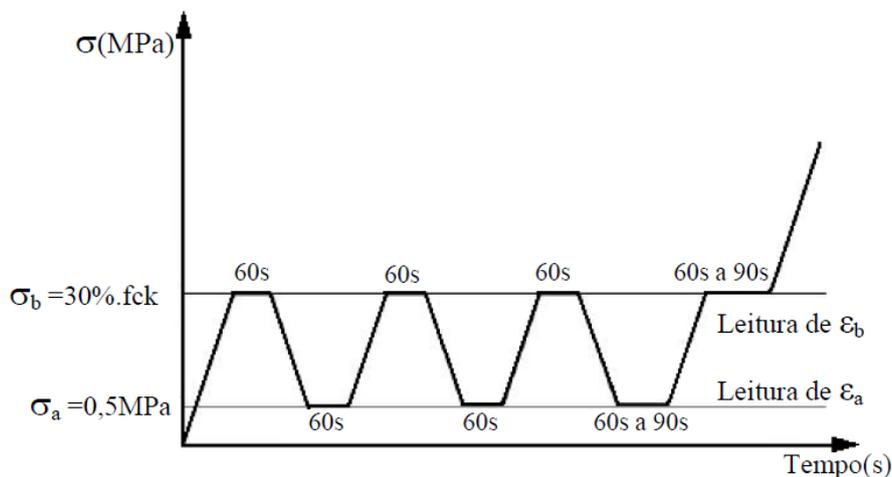


Figura 5.5 – Ciclos de carregamento e momentos de tomada de leituras conforme a ABNT NBR 8522:2008.

Cada corpo-de-prova foi instrumentado com dois extensômetros, criteriosamente calibrados, assegurando-se que as diferenças entre as medidas para 0% e 20% da carga de ruptura estimada de cada um deles não diferissem em mais de 20%, antes que se iniciasse o ensaio propriamente dito. A Figura 5.6 demonstra o esquema de montagem dos ensaios.



Figura 5.6 – Ensaio de módulo de elasticidade do concreto.

A Tabela 5.3 traz os resultados obtidos para os três corpos-de-prova ensaiados.

Tabela 5.3 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade do concreto.

Local da Moldagem	Módulo de Elasticidade		
	Idades (Dias)	Resultados Individuais (GPa)	Média (GPa)
UnB - Laboratório de Estruturas	28	31,904	31,152
	28	31,904	
	28	29,649	

### 5.1.5 Gráfico de Tensão x Deformação do Aço

O aço empregado tanto para a armadura das lajes quanto para os próprios conectores, foram do tipo CA-50, com a bitola de 10mm no primeiro caso e de 12,5mm no segundo. Este aço foi ensaiado à estrição para caracterizá-lo quanto a resposta em deformação a

cargas aplicadas, permitindo a obtenção da tensão de escoamento e a tensão máxima na ruptura. Para realização e análise deste ensaio, seguiu-se as normas ABNT NBR ISO 6892-1:2013 e ABNT NBR 7480:2007.

O ensaio foi realizado em uma prensa da marca EMIC, modelo DL30000N, que registra leituras de carga e deformação (com auxílio de extensômetro conectado à prensa) automaticamente para o computador ao qual está ligada, através do software Tesc v.3.04. O extensômetro era retirado quando se atingia uma deformação de 3,00 mm, para proteger o equipamento.

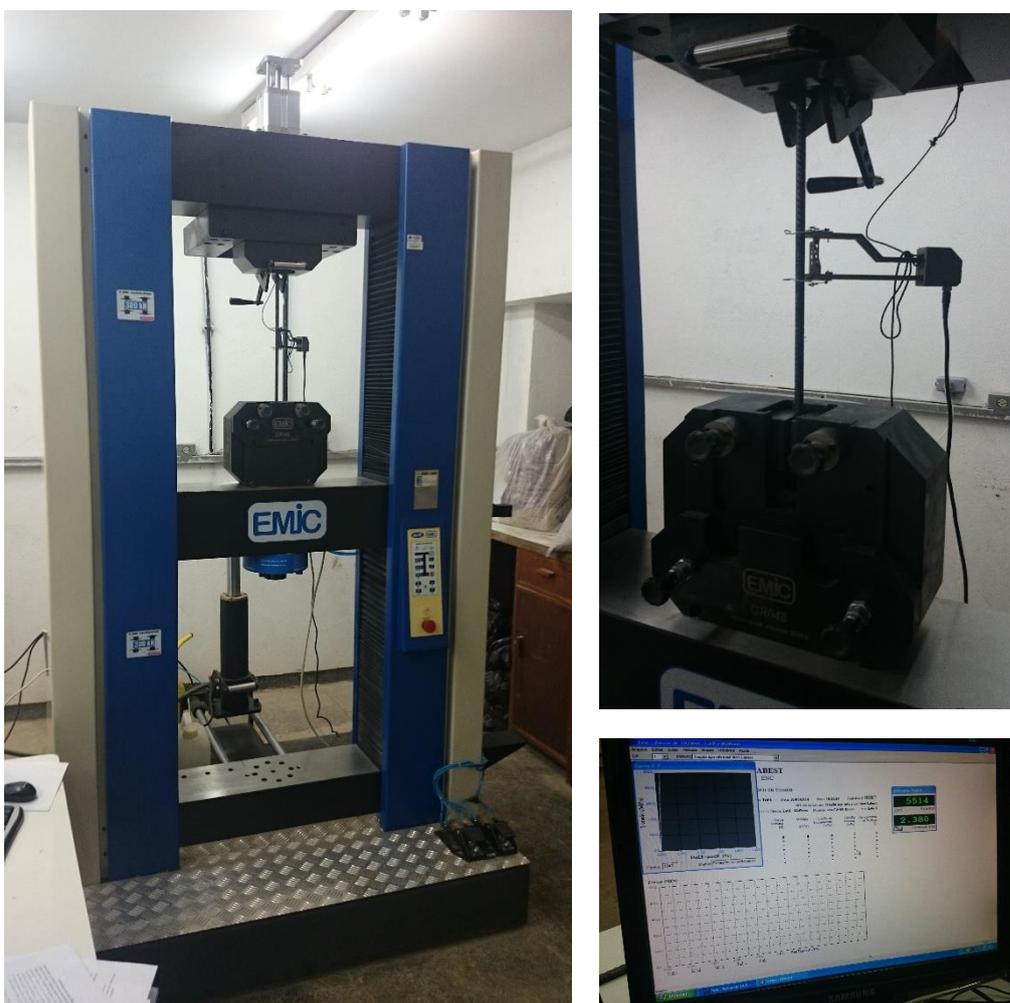


Figura 5.7 – Ensaio de módulo de elasticidade do concreto.

As Figura 5.8 e Figura 5.9 trazem os gráficos com os resultados obtidos para os 3 corpos de prova ensaiados para cada bitola, e a Tabela 5.4 os valores médios de módulo de elasticidade, deformação no escoamento, tensão de escoamento e tensão máxima de

ruptura. As curvas se limitam à deformação de por volta de 6%, que corresponde justamente aos 3 mm de deformação a partir dos quais o extensômetro é retirado para evitar danos ao equipamento.

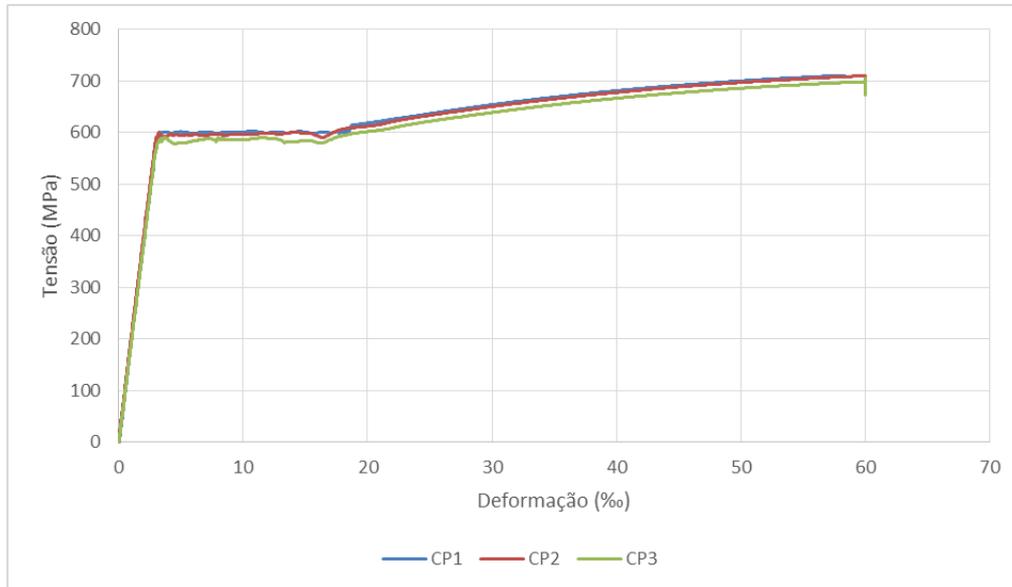


Figura 5.8 – Curvas de tensão x deformação obtidas para o aço CA-50 de bitola 10mm.

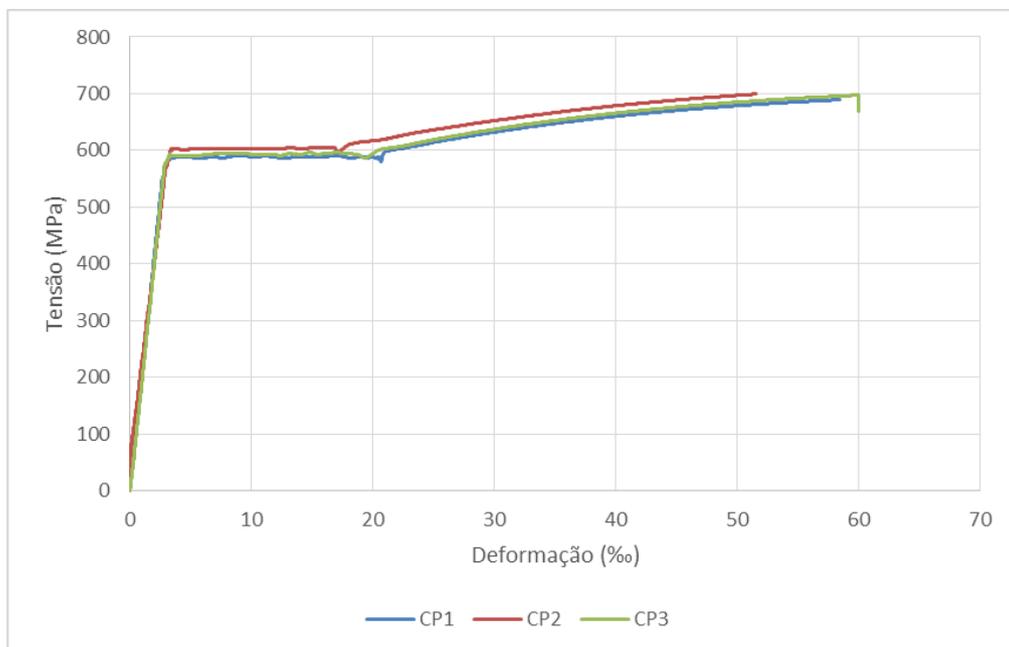


Figura 5.9 – Curvas de tensão x deformação obtidas para o aço CA-50 de bitolas 12,5mm.

Tabela 5.4 – Resultados da caracterização do aço CA-50 de bitolas 10 e 12,5mm.

Caracterização do Aço CA-50		
Característica \ Bitola	10 mm	12,5 mm
Módulo de Elasticidade E	195,3 GPa	196,3 GPa
Deformação no Escoamento $\varepsilon_y$	3,07 ‰	3,01 ‰
Tensão de Escoamento $\sigma_y$	595,3 MPa	591,5 MPa
Tensão na Ruptura $\sigma_u$	716,4 MPa	722,2 MPa

## 5.2 CARGAS DE RUPTURA E RESISTÊNCIA DE PROJETO

A aplicação de cargas foi feita seguindo as indicações da norma europeia EN 1994-1-1:2004, conforme explicado no item 4.5. Os 25 ciclos de pré-carregamento foram realizados com as cargas de 4 e 32 tf, representando 5 e 40% da carga de ruptura estimada previamente em 80 tf. Esta estimativa da carga de ruptura foi feita através dos resultados do ensaio numérico, que indicavam um deslizamento de cerca de 5mm para a carga de 88 tf. O deslizamento de 5mm foi considerado aproximadamente equivalente à ruptura, e com base nisto foi considerado uma margem de segurança de 10%, adotando-se portanto as 80 tf. A aplicação de cargas foi feita de forma manual, tomando-se como referência a carga aplicada, operando a bomba elétrica para aumentar ou diminuir a carga, sendo necessário controlar o atraso entre o comando da bomba e a resposta da leitura no painel. Os gráficos da Figura 5.10 mostram como foi a aplicação da carga para os três modelos em relação ao tempo.

A norma determina que o modelo seja levado a ruptura após o 25º ciclo em menos de 15 minutos, considerando-se o início na carga de 20% (32 tf), o que foi possível respeitar em dois ensaios, os dos modelos V1 e V3, com 12:53min e 13:03min, respectivamente. Isto se deve ao fato de que o primeiro ensaio realizado foi o do modelo V2, em que foi observada a carga de ruptura pela primeira vez, resultando num tempo de aplicação da carga até a ruptura de 26:12min. O alívio de carga de 20% após a ruptura não foi possível realizar em dois dos três ensaios, como também se pode observar nos gráficos. Isto por que a ruptura foi bastante abrupta nesses dois casos, com o modelo deslocando-se na ordem de centímetros, aliviando o sistema de aplicação e leitura de carga instantaneamente.

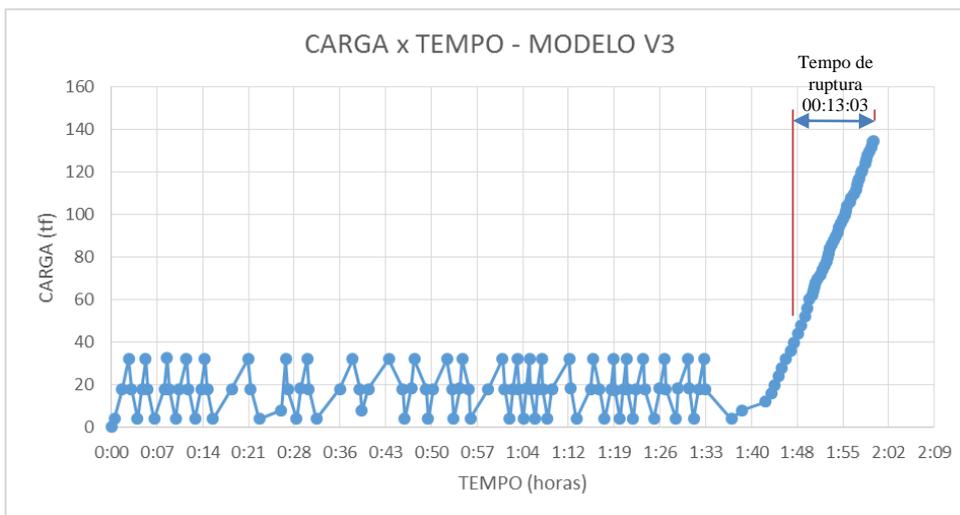
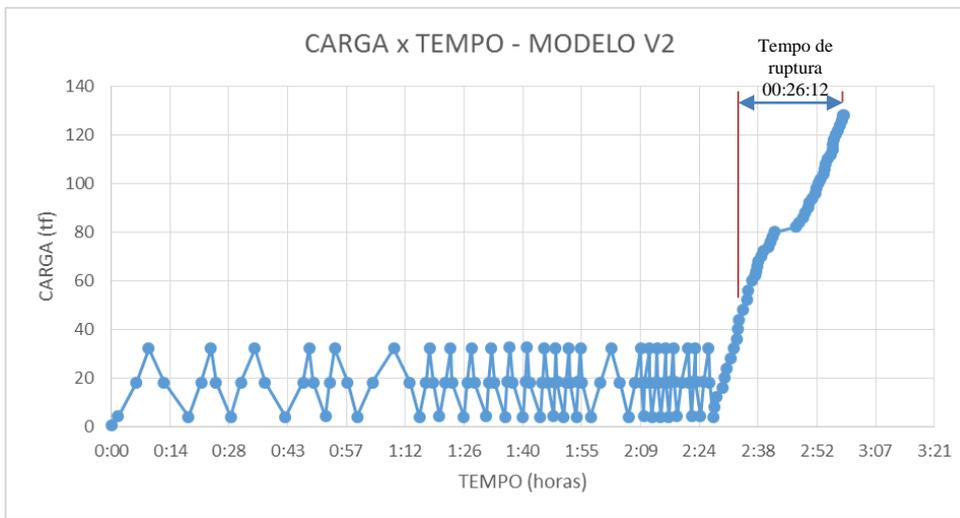
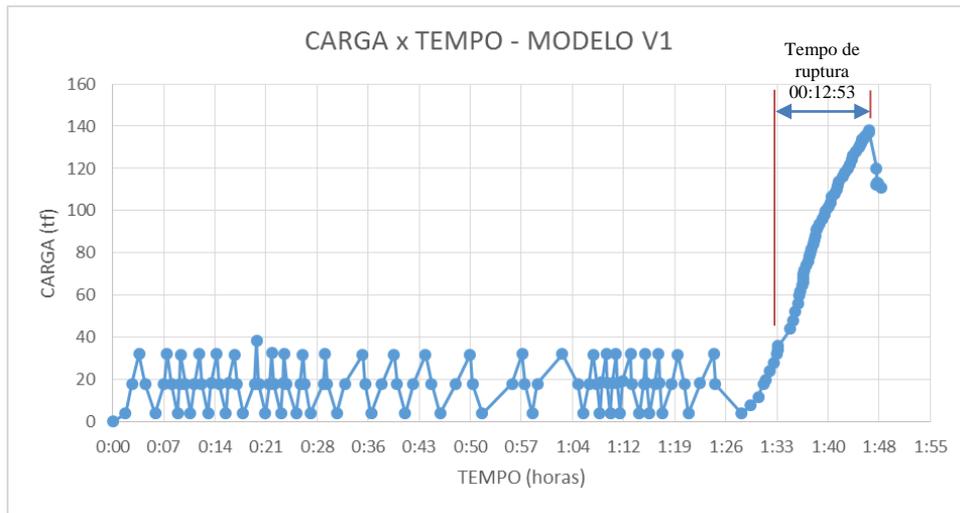


Figura 5.10 – Gráficos de aplicação de carga pelo tempo para os três modelos ensaiados.

As cargas de ruptura obtidas nos 3 ensaios foram bastante superiores ao estimado de 80 tf, conforme mostra a Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Cargas de ruptura dos modelos ensaiados experimentalmente

	Modelo V1	Modelo V2	Modelo V3	Média
Carga de Ruptura	138,12 tf	128,00 tf	134,60 tf	133,57 tf

Pelos critérios da norma europeia EN 1994-1-1:2004, o ensaio não precisa ser refeito, uma vez que os 3 valores não diferem em mais de 10% da média dos resultados, uma vez que os limites de 90% e 110% da média são 120,22 tf e 146,93 tf.

Procedendo-se ao cálculo da resistência de projeto do conector segundo a norma e a

$$\text{Equação } P_{Rd} = \frac{f_u}{f_{ut}} \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \quad (\text{Eq. 2.3, com o fator de segurança } \gamma_V$$

$\gamma_V$  de 1,25, conforme recomendação da própria norma, temos:

$$P_{Rd} = \frac{f_u}{f_{ut}} \times \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} = \frac{1,08 \times f_y}{722,2} \times \frac{14,4}{\gamma_V} = \frac{1,08 \times 500}{722,2} \times \frac{14,4}{1,25} = 8,62 \text{ tf}$$

Este valor de resistência do conector para projeto é referente a um único conector. Cada amostra do ensaio de *push-out* contaria portanto com resistência de oito vezes este valor, em projeto, o que corresponde a 68,96 tf, o que corresponderia a um fator de segurança de 1,94 se comparado com a resistência obtida experimentalmente.

Para fins de comparação, foi calculada a resistência de projeto para um conector *stud bolt*, segundo a mesma norma europeia EN 1-1-1994:2004, considerando as características do concreto obtidas dos ensaios de caracterização, tomado como o valor mínimo dentre as equações 2.7 e 2.8:

$$P_{Rd} = \frac{0,8 \cdot f_u \cdot d^2 / 4}{\gamma_v} = \frac{0,8 \cdot 500 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot (19 \cdot 10^{-3})^2 / 4}{1,25} = 9,07 \text{ tf}$$

$$P_{Rd} = \frac{0,29 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} = \frac{0,29 \cdot 1 \cdot (19 \cdot 10^{-3})^2 \sqrt{47,7 \cdot 10^{-6} \cdot 31,1 \cdot 10^9}}{1,25} = 10,2 \text{ tf}$$

O valor da resistência de projeto  $P_{Rd}$  para o conector *stud bolt* é tomado, portanto, como 9,07 tf, muito próximo ao valor obtido experimentalmente para o valor de resistência de projeto do conector treçado de 12,5mm, de 8,62 tf, o que atesta a empregabilidade deste novo conector, uma vez que tem resistência aproximada ao do conector cujo comportamento é mais conhecido e amplamente utilizado.

### 5.3 DESLIZAMENTO VERTICAL

O deslizamento vertical entre as lajes e o perfil foi medido dos dois lados da alma do perfil metálico, pelos defletômetros denominados ‘DEF 1’ e ‘DEF 2’, em cada um dos 3 modelos ensaiados. Os resultados obtidos são as curvas de deslizamento relativo do perfil em relação à laje contra carga aplicada, conforme as Figuras Figura 5.11 e Figura 5.12. Pode-se observar pela Figura 5.12 que o comportamento do conector aparenta ser assintótico, próximo à carga máxima, com um ponto de inflexão da curva próximo das 80 tf. Até esta carga de aproximadamente 80 tf o conector se mostra relativamente rígido com deslizamento abaixo de 1,0 mm.

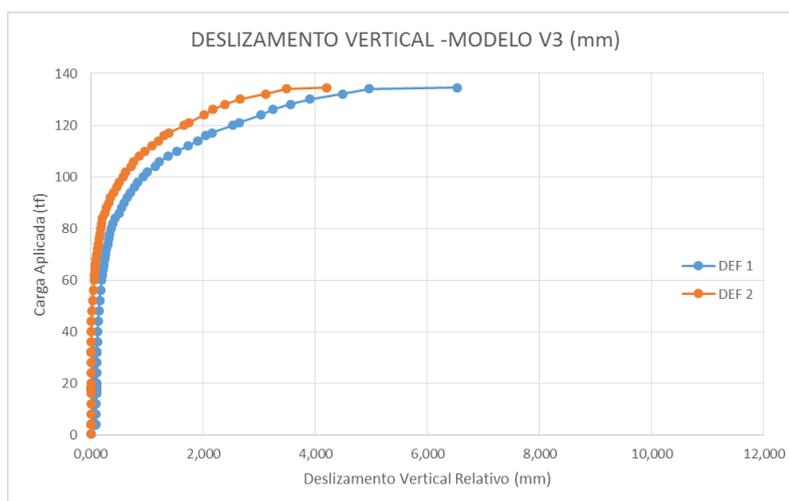
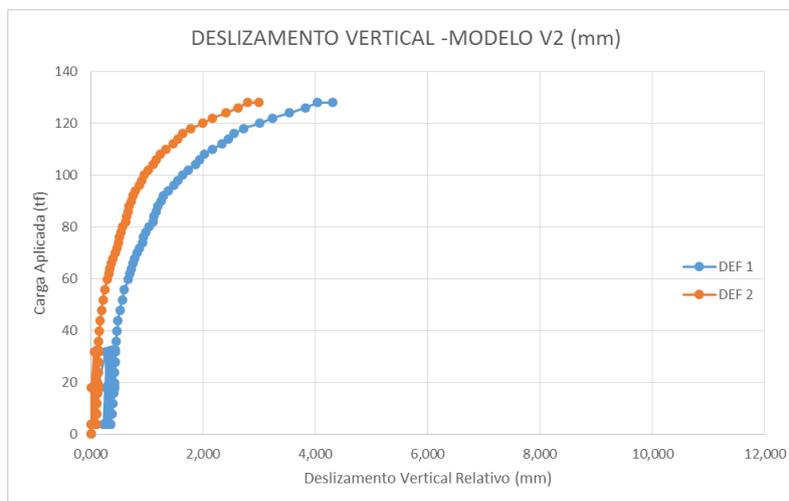
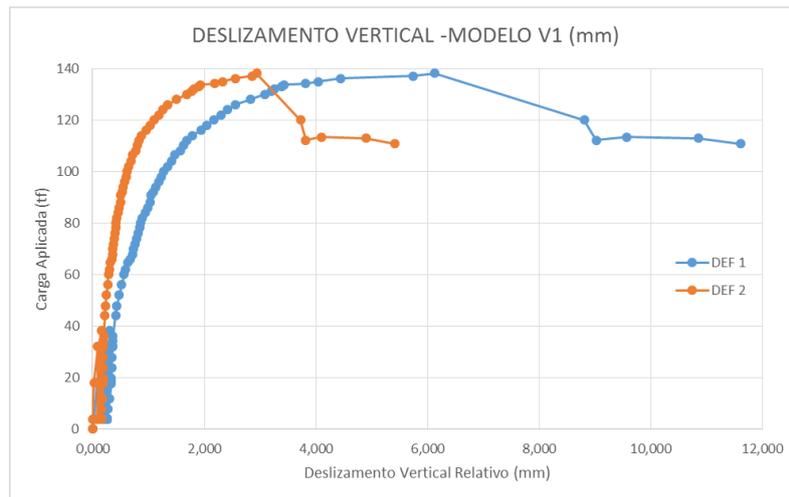


Figura 5.11 – Gráficos de deslizamento vertical pela carga para cada um dos três modelos ensaiados, com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios.

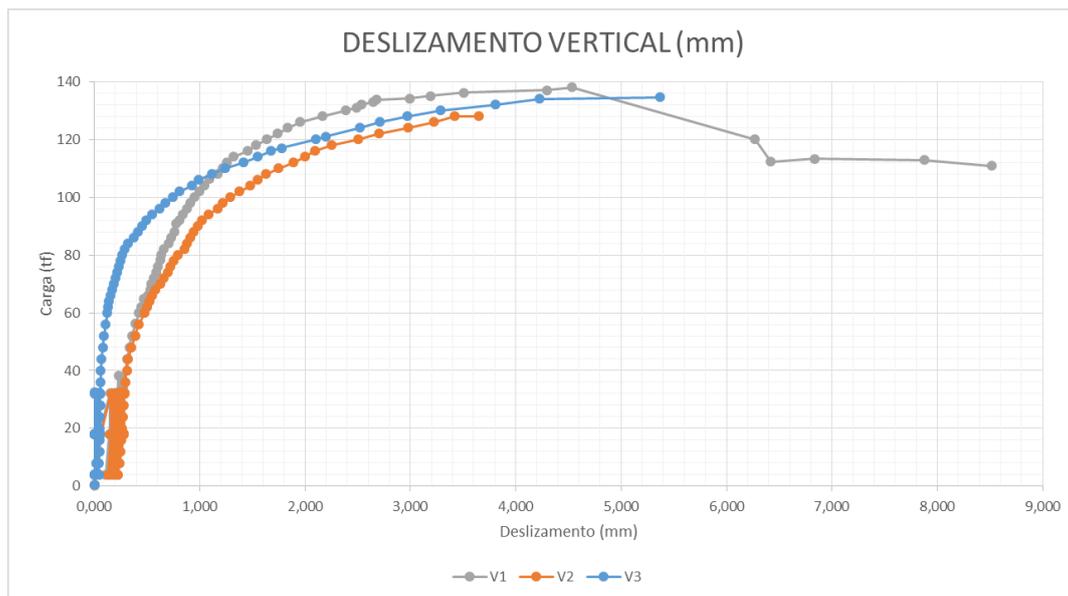


Figura 5.12 – Gráfico de deslizamento vertical médio para as 3 amostras, obtido pela média aritmética simples entre os dois defletômetros de cada modelo.

Como já mencionado anteriormente, não foi possível medir o deslizamento vertical no alívio de carga, até 20% abaixo da carga de ruptura, para dois dos três modelos, devido ao rompimento brusco dos mesmos. A dificuldade de controlar a velocidade de aplicação de carga e a incerteza do valor da carga final são fatores que dificultaram uma análise mais ampla da região de plastificação do conector. Os resultados dos modelos V3 e V2, em especial este último, explicitaram pequenos deslocamentos do perfil para a carga final. Já no modelo V1 foi obtido considerável deslizamento do perfil, ressaltando uma extensa zona de plastificação. O ideal seria um sistema servo controlado para monitorar o efeito de 20% de alívio da carga final. Não obstante, buscou-se uma caracterização quanto ao tipo de conector, utilizando o único modelo no qual se conseguiu medir o deslizamento de forma expressiva, o modelo V1.

Este procedimento consiste em obter a carga resistente característica  $P_{uk}$ , 10% menor que a carga de ruptura e seu deslizamento vertical correspondente pelo gráfico, o  $\delta_u$ . Estes valores, para o modelo V1, são de 124,31 tf e 5,86 mm, respectivamente. Para chegar ao valor da capacidade de deslizamento do conector  $\delta_{uk}$ , basta reduzir  $\delta_u$  em 10%, chegando-se ao valor de 5,27 mm. O procedimento e o gráfico utilizado calcular estes parâmetros estão ilustrados no gráfico da Figura 5.13. Este resultado implicaria na classificação do conector pela norma EN 1994-1-1:2004 como rígido.

Os conectores rígidos têm a desvantagem, pela norma, de não poderem ser considerados com comportamento plástico ideal. Por outro lado, um conector rígido pode ser menos suscetível aos esforços de fadiga, por não apresentar tanta deformação plástica para cargas de serviço.

Para melhor entendimento da ordem de grandeza do deslizamento que pode ser esperado para a carga resistente considerada em projeto, foi lançada também na Figura 5.13 o valor de  $P_{rd}$ , calculado em 68,96 tf para o modelo de push-out. O deslizamento respectivo, denominado  $\delta_{rd}$ , foi de 0,539mm.

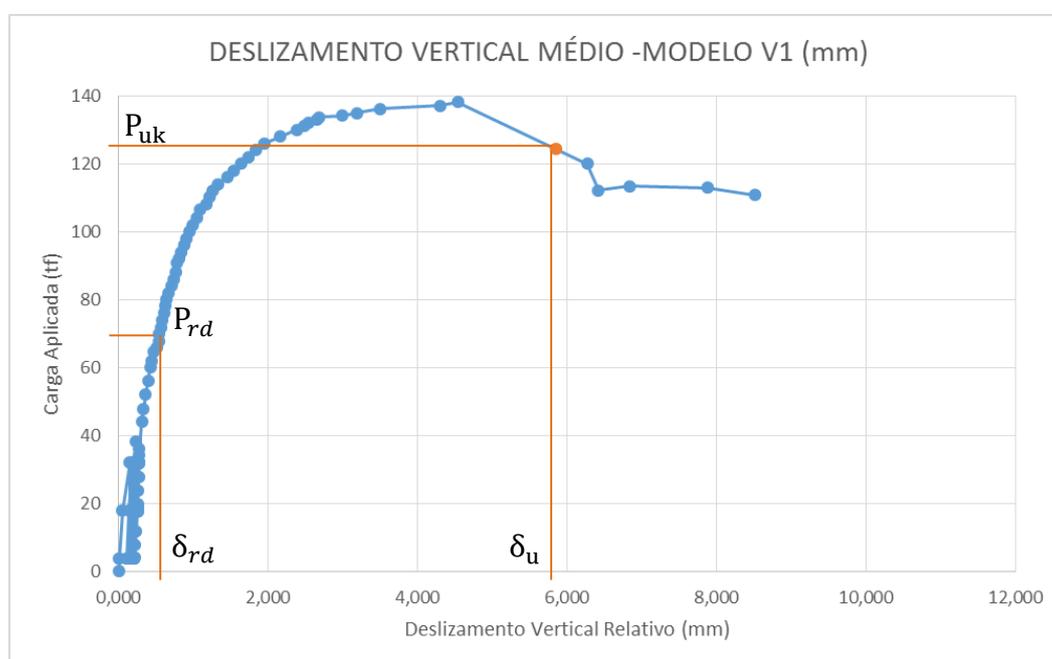


Figura 5.13 – Gráfico de deslizamento vertical médio pela carga do modelo V1 para determinação do deslizamento vertical característico.

Para fins de comparação com os experimentos realizados por Cavalcante (2010), foram postos num mesmo gráfico, na Figura 5.14, os resultados obtidos para os três modelos treliçados de 12,5mm de diâmetro com os obtidos por ele para os conectores stud bolt com 19mm de diâmetro, e os conectores tipo “V” com chapa de 2,65mm, 3,75mm e 4,75mm. Para cada conector ensaiado por Cavalcante, foi apresentada a média dos dois defletômetros para uma das três amostras para exibição no gráfico, de acordo com a amostra que o próprio autor selecionou em seu trabalho, com o número de identificação

da mesma disposta entre parênteses na legenda do gráfico. Além disso, os resultados dos conectores treliçados estão sendo exibidos a partir do 25º ciclo de carga, considerando o primeiro passo de carga, próximo a 4 tf com deslizamento nulo, para melhor comparar os conectores.

Este gráfico demonstra o considerável ganho de rigidez obtido pelo conector treliçado, especialmente em relação aos conectores *stud bolt* e “V” de 2,65mm de espessura. Esta comparação deve levar em conta, no entanto, que o módulo de elasticidade do concreto utilizado nos ensaios de Cavalcante (2010) foi de 24,1 GPa, enquanto o do presente trabalho foi de 31,2 GPa.

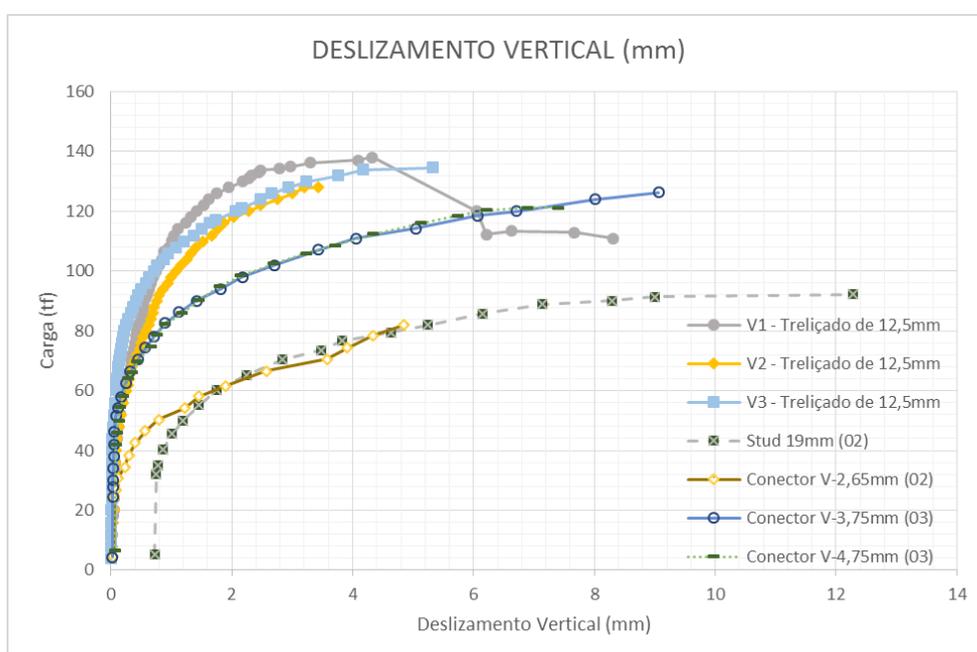


Figura 5.14 – Gráfico de deslizamento vertical médio dos três modelos ensaiados e dos conectores ensaiados por Cavalcante (2010).

#### 5.4 SEPARAÇÃO TRANSVERSAL – UPLIFT

A separação transversal entre as duas lajes dos modelos do ensaio de *push-out*, também chamado de *uplift*, foi medido a duas alturas, de um mesmo lado da alma do perfil metálico. O gráfico das Figura 5.15, Figura 5.16 e Figura 5.17 demonstram os resultados obtidos para cada modelo ensaiado, sendo o defletômetro mais alto denominado ‘DEF H1’ e o outro ‘DEF H2’, distantes 25cm entre si. A Figura 5.18 traz um comparativo entre os valores médios dos dois defletômetros de cada modelo ensaiado.

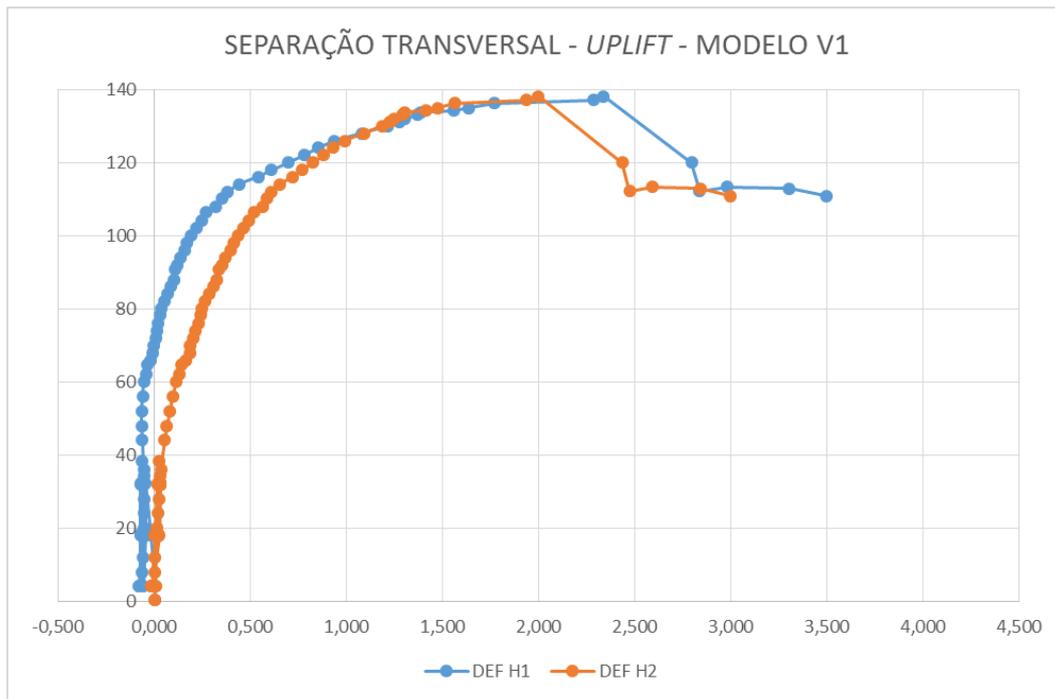


Figura 5.15 – Gráficos de separação transversal – *uplift* – pela carga para o modelo V1 com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios.

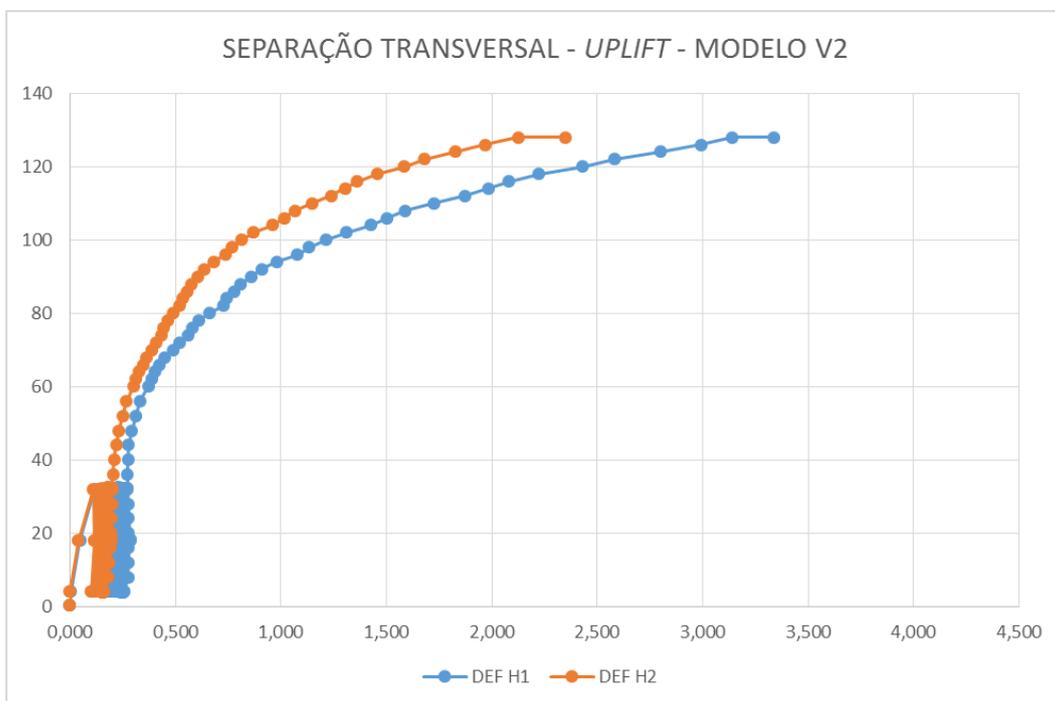


Figura 5.16 – Gráficos de separação transversal – *uplift* – pela carga para o modelo V2 com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios.

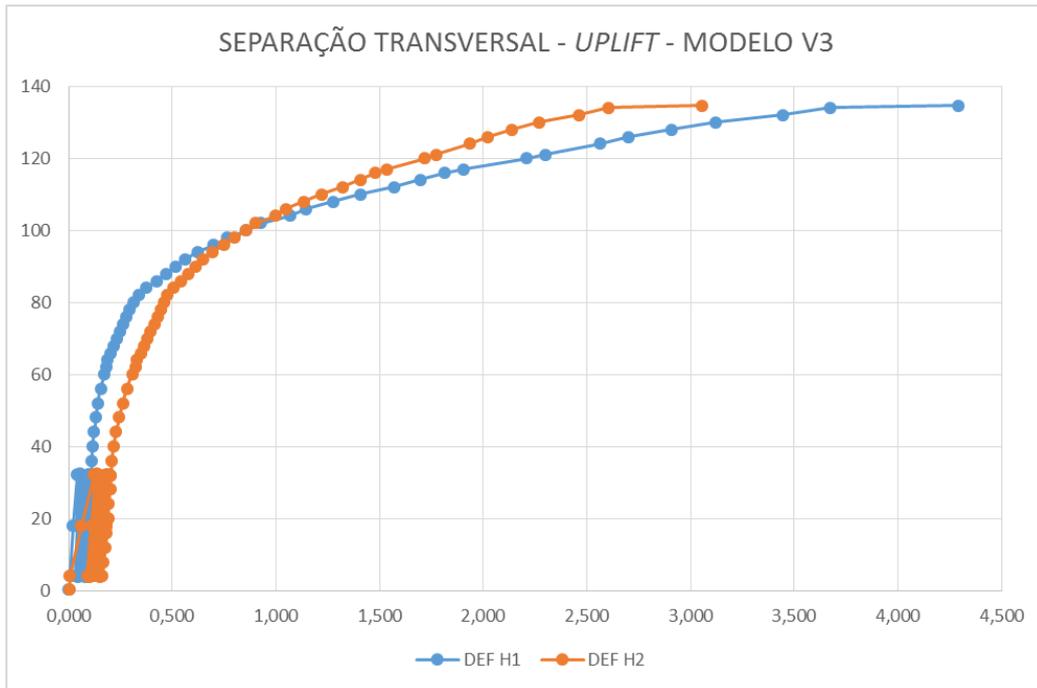


Figura 5.17 – Gráficos de separação transversal – *uplift* – pela carga para o modelo V3 com as leituras dos dois defletômetros posicionados nos ensaios.

Em relação aos gráficos com os resultados dos dois defletômetros, pode-se observar uma boa concordância entre os mesmos, sem que tenha surgido um padrão claro quanto a que parte se afastou mais, se a mais baixa ou a mais alta da laje.

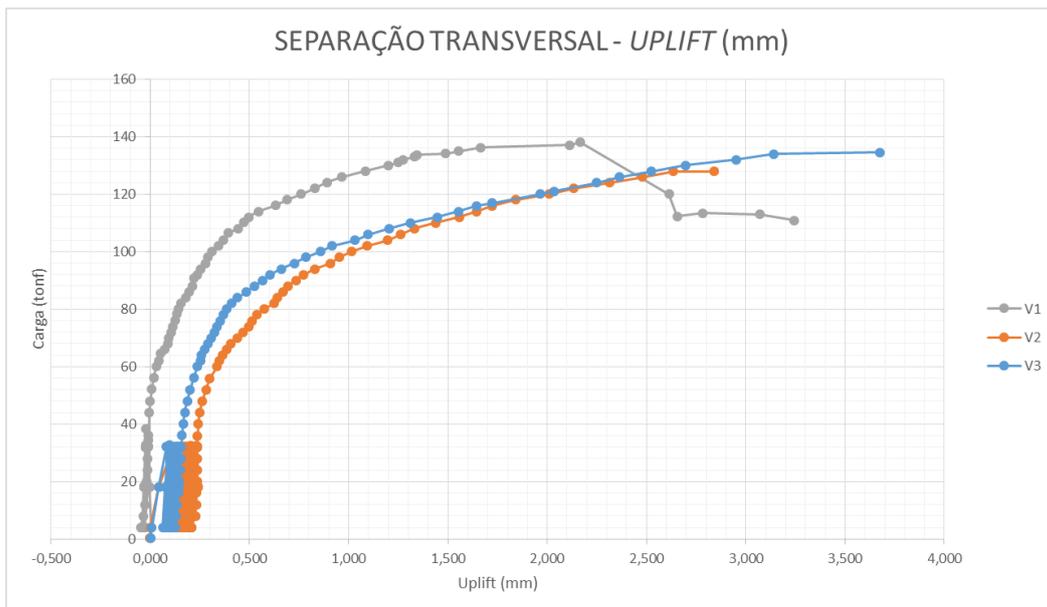


Figura 5.18 – Gráfico de separação transversal – *uplift* – média dos defletômetros pela carga para os três modelos.

Numa comparação entre os 3 modelos, observa-se que o modelo V1 destoou dos demais, apresentando *uplifts* menores para as mesmas cargas, ou seja, com uma capacidade maior de unir a mesa do perfil à laje.

O gráfico da Figura 5.19 oferece uma comparação com os resultados de *uplift* obtidos por Cavalcante (2010) para os conectores *stud bolt* e “V” de diferentes espessuras. Foi novamente apresentada a média dos dois defletômetros horizontais para uma das três amostras para exibição no gráfico, a mesma selecionada pelo próprio autor em seu trabalho, identificada pelo número entre parênteses na legenda do gráfico. Também para este gráfico os conectores treliçados têm seus resultados apresentados a partir do 25º ciclo de carga, com a primeira deformação para carga próxima a 4 tf tomada como nula.

É possível concluir que o conector treliçado de 12,5 mm com o reforço sobre a dobra de barra de 16,0 mm possui uma resistência ao *uplift* superior ao *stud bolt* de 19 mm de diâmetro e mesma altura; superior ao conector ‘V’ de espessura 2,65 mm e mesma altura e próximo aos conectores ‘V’ de 3,75 mm e 4,75 mm.

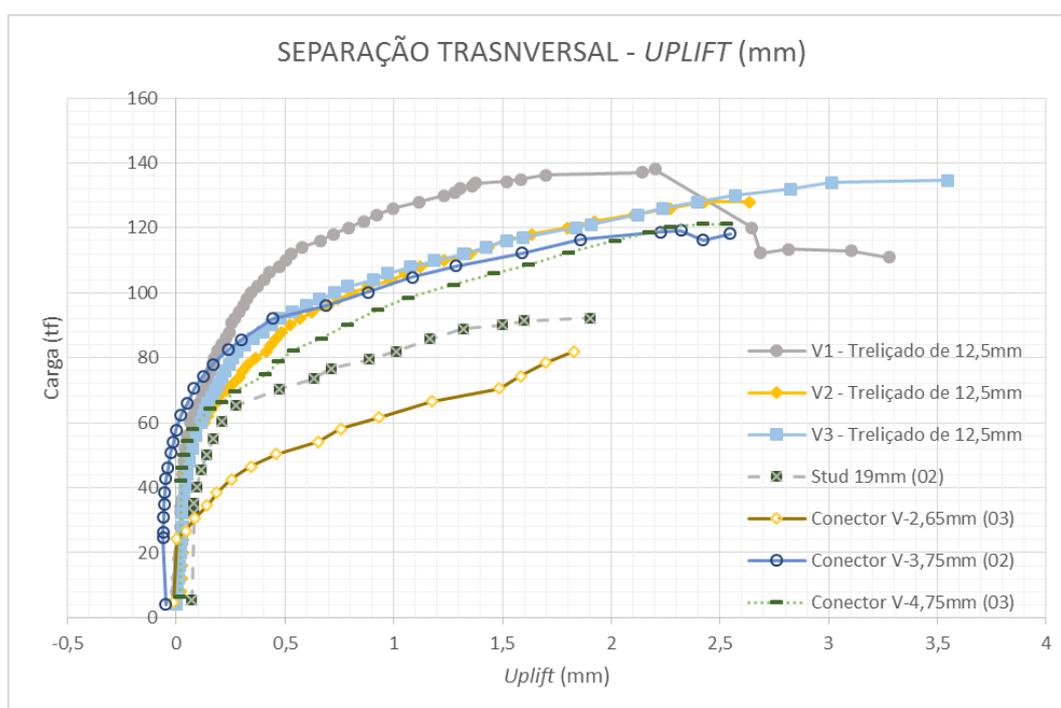
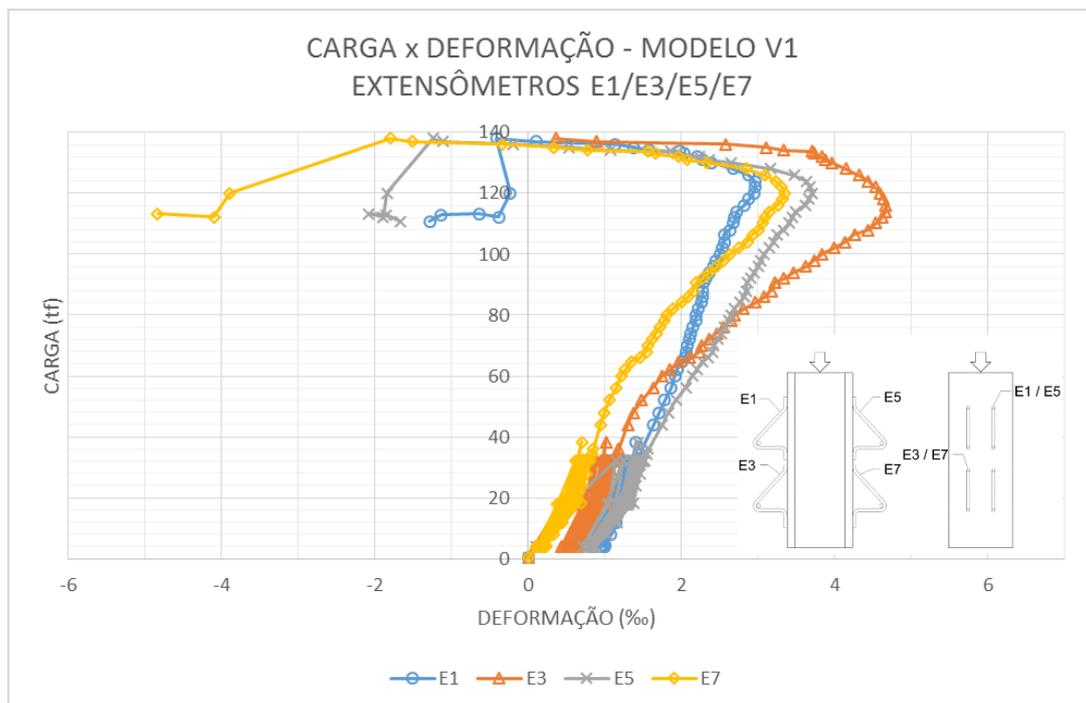
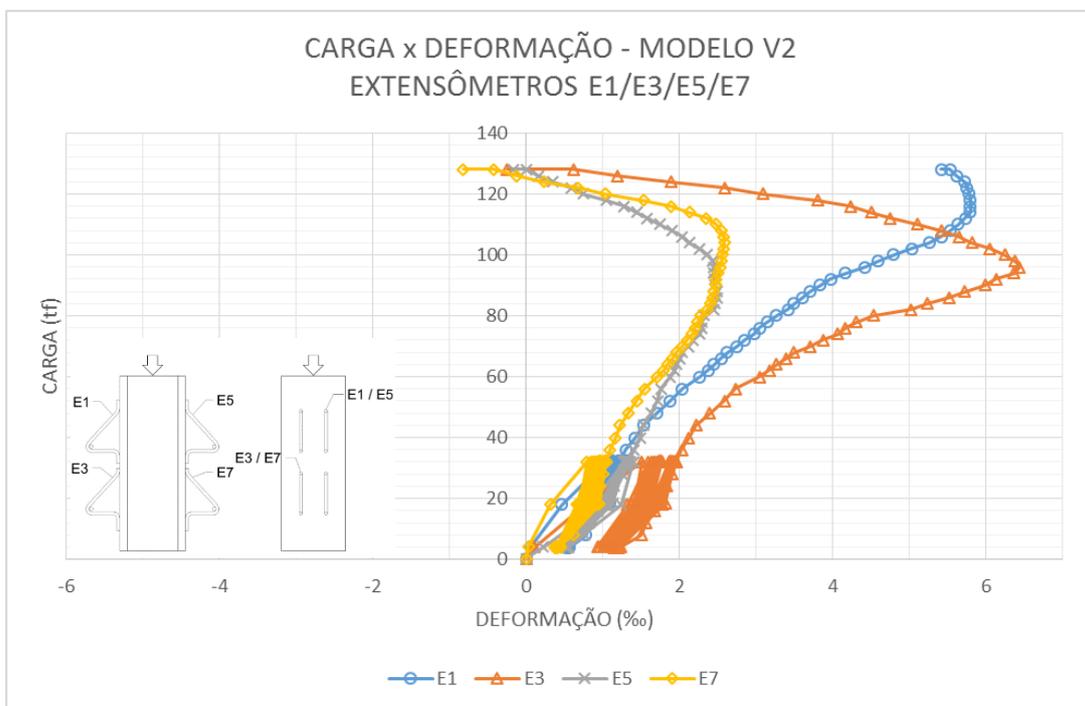
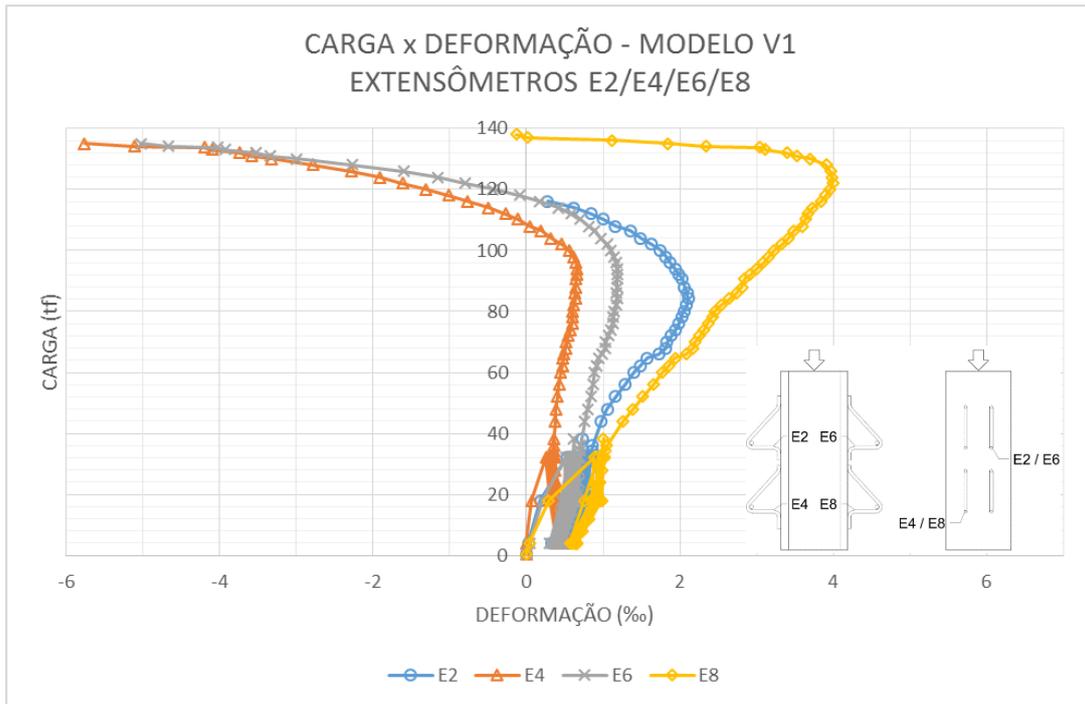


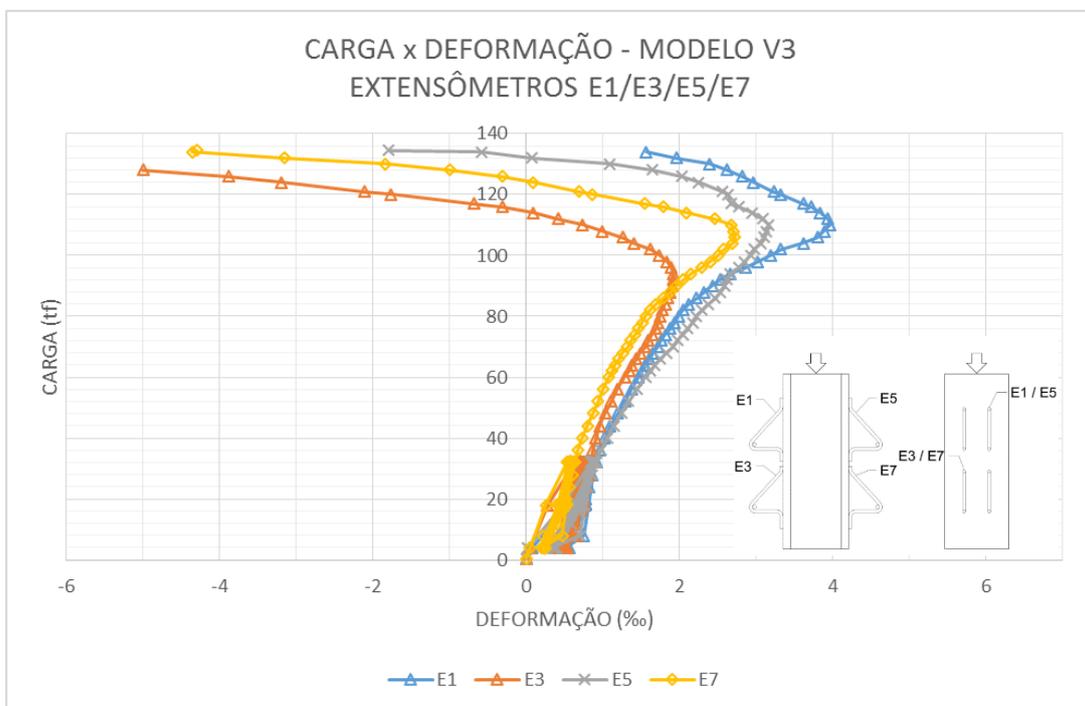
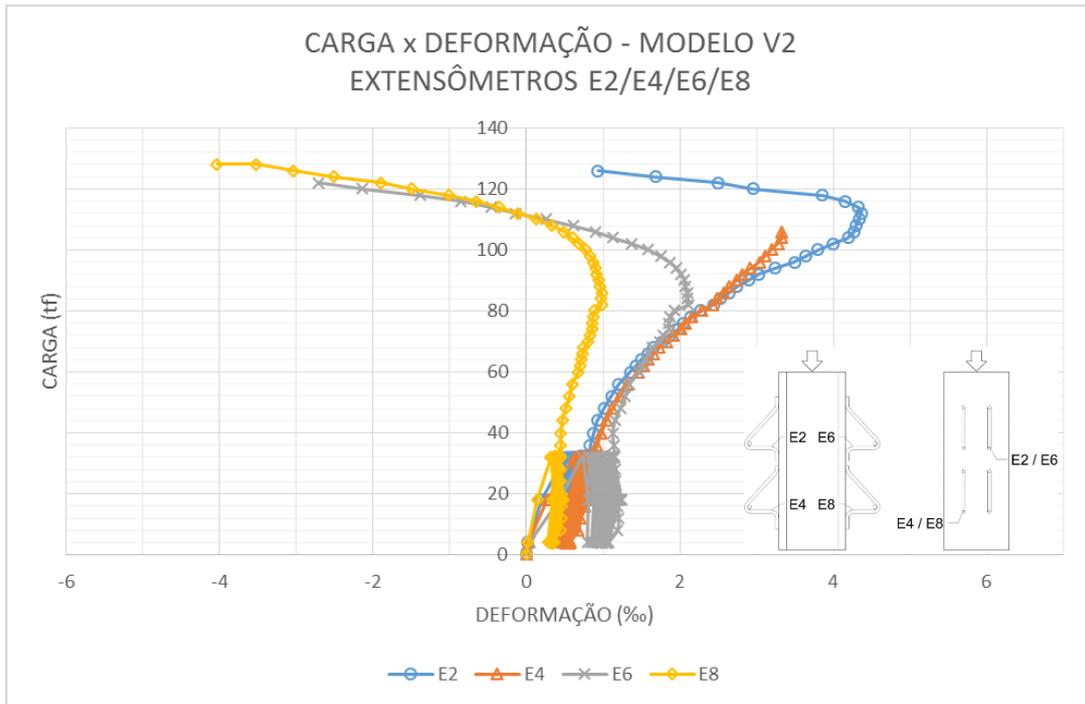
Figura 5.19 – Comparativos entre o *uplift* para diferentes conectores de cisalhamento ensaiados por Cavalcante (2010), com o mesmo posicionamento de defletômetros.

## 5.5 DEFORMAÇÕES DOS CONECTORES

As deformações medidas pelos extensômetros colados nos conectores estão representadas nos gráficos da Figura 5.20, para cada modelo. Nestes gráficos, os extensômetros foram agrupados em dois grupos, para cada modelo. O primeiro com os extensômetros fixados na perna diagonal do conector (extensômetros E1, E3, E5 e E7) e o segundo com os conectores posicionados sobre a haste vertical (extensômetros E2, E4, E6 e E8).







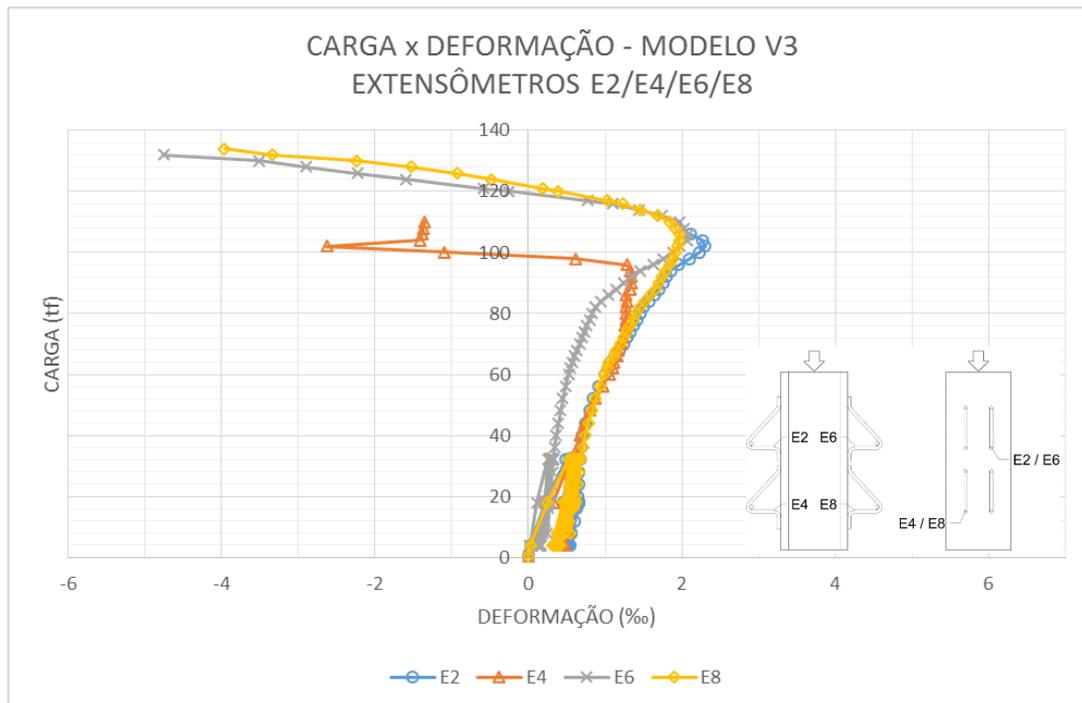


Figura 5.20 – Gráficos de carga x deformação dos extensômetros acoplados aos conectores.

O comportamento observado para todos os extensômetros é semelhante, com uma deformação positiva, neste caso de compressão, até determinada carga, geralmente em torno de 100 tf, a partir da qual o extensômetro indica deformação negativa, ou seja, aquela face da barra do conector começa a ser tracionada. Uma possível explicação para este fenômeno encontra-se ilustrado na Figura 5.21. Em (a), observa-se os conectores indeformados, para referência. Com a aplicação da carga  $F_1$ , o ensaio apresenta a configuração inicial de (b), em que as componentes da força de reação  $R_1$  fletam as pernas dos conectores para baixo, fazendo surgir uma tensão de compressão na face superior da barra, onde está localizado o extensômetro e de tração na face inferior. Isto ocorre por que os contatos dos conectores com o perfil, soldados, funcionam como engastes enquanto a parte de cima do conector tem menos rigidez e se desloca para cima. Além disso ocorre a atuação de força de compressão diretamente pela componente da reação  $R_1$  na direção da diagonal da barra. A partir de uma carga  $F_2 > F_1$ , de cerca de 80 a 100 tf, o deslizamento vertical e a separação transversal (*uplift*) aumentam significativamente, e ocorre o ilustrado em (c): o deslizamento vertical relativo do perfil em relação a laje,  $D_1$ , para baixo, desloca os apoios engastados dos conectores, causando flexão das barras no sentido contrário, para cima; concomitantemente, o deslocamento do *uplift*, provoca

tração, especialmente na haste vertical do conector, conforme o concreto que envolve o conector se desloca perpendicularmente a mesa do perfil.

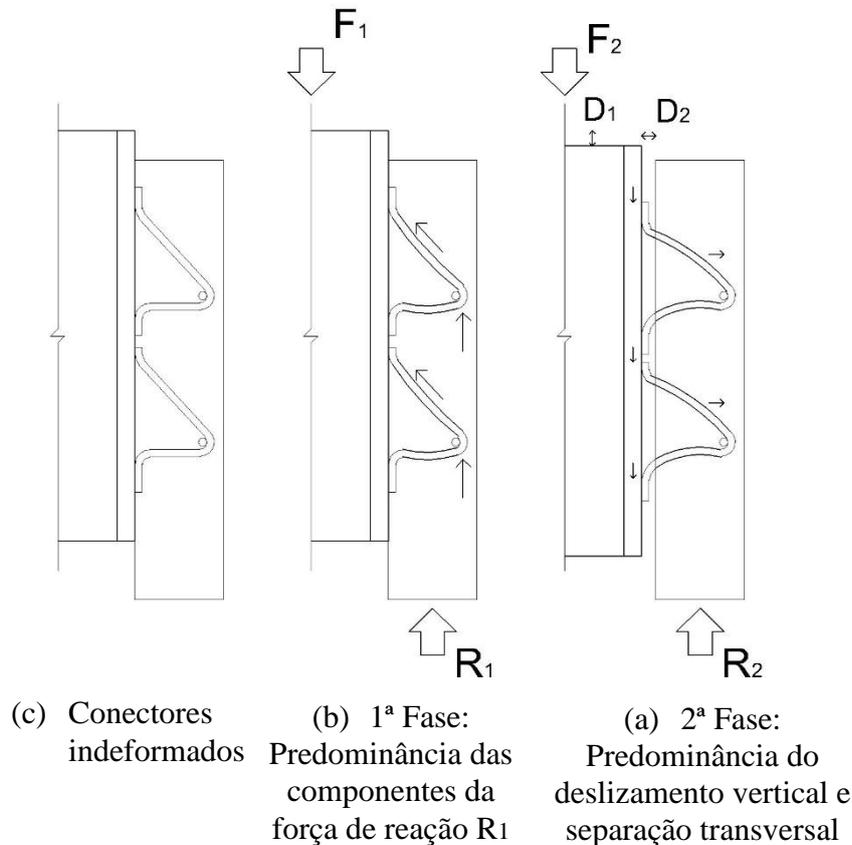


Figura 5.21 – Fases de carregamento do ensaio e respectivos comportamentos dos conectores.

Após os ensaios, o concreto das lajes foi rompido para que se pudesse observar a conformação dos conectores após a ruptura do modelo. O esforço de flexão mencionado pode ser observado claramente pelas fotos da Figura 5.22, que mostram as hastes verticais e diagonais dos conectores dobradas para cima, especialmente junto aos pontos de solda na mesa do perfil. Foi possível concluir também que a ruptura dos modelos se deu, na maior parte dos casos, por ruptura do conector junto a base da haste vertical, por tração, sempre em uma das lajes, com os modelos V2 e V3 apresentando 3 e 4 bases de hastes verticais rompidas desta forma, respectivamente, e o modelo V1 apresentando uma base de haste vertical extremamente estriccionada, embora não seccionada.

Observa-se também os modelos apresentam as bases de haste mais solicitadas concentradas em uma das duas lajes do modelo. Isto se deve provavelmente a alguma

excentricidade, seja pela aplicação da carga pelo pórtico, não perfeitamente centrada em relação ao perfil, por alguma imperfeição de alguma das lajes que teria cedido inicialmente mais que a outra ou por uma pequena inserção de alguma das mesas do perfil no concreto de sua respectiva laje na hora da concretagem, sobrecarregando uma das lajes em relação à outra.



(a) Modelo V1



(b) Modelo V2



(c) Modelo V3

Figura 5.22 – Fotos dos conectores após o ensaio.



Figura 5.23 – Detalhe da ruptura por tração na haste vertical no modelo V3.

## 5.6 FISSURAÇÃO DO CONCRETO

A fissuração das lajes de concreto seguiu um padrão bastante semelhante em todos os modelos. Nas faces externas das lajes dos modelos, ocorrem quatro pontos focais de fissuração, próximos a dobra superior do conector. Surgiram fissuras no caminho que o conector percorreria dentro da laje de concreto, provavelmente devido as forças de tração perpendiculares a esta direção de cisalhamento do concreto. A

Figura 5.24 traz esses mapas de fissuras para cada modelo. É possível observar que uma das faces (com exceção do modelo V2) se fissura de forma mais distribuída que a outra. Isto se deve provavelmente a alguma instabilidade causada por excentricidade do ensaio em que a face mais fissurada rotaciona mais que a outra. É preciso ressaltar que as fissuras surgiram com cargas muito elevadas, e por motivos de segurança não foi possível acompanhá-las na medida em que surgiam, registrando a sua evolução com o tempo.

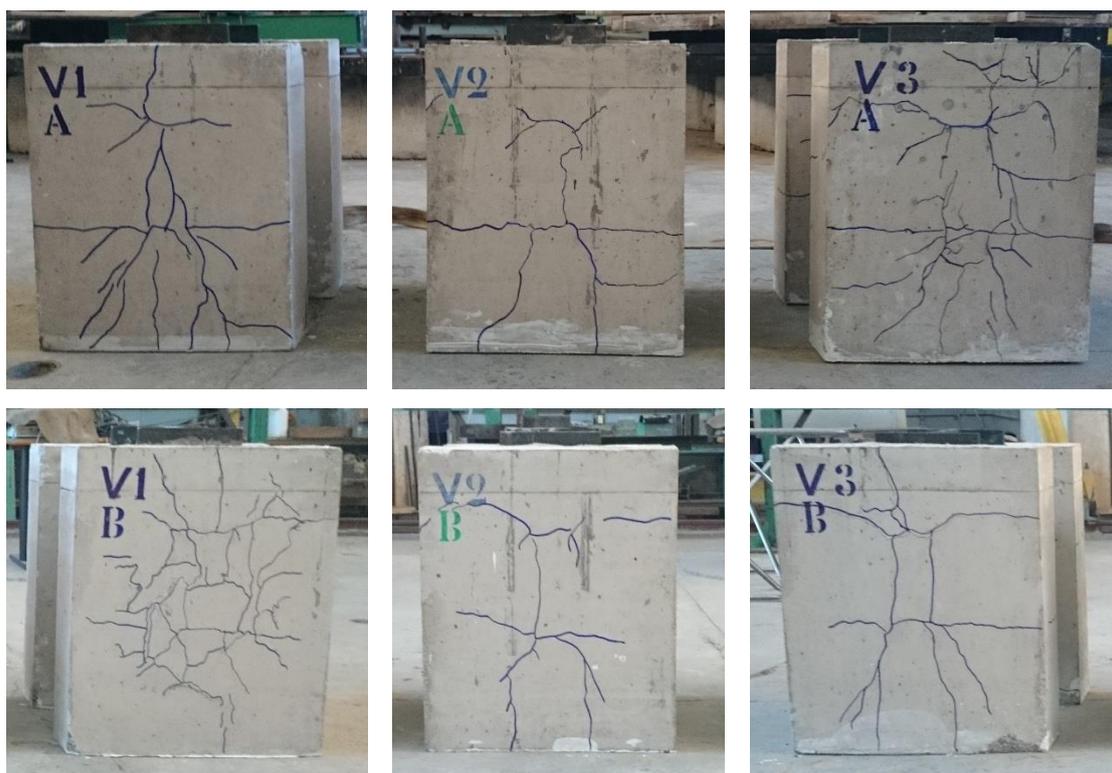


Figura 5.24 – Mapa de fissuras das faces externas das lajes dos modelos.

Embora tenha havido uma diferença considerável com relação à resistência à compressão e ao módulo de elasticidade entre o concreto obtido no ensaio de Cavalcante (2010), com 30,5 MPa e 24,1 GPa e o deste trabalho, com 47,7 MPa e 31,1 GPa, mostra-se a seguir, na Figura 5.25, o padrão de fissuração obtido por ele para os seus modelos de *stud bolt*, para fins de comparação.

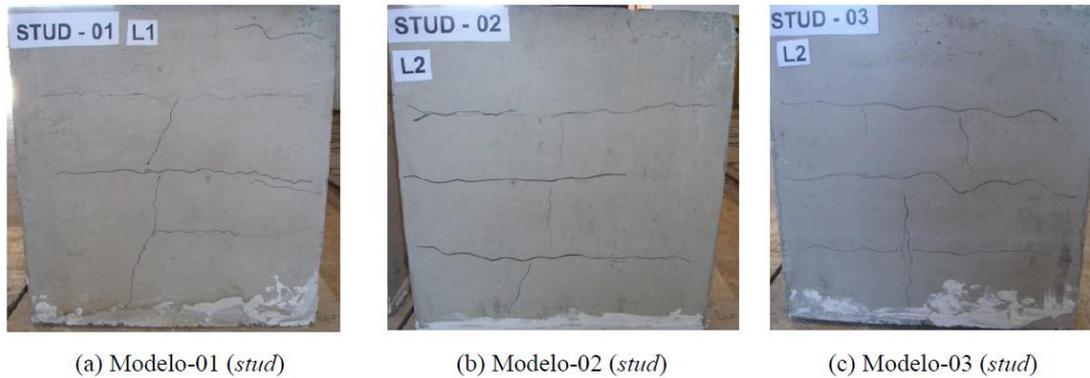


Figura 5.25 – Mapa de fissuras das faces externas das lajes dos modelos de *stud bolt* ensaiados por Cavalcante (2010).

Observa-se que a tendência de fissuração vertical em uma linha no caso dos *stud bolts*, não se repete tão claramente para o conector treliçado, que tem 2 linhas principais verticais, ou 1 mais lateral, indicando que o conector vizinho pode ter chegado perto mas acabou não provocando a mesma fissuração. Além disso, o conector treliçado gera 2 linhas horizontais bem definidas, enquanto o *stud* gera 3.

As faces superiores dos modelos V1 e V3 demonstram a continuidade de uma fissura, em cada laje, que aparece na face externa, indicando que esta fissura deve atravessar toda a espessura da laje, ao menos nesta parte superior. Uma vista superior dos modelos é exibida na Figura 5.26.



Figura 5.26 – Vista superior dos modelos após a ruptura, com os modelos V1, V2 e V3 dispostos nesta ordem da esquerda para a direita.

As faces laterais e internas das lajes estão retratadas na Figura 5.27. Um padrão observável é o surgimento, em uma das lajes do modelo junto à base no lado interno, uma quina com grande concentração de tensão de compressão. Em todos os modelos estas quinas sobrecarregadas aparecem na laje ‘A’. Estas são um claro indício da instabilidade causada por alguma excentricidade ou na aplicação da carga ou no próprio modelo, uma vez que evidenciam uma rotação maior desta laje ‘A’ em relação ao plano original da laje, conforme ilustrado na Figura 5.28. Além disso, algumas lajes apresentam fissuras horizontais.

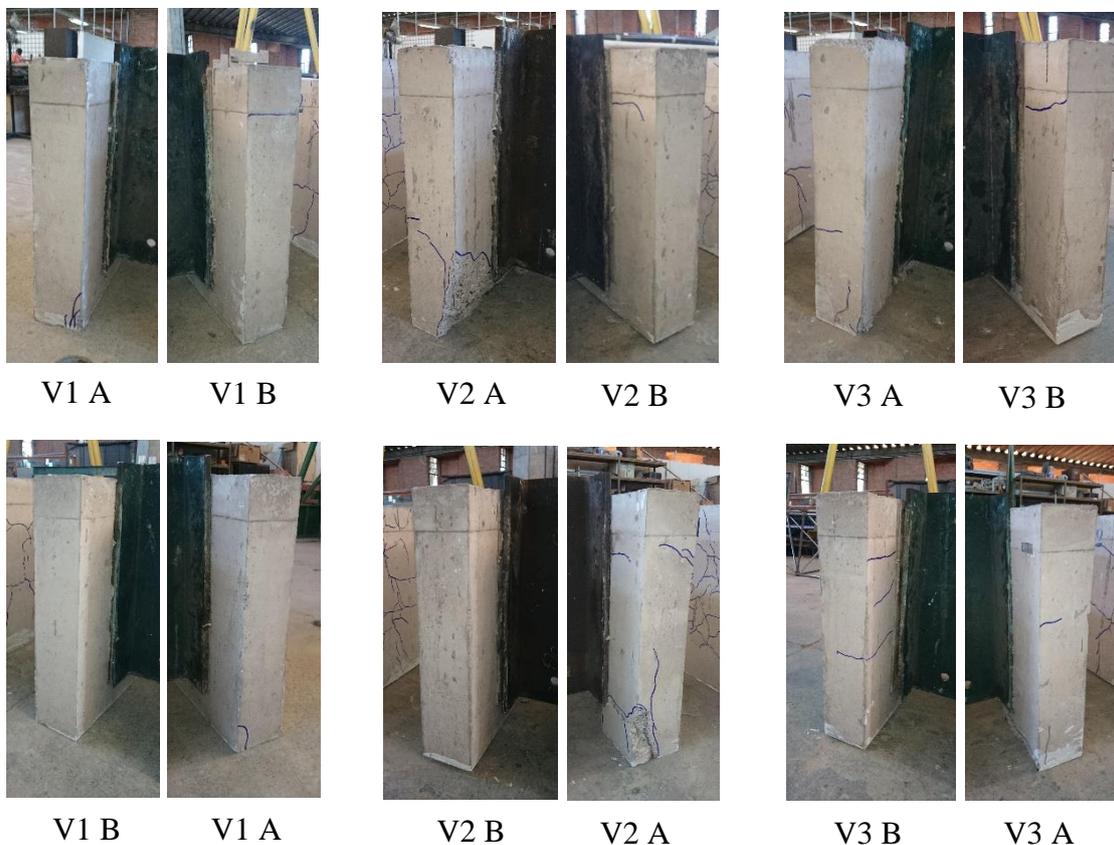


Figura 5.27 – Vistas laterais e internas das lajes dos modelos.

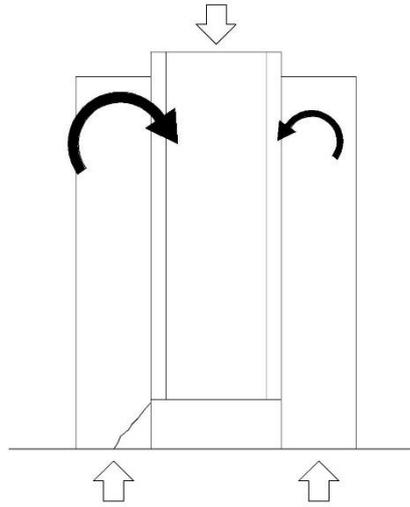


Figura 5.28 – Mecanismo de surgimento da quina fissurada, por rotação maior de uma laje em relação a outra, causada por instabilidade devido a alguma excentricidade.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O trabalho realizado para o estudo deste novo tipo de conector, denominado conector treliçado, permitiu concluir que este conector, de fácil produção e aquisição, apresenta considerável resistência mecânica, sendo de larga aplicabilidade em projetos de engenharia civil, representando uma solução construtiva e estrutural para as mais diversas aplicações no uso de estruturas mistas. A seguir serão resumidas as conclusões alcançadas através deste estudo.

### 6.1 CONCLUSÕES DO ESTUDO NUMÉRICO

O estudo numérico foi realizado através do método dos elementos finitos com a finalidade de obter parâmetros e resultados que justificassem um estudo experimental do conector treliçado, e que fundamentassem a escolha da bitola a ser ensaiada. Este estudo permitiu extrair, no entanto, diversas outras informações sobre o possível comportamento deste conector:

- O comportamento do conector treliçado quanto ao deslizamento vertical se mostrou bastante análogo e próximo ao do *stud bolt*;
- O conector treliçado de 10 mm apresentou carga resistente final 1,15% inferior a carga resistente do *stud*. Os conectores treliçados de 12,5 mm e 16 mm apresentaram cargas finais 4,29% e 10,21% maiores, respectivamente, que a do *stud bolt*.
- O deslizamento vertical dos conectores treliçados em relação ao *stud bolt* para uma carga de 10 tf foi 6% maior para a bitola de 10 mm; para as bitolas de 12,5 mm e 16 mm, foram 9% e 29% menores, respectivamente.
- Os conectores superiores, no modelo *push-out*, são os mais solicitados.
- O conector *stud bolt* apresentou menor concentração de tensões na mesa do perfil metálico, mas com maior deslizamento vertical em relação aos treliçados.
- Quanto maior a bitola do conector treliçado, maior a transferência de esforços para a mesa pela maior rigidez da ligação, menor o esforço absorvido pelo conector e menores os deslizamentos verticais da laje. Assim, para bitolas menores, há maior concentração de esforços no conector e menor concentração na mesa.

- Os conectores treliçados funcionam com a haste diagonal comprimindo a mesa e a haste vertical tracionando-a.
- O ensaio numérico creditou o conector treliçado a ser ensaiado experimentalmente. Escolheu-se a bitola de 12,5 mm, por ser ligeiramente mais resistente que o *stud bolt*, conquanto com um valor bastante próximo.

## 6.2 CONCLUSÕES DO ENSAIO EXPERIMENTAL

O ensaio experimental do conector treliçado de 12,5 mm tinha por objetivo permitir qualificar o conector de acordo com a norma europeia EN 1994-1-1:2004 quanto a sua resistência característica de projeto e quanto a sua ductilidade, além da determinação de outras características gerais acerca do seu comportamento. Foram obtidas as seguintes conclusões deste trabalho experimental:

- A resistência última do modelo de *push-out*, com os 8 conectores treliçados de 12,5 mm foi de 133,57 tf, o que corresponde a 16,70 tf por conector, 39 % maior que a resistência obtida no ensaio numérico, de 12,00 tf.
- O procedimento de cálculo da resistência de projeto pela norma EN 1994-1-1:2004 leva ao valor do  $P_{Rd}$  de 8,62 tf, bastante próximo do conector *stud bolt*, com resistência de projeto calculada analiticamente em 9,07 tf.
- Embora tenha sido possível realizar o alívio de carga de 20% desde a carga de ruptura para apenas um dos três modelos, para se chegar ao valor da capacidade de deslizamento  $\delta_u$ , chegou-se ao valor de 5,27 mm. Isto levaria a classificação deste conector como rígido pela norma.
- Por um lado, por ser rígido, o conector treliçado não pode ser considerado com uma deformação plástica ideal na ruptura, mas por outro, pode apresentar melhor comportamento à fadiga.
- O conector treliçado de 12,5 mm possui uma resistência ao *uplift* superior ao *stud bolt*; superior ao conector ‘V’ de espessura 2,65 mm e próximo aos conectores ‘V’ de 3,75 mm e 4,75 mm, ensaiados por Cavalcante (2010)
- Os conectores treliçados são solicitados à flexo-compressão, com a sua ruptura se dando geralmente por tração na base da haste vertical, quando a solda é suficientemente resistente.

### 6.3 CONCLUSÕES GERAIS

O conector treliçado de 12,5 mm, através de ensaio experimental, se mostrou uma alternativa bastante viável do ponto de vista do comportamento estrutural, uma vez que tem uma considerável resistência à separação da laje em relação ao perfil, o *uplift*, e um elevado valor de resistência última ao cisalhamento para um diâmetro reduzido, de 12,5mm, superior ao *stud bolt* de 19 mm ensaiado por Cavalcante (2010). Este conector também foi caracterizado como um conector rígido, o que o torna bom candidato ao emprego em estruturas muito sujeitas a cargas cíclicas como pontes por exemplo, uma vez que deve apresentar bom comportamento à fadiga, embora não possa ser considerado como plastificado de forma ideal em um cálculo de resistência última.

O conector treliçado, através deste trabalho, aparece como uma nova possibilidade de conexão em lajes mistas de aço-concreto, com diversas vantagens na aplicação prática em obra. Em primeiro lugar, o material que o constitui é facilmente encontrado no mercado especializado em construção civil. Depois, seu processo de fabricação é bastante simples, podendo ser executado por qualquer profissional armador com um mínimo de experiência junto a um operador de solda. Esta solda, por sinal, pode ser executada com eletrodos e máquinas comuns, sem a necessidade de aluguel de equipamentos específicos e muitas vezes onerosos que demandem considerável consumo de energia.

Por estas razões, o conector treliçado pode ser considerado uma solução não somente para obras de arte, mas principalmente para a habitação popular, embora necessite de estudos mais aprofundados.

### 6.4 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros com o conector treliçado ressaltam-se os seguintes:

- Realizar ensaios de *push-out* com outras 2 ou mais bitolas, além do conector *stud bolt*, para poder ter uma boa base de comparação.
- Desenvolver fórmula analítica para o cálculo da resistência do conector treliçado.
- Realizar ensaios em vigas bi-apoiadas com esforços solicitantes reais de flexão no conector, ao invés de somente o esforço cisalhante direto do ensaio *push-out*.

- Utilizar mecanismo de aplicação de carga por controle de deformação para facilitar o alívio de carga após a ruptura, melhorando o parâmetro de capacidade de deslizamento do conector.
- Realizar estudo experimental a respeito das forças de atrito e de coesão entre o aço e o concreto.
- Realizar estudos com variações de altura e ângulos de dobramento dos conectores treliçados, buscando uma alternativa otimizada.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2008). NBR 8800. Projeto e execução de estruturas de aço e de mistas aço e concreto de edifícios.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2007). NBR 5739. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1998). NBR NM 67. Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2011). NBR 7222. Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2008). NBR 8522. Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2013). NBR ISO 6892-1. Materiais metálicos – Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2007). NBR 7480. Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação.

ALVA, G. M. S.; MALITE, M.; (2005). Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto. Cadernos de Engenharia de Estruturas São Carlos, v. 7, n. 25, p. 51-84.

BARBOSA, P. C. (2000). Estudo da interação de paredes de alvenaria estrutural com vigas de concreto armado. Dissertação de Mestrado, Departamento de Estruturas da EESC-USP, São Carlos.

BOUAZAoui, L.; JURKIEWIEZ, B.; DELMAS, Y.; LI, A.; (2008). Static behaviour of a full-scale steel–concrete beam with epoxy-bonding connection. Engineering Structures 30 (2008) 1981–1990.

BREUNINGER U.; (2001). Design of lying studs with longitudinal shear force. In: International symposium on connections between steel and concrete. 2001, p. 1015–24.

CAVALCANTE, O. R. O. (2010). Estudo de Conectores de Cisalhamento do Tipo ‘V’ em Vigas Mistas. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação E.TD – 006/10, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 192p.

CHAVES, I. A.; (2009). Viga mista de aço e concreto constituída por perfil formado a frio preenchido. Dissertação (Mestrado-Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

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

CRISINEL M.; (1990). Partial-interaction analysis of composite beams with profiled sheeting and non-welded shear connectors. J. Constr. Steel Res., 15: 65-98.

CRUZ, P. J. S.; VALENTE, I.; VERÍSSIMO, GUSTAVO S.; PAES, JOSÉ LUIZ R.; FAKURY, R. H.; (2006). Desenvolvimentos recentes no domínio da conexão aço-concreto no contexto das estruturas mistas. VI Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto, São Paulo, Brasil, Abril 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. São Carlos. 250p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2007.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (2004). 1994-1-1: Eurocode 4 - Design of composite steel and concrete structures; Part 1.1: General rules and rules for buildings.

GALJAARD, H.; WALRAVEN, J.C.; (2001) Behaviour of different types of shear connectors for steel-concrete structures. Structural Engineering, Mechanics and Computation (Vol. 1) A. Zingoni (Editor) 2001 Elsevier Science Ltd. p. 385-392.

HOTTIER, J. M., JEANMEURE B., TURCK J. P.; (2002) Etude expérimentale du procédé de connexion directe par encastrement de l’âme dans le béton fretté — Essais push-out. Research Report, Projet National MIKTI, France; 2002.

JOHNSON, R. P. (1994) Composite structures of steel and concrete - Volume 1: beams, slabs, columns, and frames for buildings. 188 p. Second edition. Ed. Blackwell Scientific Publications.

JURKIEWIEZ, B.; MEAUD, C.; MICHEL, L.; (2011). Non linear behaviour of steel–concrete epoxy bonded composite beams. *Journal of Constructional Steel Research* 67 (2011) 389–397.

JURKIEWIEZ, B.; HOTTIER, J.M.; (2005). Static behaviour of a steel–concrete composite beam with an innovative horizontal connection. *Journal of Constructional Steel Research* 61 (2005) 1286–1300.

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

KIRCHOF, L. D.; (2004). Uma contribuição ao estudo de vigas mistas aço-concreto simplesmente apoiadas em temperatura ambiente e em situação de incêndio. São Carlos. 143p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

KOTINDA, T. I. (2006). Modelagem numérica de vigas mistas aço-concreto simplesmente apoiadas: ênfase ao estudo da interface laje-viga, Dissertação de Mestrado, Departamento de Estruturas da EESC-USP, São Carlos.

KRAUS D., WURZER O.; (1997) Bearing capacity of concrete dowels. In: International conference on composite construction — conventional and innovative. 1997, p. 133–8.

KUHLMAN U., KÜRCHNER K.; (2001). Behavior of lying shear studs in reinforced concrete slabs. In: International symposium on connections between steel and concrete. 2001, p. 1076–85.

LAWSON, R. M. (1992). Shear connection in composite beams. *Proceedings of Composite Construction in Steel and Concrete II*. ASCE. New York.

LEE, K.; HAN, J.; (1998). Fatigue behavior of composite beams with pyramidal shear connectors under repeated loading. *KSCE J. Civil Eng.*, 2: 119-128.

LEONHARDT, F.; et al. Neues vorteilhaftes verbundmittel für stahlverbund-tragwerk mit höher dauerfestigkeit (New advantageous shear connection for composite structures with high fatigue strength). *Beton und Stahlbetonbau*, Berlim, 1987, No. 12, pp. 325-331.

MAHDI S.; SHARIATI, A.; RAMLISULONG, N. H.; MELDISUHATRIL; (2012). Various types of shear connectors in composite structures: A review. Department of Civil Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia.

MALITE, M.; (1990). Sobre o cálculo de vigas mistas aço-concreto: ênfase em edifícios. São Carlos. 144p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

MALITE, M. (1993). Análise do comportamento estrutural de vigas mistas aço-concreto constituídas por perfis de chapa dobrada. São Carlos. 2v. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

NISHIMURA A., OKUMURA T., ARIGA Y.; (1971) Shear connector utilizing the reinforcing steel in composite girder slab. In: Proceedings of the symposium on new techniques in the construction of structures, 17th national symposium on bridges and structural engineering, Japan Society for the Promotion of Science. 1971, p.35–47.

OEHLERS, D. J.; PARK, S. M.; (1992). Shear connectors in composite beams with longitudinally cracked slabs. *Journal of Structural Engineering*, v.118, p.2004-2022.

OEHLERS, D. J.; NGUYEN, N. T.; AHMED, M.; BRADFORD, M. A. (1997) Partial interaction in composite steel and concrete beams with full shear connection. *Journal of Constructional Steel Research*. N. 2/3, vol.41.

OGUEJIOFOR, E. C.; HOSAIN, M. U.; (1994). A parametric study of perfobond rib shear connectors, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21, pp. 614-625.

RODERA G. A.; (2008). Design of composite beams using light steel sections. [pdfgemi.com/book/steel-beam-design-examples-pdf.html](http://pdfgemi.com/book/steel-beam-design-examples-pdf.html).

SILVA, P. H. M.; (2006). Conector de cisalhamento em perfil formado a frio: Análise via modelagem computacional. 2006. 183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, 2006.

SMITH, (2005). Fotografia da Ponte Rock Rapids Bridge, localizada em Iowa, E.U.A. Retirada do site <http://bridgehunter.com/ia/lyon/melan/>, acessado no dia 25/01/2015 às 21:35 h.

TAHIR, M. M.; SHEK, P. N.; TAN, C. S.; (2009). Push-off tests on pin-connected shear studs with composite steel–concrete beams. *Construction and Building Materials* 23 3024–3033.

THOMANN, M.; LEBET, J. P.; (2008) A mechanical model for connections by adherence for steel–concrete composite beams. *Engineering Structures* 30 (2008) 163–173.

TRISTÃO, G. A.; (2002). Comportamento de Conectores de Cisalhamento em Vigas Mistas Aço-Concreto com Análise da Resposta Numérica. Dissertação de Mestrado em Estruturas. EESC-USP.

VALENTE, I.; CRUZ, P. J. S.; (2004). Experimental analysis of Perfobond shear connection between steel and lightweight concrete. *Journal of Constructional Steel Research* 60 (2004) 465–479.

VIANNA, J. C.; COSTA-NEVES, L. F.; VELLASCO, P. C. G. S.; DE ANDRADE, S. A. L.; (2009). Experimental assessment of Perfobond and T-Perfobond shear connectors' structural response. *Journal of Constructional Steel Research* 65 (2009) 408–421.

VELLASCO, P. C. G. S.; DE ANDRADE, S. A. L.; FERREIRA, L. T. S.; DE LIMA, L. R. O.; (2007). Semi-rigid composite frames with perfobond and T-rib connectors - Part 1: Full scale tests. *Journal of Constructional Steel Research* 63 (2007) 263–279.

VERÍSSIMO, G. S.; (2007). Desenvolvimento de um conector de cisalhamento em chapa dentada para estruturas mistas de aço e concreto e estudo do seu comportamento. Tese de Doutorado em Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade de Federal de Minas Gerais, 290p.

VIANNA, J. C.; (2009). Avaliação do comportamento estrutural de conectores Perfobond e T-Perfobond para vigas mistas. Rio de Janeiro. PUC, Departamento de Engenharia Civil.

## **APÊNDICES**

## A. PASSOS DE CARGA APLICADOS NOS EXPERIMENTOS

Tabela A.1 - Evolução de cargas para o modelo V1

Ciclos	Tempo	Passos de Carga	Carga Prevista (kN)	Carga Real (kN)
PRÉ	00:00:00	0	0,0	2,9
	00:01:48	1	9,8	39,2
	00:02:43	2	19,6	176,9
	00:03:45	3	29,4	315,4
	00:04:34	4	39,2	177,3
1	00:06:01	5	49,0	39,2
	00:07:12	6	58,8	176,5
	00:07:40	7	68,6	316,6
	00:08:20	8	78,5	177,1
2	00:09:10	9	88,3	39,6
	00:09:28	10	98,1	176,5
	00:09:34	11	107,9	313,8
	00:10:12	12	117,7	176,9
3	00:10:56	13	127,5	40,2
	00:11:32	14	137,3	177,5
	00:12:13	15	147,1	314,6
	00:12:33	16	156,9	177,1
4	00:13:26	17	166,7	39,8
	00:13:52	18	176,5	180,8
	00:14:40	19	186,3	315,4
	00:15:01	20	196,1	177,1
5	00:15:55	21	205,9	39,6
	00:16:19	22	215,7	179,7
	00:17:08	23	225,6	313,8
	00:17:29	24	235,4	177,7
6	00:18:22	25	245,2	39,4
	00:20:01	26	255,0	177,7
	00:20:18	27	264,8	376,4
	00:20:36	28	274,6	176,5
7	00:21:29	29	284,4	39,6
	00:22:06	30	294,2	177,7
	00:22:26	31	304,0	320,3
	00:22:44	32	313,8	176,7
8	00:23:45	33	323,6	39,2
	00:23:59	34	333,4	179,7
	00:24:09	35	343,2	315,6
	00:24:29	36	353,0	176,5
9	00:25:52	37	362,8	39,8
	00:26:26	38	372,7	177,5
	00:26:48	39	382,5	313,8
	00:27:05	40	392,3	176,5

Tabela A.1 - Evolução de cargas para o modelo V1 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
10	00:27:52	41	402,1	39,4
	00:29:42	42	411,9	176,7
	00:29:55	43	421,7	315,8
	00:30:12	44	431,5	178,5
11	00:31:35	45	441,3	39,4
	00:32:42	46	451,1	177,5
	00:35:15	47	460,9	314,0
	00:35:33	48	470,7	177,5
12	00:36:28	49	480,5	39,8
	00:37:57	50	490,3	176,9
	00:39:39	51	500,1	313,8
	00:40:03	52	509,9	176,5
13	00:41:15	53	519,8	39,4
	00:42:22	54	529,6	177,3
	00:44:06	55	539,4	314,0
	00:44:55	56	549,2	176,7
14	00:46:08	57	559,0	39,2
	00:48:21	58	568,8	176,9
	00:50:22	59	578,6	314,2
	00:50:41	60	588,4	177,5
15	00:52:03	61	598,2	39,2
	00:56:16	62	608,0	176,5
	00:57:44	63	617,8	314,4
	00:58:02	64	627,6	176,7
16	00:59:07	65	637,4	39,6
	00:59:52	66	647,2	176,7
	01:03:19	67	657,0	315,4
	01:05:34	68	666,9	176,5
17	01:06:17	69	676,7	39,2
	01:07:10	70	686,5	176,5
	01:07:43	71	696,3	313,8
	01:08:11	72	706,1	176,5
18	01:08:38	73	715,9	39,4
	01:08:55	74	725,7	186,1
	01:09:32	75	735,5	314,8
	01:09:41	76	745,3	179,1
19	01:10:07	77	755,1	39,8
	01:10:24	78	764,9	180,6
	01:10:57	79	774,7	314,6
	01:11:05	80	784,5	180,4

Tabela A.1 - Evolução de cargas para o modelo V1 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
20	01:11:30	81	794,3	39,4
	01:11:51	82	804,1	188,3
	01:12:58	83	814,0	314,4
	01:13:07	84	823,8	178,5
21	01:14:11	85	833,6	39,4
	01:14:53	86	843,4	177,1
	01:15:04	87	853,2	314,4
	01:15:14	88	863,0	181,6
22	01:15:39	89	872,8	39,4
	01:16:25	90	882,6	176,7
	01:16:54	91	892,4	314,4
	01:17:02	92	902,2	182,0
23	01:17:26	93	912,0	40,0
	01:18:48	94	921,8	176,5
	01:19:36	95	931,6	314,0
	01:20:35	96	941,4	176,7
24	01:21:06	97	951,2	39,4
	01:22:47	98	961,1	180,8
	01:24:42	99	970,9	315,2
	01:24:53	100	980,7	174,6
25	01:28:39	101	990,5	40,8
	01:29:54	102	1000,3	78,6
	01:30:58	103	1010,1	117,7
	01:31:43	104	1019,9	177,3
	01:32:03	105	1029,7	196,7
	01:32:33	106	1039,5	235,4
	01:33:13	107	1049,3	274,6
	01:33:37	108	1059,1	314,8
RUPTURA	01:33:42	109	1068,9	336,8
	01:33:47	110	1078,7	353,6
	01:35:31	111	1088,5	432,1
	01:35:54	112	1098,3	470,9
	01:36:13	113	1108,2	510,9
	01:36:33	114	1118,0	550,7
	01:36:43	115	1127,8	589,0
	01:36:54	116	1137,6	608,2
	01:37:09	117	1147,4	634,9
	01:37:15	118	1157,2	647,2
	01:37:20	119	1167,0	666,9
	01:37:22	120	1176,8	686,5
	01:37:28	121	1186,6	706,1
	01:37:40	122	1196,4	725,7

Tabela A.1 - Evolução de cargas para o modelo V1 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
	01:37:57	123	1206,2	746,1
	01:38:10	124	1216,0	768,3
	01:38:15	125	1225,8	784,5
	01:38:25	126	1235,6	804,7
	01:38:48	127	1245,4	825,1
	01:38:56	128	1255,3	844,0
	01:39:03	129	1265,1	863,0
	01:39:08	130	1274,9	890,4
	01:39:21	131	1284,7	902,4
	01:39:38	132	1294,5	921,8
	01:39:59	133	1304,3	941,4
	01:40:14	134	1314,1	961,1
	01:40:30	135	1323,9	980,9
	01:40:51	136	1333,7	1000,3
	01:41:09	137	1343,5	1019,9
	01:41:20	138	1353,3	1044,0
	01:41:48	139	1363,1	1059,1
	01:42:02	140	1372,9	1080,3
	01:42:09	141	1382,7	1098,3
	01:42:22	142	1392,5	1118,0
	01:42:53	143	1402,4	1138,2
	01:43:12	144	1412,2	1157,4
	01:43:34	145	1422,0	1176,8
	01:43:54	146	1431,8	1196,4
	01:44:08	147	1441,6	1216,6
	01:44:21	148	1451,4	1235,6
	01:44:46	149	1461,2	1255,6
	01:45:11	150	1471,0	1275,1
	01:45:22	151	1480,8	1284,9
	01:45:25	152	1490,6	1295,1
	01:45:31	153	1500,4	1304,3
	01:45:33	154	1510,2	1311,5
	01:45:49	155	1520,0	1316,1
	01:46:00	156	1529,8	1323,9
	01:46:16	157	1539,6	1335,7
	01:46:31	158	1549,5	1344,5
	01:46:35	159	1559,3	1354,5
	01:47:36	160	1569,1	1177,0
	01:47:37	161	1578,9	1100,7
	01:47:40	162	1588,7	1111,7
	01:47:52	163	1598,5	1107,6
	01:48:14	164	1608,3	1087,2

Tabela A.2 - Evolução de cargas para o modelo V2

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
PRÉ	00:00:00	0	0,0	3,7
	00:01:38	1	39,2	39,6
	00:06:12	2	176,5	176,5
	00:09:06	3	313,8	314,0
	00:12:55	4	176,5	176,5
1	00:18:57	5	39,2	39,2
	00:22:01	6	176,5	176,7
	00:24:20	7	313,8	314,2
	00:25:41	8	176,5	177,1
2	00:29:16	9	39,2	39,2
	00:31:44	10	176,5	176,5
	00:35:07	11	313,8	313,8
	00:37:36	12	176,5	176,9
3	00:42:35	13	39,2	39,2
	00:46:59	14	176,5	177,9
	00:48:32	15	313,8	315,0
	00:49:33	16	176,5	177,1
4	00:52:31	17	39,2	39,4
	00:53:32	18	176,5	177,5
	00:54:43	19	313,8	314,4
	00:57:48	20	176,5	176,9
5	01:00:16	21	39,2	39,2
	01:03:56	22	176,5	176,5
	01:09:15	23	313,8	314,8
	01:13:05	24	176,5	177,1
6	01:15:27	25	39,2	39,2
	01:17:04	26	176,5	176,9
	01:17:58	27	313,8	315,2
	01:18:47	28	176,5	176,1
7	01:20:19	29	39,2	39,6
	01:21:54	30	176,5	176,9
	01:23:05	31	313,8	314,0
	01:23:25	32	176,5	176,5
8	01:26:21	33	39,2	39,2
	01:27:15	34	176,5	177,9
	01:28:14	35	313,8	315,6
	01:29:00	36	176,5	177,3
9	01:31:49	37	39,2	39,6
	01:32:27	38	176,5	176,5
	01:33:07	39	313,8	314,4
	01:33:48	40	176,5	177,3

Tabela A.2 - Evolução de cargas para o modelo V2 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
10	01:36:26	41	39,2	39,2
	01:36:59	42	176,5	178,9
	01:37:36	43	313,8	318,9
	01:38:18	44	176,5	176,5
11	01:40:53	45	39,2	39,2
	01:41:24	46	176,5	178,5
	01:41:48	47	313,8	317,9
	01:42:27	48	176,5	176,5
12	01:45:02	49	39,2	39,2
	01:45:31	50	176,5	176,5
	01:46:03	51	313,8	313,8
	01:46:57	52	176,5	176,5
13	01:48:22	53	39,2	39,4
	01:48:41	54	176,5	177,1
	01:48:46	55	313,8	314,4
	01:49:12	56	176,5	179,1
14	01:50:48	57	39,2	39,2
	01:51:26	58	176,5	176,9
	01:52:04	59	313,8	315,2
	01:52:29	60	176,5	175,7
15	01:53:55	61	39,2	39,2
	01:54:20	62	176,5	179,5
	01:54:54	63	313,8	316,8
	01:55:18	64	176,5	176,3
16	01:57:26	65	39,2	39,2
	01:59:46	66	176,5	176,9
	02:02:25	67	313,8	314,6
	02:04:33	68	176,5	176,5
17	02:06:40	69	39,2	38,8
	02:08:18	70	176,5	176,5
	02:09:38	71	313,8	313,8
	02:09:53	72	176,5	176,5
18	02:10:24	73	39,2	39,8
	02:10:44	74	176,5	176,5
	02:11:47	75	313,8	313,8
	02:11:56	76	176,5	176,5
19	02:12:29	77	39,2	39,0
	02:13:20	78	176,5	176,9
	02:13:43	79	313,8	315,2
	02:13:59	80	176,5	176,9

Tabela A.2 - Evolução de cargas para o modelo V2 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
20	02:14:32	81	39,2	39,0
	02:15:28	82	176,5	176,5
	02:15:45	83	313,8	317,3
	02:15:53	84	176,5	177,5
21	02:16:30	85	39,2	38,8
	02:17:04	86	176,5	179,1
	02:17:41	87	313,8	314,0
	02:17:53	88	176,5	178,5
22	02:18:32	89	39,2	39,6
	02:19:37	90	176,5	176,5
	02:21:17	91	313,8	313,8
	02:21:31	92	176,5	176,5
23	02:22:09	93	39,2	39,8
	02:22:30	94	176,5	180,4
	02:22:59	95	313,8	315,4
	02:23:10	96	176,5	178,7
24	02:24:19	97	39,2	39,8
	02:25:04	98	176,5	179,5
	02:26:17	99	313,8	315,8
	02:26:29	100	176,5	177,1
25	02:27:28	101	39,2	39,2
	02:27:36	102	78,5	78,5
	02:28:19	103	117,7	117,7
	02:29:43	104	156,9	156,9
	02:30:13	105	196,1	196,1
	02:30:42	106	235,4	235,4
	02:31:37	107	274,6	274,6
	02:32:26	108	313,8	313,8
RUPTURA	02:33:15	109	353,0	353,0
	02:33:32	110	392,3	392,3
	02:33:41	111	431,5	431,5
	02:34:41	112	470,7	470,7
	02:35:39	113	509,9	509,9
	02:36:02	114	549,2	549,2
	02:37:05	115	588,4	588,4
	02:37:39	116	608,0	608,0
	02:37:52	117	627,6	627,6
	02:38:14	118	647,2	647,2
	02:38:25	119	666,9	666,9
	02:39:07	120	686,5	686,5
	02:39:50	121	706,1	706,1
	02:41:05	122	725,7	725,7

Tabela A.2 - Evolução de cargas para o modelo V2 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
RUPTURA	02:41:30	123	745,3	745,3
	02:41:54	124	764,9	764,9
	02:42:29	125	784,5	784,5
	02:47:39	126	804,1	804,1
	02:48:30	127	823,8	823,8
	02:49:33	128	843,4	843,4
	02:50:02	129	863,0	863,0
	02:50:40	130	882,6	882,6
	02:51:04	131	902,2	902,2
	02:51:38	132	921,8	921,8
	02:52:23	133	941,4	941,4
	02:52:49	134	961,1	961,1
	02:53:14	135	980,7	980,7
	02:53:43	136	1000,3	1000,3
	02:54:22	137	1019,9	1019,9
	02:54:47	138	1039,5	1039,5
	02:55:04	139	1059,1	1059,1
	02:55:32	140	1078,7	1078,7
	02:56:09	141	1098,3	1098,3
	02:56:37	142	1118,0	1118,0
	02:56:49	143	1137,6	1137,6
	02:57:04	144	1157,2	1157,2
	02:57:32	145	1176,8	1176,8
	02:57:57	146	1196,4	1196,4
	02:58:31	147	1216,0	1216,0
	02:59:02	148	1235,6	1235,6
	02:59:18	149	1255,3	1255,3
	02:59:27	150	1274,9	1255,3

Tabela A.3 - Evolução de cargas para o modelo V3

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
PRÉ	00:00:00	0	0,0	4,7
	00:00:30	1	39,2	39,2
	00:01:44	2	176,5	176,9
	00:02:46	3	313,8	316,0
	00:03:09	4	176,5	176,9
1	00:04:06	5	39,2	39,4
	00:04:52	6	176,5	177,3
	00:05:24	7	313,8	314,8
	00:05:44	8	176,5	175,5
2	00:06:45	9	39,2	39,2
	00:08:23	10	176,5	176,7
	00:08:48	11	313,8	320,5
	00:09:08	12	176,5	177,3
3	00:10:10	13	39,2	39,0
	00:10:41	14	176,5	176,5
	00:11:49	15	313,8	314,4
	00:12:10	16	176,5	177,1
4	00:13:09	17	39,2	40,0
	00:14:07	18	176,5	177,7
	00:14:42	19	313,8	314,2
	00:15:09	20	176,5	177,3
5	00:16:01	21	39,2	39,8
	00:18:56	22	176,5	177,3
	00:21:33	23	313,8	314,0
	00:21:55	24	176,5	176,1
6	00:23:20	25	39,2	39,4
	00:26:44	26	176,5	79,2
	00:27:29	27	313,8	314,6
	00:27:48	28	176,5	173,8
7	00:29:09	29	39,2	40,2
	00:29:49	30	176,5	179,1
	00:30:50	31	313,8	314,2
	00:31:07	32	176,5	177,1
8	00:32:20	33	39,2	39,4
	00:36:00	34	176,5	176,5
	00:38:02	35	313,8	313,8
	00:39:08	36	176,5	176,7
9	00:39:27	37	39,2	77,1
	00:40:31	38	176,5	176,9
	00:43:43	39	313,8	314,2
	00:45:53	40	176,5	177,5

Tabela A.3 - Evolução de cargas para o modelo V3 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
10	00:46:11	41	39,2	39,4
	00:47:13	42	176,5	179,5
	00:47:43	43	313,8	314,4
	00:49:35	44	176,5	176,1
11	00:49:52	45	39,2	39,2
	00:50:43	46	176,5	177,5
	00:52:51	47	313,8	314,4
	00:53:39	48	176,5	176,5
12	00:53:54	49	39,2	39,2
	00:54:52	50	176,5	179,5
	00:55:15	51	313,8	314,0
	00:56:19	52	176,5	177,3
13	00:56:34	53	39,2	40,8
	00:59:20	54	176,5	176,7
	01:01:38	55	313,8	316,6
	01:01:54	56	176,5	177,1
14	01:02:46	57	39,2	39,6
	01:03:15	58	176,5	177,7
	01:03:55	59	313,8	313,8
	01:04:08	60	176,5	176,5
15	01:04:55	61	39,2	39,2
	01:05:22	62	176,5	179,9
	01:05:52	63	313,8	316,0
	01:06:03	64	176,5	177,9
16	01:06:46	65	39,2	40,0
	01:07:08	66	176,5	177,7
	01:07:46	67	313,8	313,8
	01:07:57	68	176,5	177,3
17	01:08:38	69	39,2	39,6
	01:09:23	70	176,5	176,5
	01:12:09	71	313,8	313,8
	01:12:24	72	176,5	179,1
18	01:13:17	73	39,2	39,4
	01:15:28	74	176,5	178,1
	01:15:53	75	313,8	315,0
	01:16:53	76	176,5	176,7
19	01:17:39	77	39,2	39,2
	01:18:40	78	176,5	177,5
	01:19:06	79	313,8	316,0
	01:19:18	80	176,5	168,9

Tabela A.3 - Evolução de cargas para o modelo V3 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
20	01:20:03	81	39,2	38,8
	01:20:36	82	176,5	176,5
	01:21:06	83	313,8	314,6
	01:21:16	84	176,5	178,1
21	01:22:10	85	39,2	40,0
	01:22:37	86	176,5	176,7
	01:23:46	87	313,8	314,2
	01:24:00	88	176,5	176,7
22	01:25:26	89	39,2	39,8
	01:26:18	90	176,5	180,4
	01:27:06	91	313,8	314,6
	01:27:20	92	176,5	176,7
23	01:28:52	93	39,2	39,6
	01:29:15	94	176,5	178,3
	01:30:48	95	313,8	315,0
	01:31:00	96	176,5	179,5
24	01:31:45	97	39,2	39,4
	01:32:29	98	176,5	177,3
	01:33:17	99	313,8	314,2
	01:33:31	100	176,5	176,5
25	01:37:37	101	39,2	39,2
	01:39:20	102	78,5	78,5
	01:43:01	103	117,7	117,7
	01:43:53	104	156,9	156,9
	01:44:27	105	196,1	196,1
	01:45:06	106	235,4	235,4
	01:45:29	107	274,6	275,2
	01:46:12	108	313,8	314,6
RUPTURA	01:47:01	109	353,0	353,8
	01:47:29	110	392,3	392,5
	01:48:10	111	431,5	431,9
	01:48:38	112	470,7	471,5
	01:49:20	113	509,9	510,5
	01:49:39	114	549,2	549,4
	01:49:57	115	588,4	589,6
	01:50:19	116	608,0	608,2
	01:50:34	117	627,6	628,0
	01:50:44	118	647,2	647,2
	01:50:56	119	666,9	666,9
	01:51:14	120	686,5	686,5
	01:51:41	121	706,1	706,1
	01:51:58	122	725,7	725,7

Tabela A.3 - Evolução de cargas para o modelo V3 - Continuação

<b>Ciclos</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passos de Carga</b>	<b>Carga Prevista (kN)</b>	<b>Carga Real (kN)</b>
	01:52:19	123	745,3	745,3
	01:52:38	124	764,9	764,9
	01:52:50	125	784,5	784,5
	01:52:59	126	804,1	804,1
	01:53:09	127	823,8	823,8
	01:53:24	128	843,4	843,4
	01:53:44	129	863,0	863,0
	01:54:05	130	882,6	882,6
	01:54:23	131	902,2	902,2
	01:54:37	132	921,8	921,8
	01:54:53	133	941,4	941,4
	01:55:14	134	961,1	961,1
	01:55:30	135	980,7	980,9
	01:55:45	136	1000,3	1000,3
	01:55:54	137	1019,9	1019,9
	01:56:15	138	1039,5	1039,5
	01:56:25	139	1059,1	1059,1
	01:56:55	140	1078,7	1078,7
	01:57:16	141	1098,3	1098,3
	01:57:31	142	1118,0	1118,0
	01:57:41	143	1137,6	1137,6
	01:57:48	144	1157,2	1147,4
	01:58:08	145	1176,8	1176,8
	01:58:15	146	1196,4	1186,6
	01:58:39	147	1216,0	1216,0
	01:58:52	148	1235,6	1235,6
	01:59:07	149	1255,3	1255,3
	01:59:22	150	1274,9	1274,9
	01:59:41	151	1294,5	1294,5
	01:59:51	152	1314,1	1314,1
	02:00:04	153	1333,7	1320,0

## **B. DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS E VERTICAIS DOS MODELOS**

Nas Tabelas B.1 à B.3 são apresentados os valores dos deslocamentos verticais e horizontais registrados pelos LVDT's para as 4 posições monitoradas de cada modelo para cada passo de carga aplicado.

Tabela B.1 - Deslocamentos verticais no modelo V1

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
PRÉ	00:00:00	0	2,9	0,00	0,00	0,00	0,00
	00:01:48	1	39,2	-0,02	0,00	0,00	-0,01
	00:02:43	2	176,9	-0,07	-0,03	0,02	-0,01
	00:03:45	3	315,4	-0,21	-0,09	0,05	-0,03
	00:04:34	4	177,3	-0,20	-0,09	0,05	-0,02
1	00:06:01	5	39,2	-0,15	-0,07	0,06	0,00
	00:07:12	6	176,5	-0,19	-0,09	0,05	-0,02
	00:07:40	7	316,6	-0,24	-0,11	0,05	-0,03
	00:08:20	8	177,1	-0,23	-0,11	0,05	-0,02
2	00:09:10	9	39,6	-0,17	-0,09	0,06	0,00
	00:09:28	10	176,5	-0,23	-0,11	0,06	-0,02
	00:09:34	11	313,8	-0,27	-0,13	0,06	-0,03
	00:10:12	12	176,9	-0,27	-0,13	0,06	-0,02
3	00:10:56	13	40,2	-0,20	-0,11	0,07	0,00
	00:11:32	14	177,5	-0,25	-0,13	0,07	-0,01
	00:12:13	15	314,6	-0,29	-0,14	0,07	-0,02
	00:12:33	16	177,1	-0,27	-0,13	0,07	-0,02
4	00:13:26	17	39,8	-0,20	-0,12	0,07	0,01
	00:13:52	18	180,8	-0,26	-0,13	0,07	-0,01
	00:14:40	19	315,4	-0,29	-0,15	0,07	-0,02
	00:15:01	20	177,1	-0,27	-0,14	0,07	-0,02
5	00:15:55	21	39,6	-0,21	-0,12	0,07	0,01
	00:16:19	22	179,7	-0,27	-0,14	0,07	-0,01
	00:17:08	23	313,8	-0,30	-0,15	0,07	-0,02
	00:17:29	24	177,7	-0,28	-0,14	0,07	-0,02
6	00:18:22	25	39,4	-0,21	-0,12	0,07	0,01
	00:20:01	26	177,7	-0,27	-0,14	0,07	-0,01
	00:20:18	27	376,4	-0,31	-0,15	0,07	-0,02
	00:20:36	28	176,5	-0,28	-0,14	0,06	-0,02
7	00:21:29	29	39,6	-0,22	-0,13	0,07	0,01
	00:22:06	30	177,7	-0,27	-0,14	0,07	-0,01
	00:22:26	31	320,3	-0,31	-0,16	0,07	-0,02
	00:22:44	32	176,7	-0,29	-0,15	0,06	-0,01
8	00:23:45	33	39,2	-0,22	-0,13	0,07	0,01
	00:23:59	34	179,7	-0,29	-0,15	0,07	-0,02
	00:24:09	35	315,6	-0,31	-0,16	0,07	-0,03
	00:24:29	36	176,5	-0,29	-0,15	0,06	-0,02
9	00:25:52	37	39,8	-0,21	-0,13	0,08	0,01
	00:26:26	38	177,5	-0,29	-0,15	0,07	-0,01
	00:26:48	39	313,8	-0,32	-0,16	0,07	-0,02
	00:27:05	40	176,5	-0,30	-0,15	0,06	-0,01

Tabela B.1 - Deslocamentos verticais no modelo V1 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
10	00:27:52	41	39,4	-0,23	-0,13	0,07	0,01
	00:29:42	42	176,7	-0,29	-0,15	0,07	-0,01
	00:29:55	43	315,8	-0,32	-0,17	0,07	-0,02
	00:30:12	44	178,5	-0,30	-0,15	0,06	-0,01
11	00:31:35	45	39,4	-0,23	-0,13	0,07	0,01
	00:32:42	46	177,5	-0,29	-0,15	0,07	0,00
	00:35:15	47	314,0	-0,32	-0,17	0,06	-0,02
	00:35:33	48	177,5	-0,31	-0,16	0,06	-0,01
12	00:36:28	49	39,8	-0,23	-0,13	0,07	0,01
	00:37:57	50	176,9	-0,29	-0,16	0,07	0,00
	00:39:39	51	313,8	-0,33	-0,17	0,06	-0,02
	00:40:03	52	176,5	-0,31	-0,16	0,06	-0,01
13	00:41:15	53	39,4	-0,24	-0,14	0,07	0,01
	00:42:22	54	177,3	-0,30	-0,16	0,07	-0,01
	00:44:06	55	314,0	-0,33	-0,17	0,06	-0,03
	00:44:55	56	176,7	-0,29	-0,16	0,06	-0,01
14	00:46:08	57	39,2	-0,24	-0,14	0,07	0,01
	00:48:21	58	176,9	-0,30	-0,16	0,06	-0,01
	00:50:22	59	314,2	-0,33	-0,17	0,06	-0,03
	00:50:41	60	177,5	-0,32	-0,17	0,06	-0,02
15	00:52:03	61	39,2	-0,24	-0,14	0,07	0,00
	00:56:16	62	176,5	-0,30	-0,17	0,06	-0,01
	00:57:44	63	314,4	-0,33	-0,18	0,06	-0,03
	00:58:02	64	176,7	-0,32	-0,17	0,06	-0,02
16	00:59:07	65	39,6	-0,25	-0,14	0,07	0,00
	00:59:52	66	176,7	-0,31	-0,17	0,06	-0,01
	01:03:19	67	315,4	-0,34	-0,18	0,06	-0,03
	01:05:34	68	176,5	-0,31	-0,17	0,06	-0,02
17	01:06:17	69	39,2	-0,24	-0,14	0,07	0,01
	01:07:10	70	176,5	-0,31	-0,17	0,06	-0,01
	01:07:43	71	313,8	-0,34	-0,18	0,06	-0,03
	01:08:11	72	176,5	-0,30	-0,16	0,06	-0,01
18	01:08:38	73	39,4	-0,25	-0,15	0,07	0,00
	01:08:55	74	186,1	-0,32	-0,18	0,06	-0,02
	01:09:32	75	314,8	-0,34	-0,18	0,06	-0,03
	01:09:41	76	179,1	-0,32	-0,17	0,06	-0,02
19	01:10:07	77	39,8	-0,25	-0,15	0,07	0,00
	01:10:24	78	180,6	-0,33	-0,18	0,06	-0,02
	01:10:57	79	314,6	-0,34	-0,18	0,06	-0,03
	01:11:05	80	180,4	-0,32	-0,17	0,05	-0,02

Tabela B.1 - Deslocamentos verticais no modelo V1 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
20	01:11:30	81	39,4	-0,25	-0,15	0,07	0,00
	01:11:51	82	188,3	-0,32	-0,18	0,06	-0,02
	01:12:58	83	314,4	-0,34	-0,18	0,06	-0,03
	01:13:07	84	178,5	-0,32	-0,18	0,05	-0,02
21	01:14:11	85	39,4	-0,26	-0,15	0,07	0,00
	01:14:53	86	177,1	-0,32	-0,18	0,06	-0,01
	01:15:04	87	314,4	-0,35	-0,18	0,06	-0,03
	01:15:14	88	181,6	-0,32	-0,17	0,05	-0,02
22	01:15:39	89	39,4	-0,26	-0,15	0,07	0,00
	01:16:25	90	176,7	-0,32	-0,18	0,06	-0,01
	01:16:54	91	314,4	-0,35	-0,18	0,06	-0,03
	01:17:02	92	182,0	-0,32	-0,18	0,05	-0,02
23	01:17:26	93	40,0	-0,26	-0,15	0,07	0,00
	01:18:48	94	176,5	-0,32	-0,18	0,06	-0,01
	01:19:36	95	314,0	-0,35	-0,18	0,06	-0,03
	01:20:35	96	176,7	-0,32	-0,18	0,05	-0,01
24	01:21:06	97	39,4	-0,26	-0,15	0,07	0,00
	01:22:47	98	180,8	-0,32	-0,18	0,06	-0,01
	01:24:42	99	315,2	-0,35	-0,19	0,05	-0,03
	01:24:53	100	174,6	-0,33	-0,18	0,05	-0,02
25	01:28:39	101	40,8	-0,26	-0,16	0,07	0,00
	01:29:54	102	78,6	-0,28	-0,16	0,07	0,00
	01:30:58	103	117,7	-0,30	-0,17	0,06	0,00
	01:31:43	104	177,3	-0,32	-0,18	0,06	-0,01
	01:32:03	105	196,7	-0,33	-0,18	0,05	-0,02
	01:32:33	106	235,4	-0,34	-0,18	0,05	-0,02
	01:33:13	107	274,6	-0,35	-0,19	0,05	-0,02
	01:33:37	108	314,8	-0,36	-0,19	0,05	-0,03
RUPTURA	01:33:42	109	336,8	-0,36	-0,19	0,05	-0,03
	01:33:47	110	353,6	-0,36	-0,19	0,05	-0,03
	01:35:31	111	432,1	-0,41	-0,22	0,06	-0,05
	01:35:54	112	470,9	-0,43	-0,23	0,07	-0,07
	01:36:13	113	510,9	-0,47	-0,24	0,07	-0,08
	01:36:33	114	550,7	-0,52	-0,27	0,06	-0,10
	01:36:43	115	589,0	-0,56	-0,28	0,05	-0,12
	01:36:54	116	608,2	-0,59	-0,30	0,04	-0,13
	01:37:09	117	634,9	-0,62	-0,32	0,04	-0,14
	01:37:15	118	647,2	-0,68	-0,34	0,02	-0,17
	01:37:20	119	666,9	-0,72	-0,36	0,01	-0,18
	01:37:22	120	686,5	-0,73	-0,36	0,00	-0,19
	01:37:28	121	706,1	-0,76	-0,38	-0,01	-0,20
	01:37:40	122	725,7	-0,78	-0,39	-0,01	-0,22

Tabela B.1 - Deslocamentos verticais no modelo V1 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
RUPTURA	01:37:57	123	746,1	-0,81	-0,40	-0,02	-0,23
	01:38:10	124	768,3	-0,84	-0,41	-0,03	-0,24
	01:38:15	125	784,5	-0,85	-0,42	-0,03	-0,25
	01:38:25	126	804,7	-0,89	-0,43	-0,05	-0,26
	01:38:48	127	825,1	-0,95	-0,46	-0,07	-0,29
	01:38:56	128	844,0	-0,99	-0,48	-0,08	-0,31
	01:39:03	129	863,0	-1,03	-0,50	-0,10	-0,32
	01:39:08	130	890,4	-1,04	-0,50	-0,11	-0,33
	01:39:21	131	902,4	-1,09	-0,53	-0,12	-0,35
	01:39:38	132	921,8	-1,13	-0,55	-0,14	-0,37
	01:39:59	133	941,4	-1,19	-0,57	-0,16	-0,40
	01:40:14	134	961,1	-1,23	-0,59	-0,17	-0,41
	01:40:30	135	980,9	-1,28	-0,62	-0,19	-0,43
	01:40:51	136	1000,3	-1,34	-0,65	-0,22	-0,47
	01:41:09	137	1019,9	-1,41	-0,68	-0,25	-0,49
	01:41:20	138	1044,0	-1,47	-0,71	-0,27	-0,52
	01:41:48	139	1059,1	-1,58	-0,77	-0,32	-0,56
	01:42:02	140	1080,3	-1,63	-0,80	-0,35	-0,59
	01:42:09	141	1098,3	-1,69	-0,83	-0,38	-0,61
	01:42:22	142	1118,0	-1,78	-0,87	-0,44	-0,65
	01:42:53	143	1138,2	-1,94	-0,96	-0,54	-0,72
	01:43:12	144	1157,4	-2,04	-1,03	-0,61	-0,77
	01:43:34	145	1176,8	-2,17	-1,10	-0,70	-0,82
	01:43:54	146	1196,4	-2,30	-1,18	-0,78	-0,88
	01:44:08	147	1216,6	-2,42	-1,26	-0,85	-0,93
	01:44:21	148	1235,6	-2,56	-1,35	-0,94	-0,99
	01:44:46	149	1255,6	-2,82	-1,51	-1,08	-1,09
	01:45:11	150	1275,1	-3,08	-1,68	-1,22	-1,18
	01:45:22	151	1284,9	-3,21	-1,77	-1,28	-1,23
	01:45:25	152	1295,1	-3,26	-1,81	-1,30	-1,25
	01:45:31	153	1304,3	-3,39	-1,90	-1,37	-1,29
	01:45:33	154	1311,5	-3,43	-1,93	-1,39	-1,30
	01:45:49	155	1316,1	-3,81	-2,18	-1,56	-1,42
	01:46:00	156	1323,9	-4,05	-2,33	-1,63	-1,47
	01:46:16	157	1335,7	-4,44	-2,56	-1,77	-1,56
	01:46:31	158	1344,5	-5,74	-2,85	-2,29	-1,93
01:46:35	159	1354,5	-6,13	-2,94	-2,34	-2,00	
01:47:36	160	1177,0	-8,81	-3,73	-2,79	-2,43	
01:47:37	161	1100,7	-9,02	-3,82	-2,84	-2,47	
01:47:40	162	1111,7	-9,57	-4,09	-2,98	-2,59	
01:47:52	163	1107,6	-10,86	-4,90	-3,30	-2,84	
01:48:14	164	1087,2	-11,62	-5,42	-3,49	-2,99	

Tabela B.2 - Deslocamentos verticais no modelo V2

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
PRÉ	00:00:00	0	3,7	0,00	0,00	0,00	0,00
	00:01:38	1	39,6	-0,01	0,00	0,00	0,00
	00:06:12	2	176,5	-0,12	-0,01	-0,05	-0,04
	00:09:06	3	314,0	-0,26	-0,06	-0,12	-0,11
	00:12:55	4	176,5	-0,27	-0,07	-0,14	-0,12
1	00:18:57	5	39,2	-0,22	-0,04	-0,15	-0,10
	00:22:01	6	176,7	-0,26	-0,06	-0,15	-0,12
	00:24:20	7	314,2	-0,30	-0,08	-0,15	-0,13
	00:25:41	8	177,1	-0,30	-0,08	-0,17	-0,13
2	00:29:16	9	39,2	-0,24	-0,05	-0,17	-0,11
	00:31:44	10	176,5	-0,28	-0,07	-0,17	-0,13
	00:35:07	11	313,8	-0,32	-0,08	-0,17	-0,14
	00:37:36	12	176,9	-0,31	-0,08	-0,18	-0,14
3	00:42:35	13	39,2	-0,26	-0,06	-0,18	-0,12
	00:46:59	14	177,9	-0,30	-0,07	-0,19	-0,14
	00:48:32	15	315,0	-0,33	-0,09	-0,18	-0,15
	00:49:33	16	177,1	-0,32	-0,09	-0,20	-0,15
4	00:52:31	17	39,4	-0,27	-0,06	-0,19	-0,13
	00:53:32	18	177,5	-0,31	-0,08	-0,20	-0,15
	00:54:43	19	314,4	-0,34	-0,09	-0,19	-0,16
	00:57:48	20	176,9	-0,34	-0,09	-0,21	-0,16
5	01:00:16	21	39,2	-0,28	-0,07	-0,20	-0,13
	01:03:56	22	176,5	-0,32	-0,08	-0,21	-0,15
	01:09:15	23	314,8	-0,35	-0,10	-0,20	-0,16
	01:13:05	24	177,1	-0,33	-0,09	-0,22	-0,16
6	01:15:27	25	39,2	-0,28	-0,07	-0,21	-0,14
	01:17:04	26	176,9	-0,33	-0,09	-0,22	-0,16
	01:17:58	27	315,2	-0,36	-0,10	-0,21	-0,17
	01:18:47	28	176,1	-0,35	-0,10	-0,23	-0,17
7	01:20:19	29	39,6	-0,29	-0,07	-0,21	-0,14
	01:21:54	30	176,9	-0,34	-0,09	-0,22	-0,16
	01:23:05	31	314,0	-0,37	-0,10	-0,22	-0,17
	01:23:25	32	176,5	-0,36	-0,10	-0,23	-0,17
8	01:26:21	33	39,2	-0,29	-0,08	-0,22	-0,14
	01:27:15	34	177,9	-0,34	-0,09	-0,23	-0,17
	01:28:14	35	315,6	-0,37	-0,11	-0,22	-0,17
	01:29:00	36	177,3	-0,36	-0,11	-0,23	-0,17
9	01:31:49	37	39,6	-0,30	-0,08	-0,22	-0,14
	01:32:27	38	176,5	-0,35	-0,10	-0,23	-0,17
	01:33:07	39	314,4	-0,38	-0,11	-0,23	-0,18
	01:33:48	40	177,3	-0,37	-0,11	-0,24	-0,17

Tabela B.2 - Deslocamentos verticais no modelo V2 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
10	01:36:26	41	39,2	-0,30	-0,08	-0,22	-0,15
	01:36:59	42	178,9	-0,35	-0,10	-0,23	-0,17
	01:37:36	43	318,9	-0,38	-0,11	-0,23	-0,18
	01:38:18	44	176,5	-0,37	-0,11	-0,24	-0,18
11	01:40:53	45	39,2	-0,31	-0,08	-0,23	-0,15
	01:41:24	46	178,5	-0,36	-0,10	-0,24	-0,17
	01:41:48	47	317,9	-0,38	-0,11	-0,23	-0,18
	01:42:27	48	176,5	-0,38	-0,11	-0,24	-0,18
12	01:45:02	49	39,2	-0,31	-0,08	-0,23	-0,15
	01:45:31	50	176,5	-0,36	-0,10	-0,24	-0,18
	01:46:03	51	313,8	-0,39	-0,12	-0,23	-0,18
	01:46:57	52	176,5	-0,38	-0,12	-0,25	-0,18
13	01:48:22	53	39,4	-0,31	-0,08	-0,23	-0,15
	01:48:41	54	177,1	-0,38	-0,11	-0,24	-0,18
	01:48:46	55	314,4	-0,41	-0,12	-0,24	-0,19
	01:49:12	56	179,1	-0,40	-0,13	-0,26	-0,19
14	01:50:48	57	39,2	-0,33	-0,08	-0,24	-0,15
	01:51:26	58	176,9	-0,38	-0,11	-0,26	-0,18
	01:52:04	59	315,2	-0,42	-0,13	-0,25	-0,19
	01:52:29	60	175,7	-0,41	-0,13	-0,27	-0,19
15	01:53:55	61	39,2	-0,33	-0,08	-0,24	-0,16
	01:54:20	62	179,5	-0,39	-0,11	-0,26	-0,19
	01:54:54	63	316,8	-0,42	-0,13	-0,26	-0,19
	01:55:18	64	176,3	-0,41	-0,13	-0,27	-0,19
16	01:57:26	65	39,2	-0,33	-0,08	-0,24	-0,15
	01:59:46	66	176,9	-0,39	-0,11	-0,26	-0,19
	02:02:25	67	314,6	-0,42	-0,13	-0,26	-0,20
	02:04:33	68	176,5	-0,41	-0,13	-0,27	-0,19
17	02:06:40	69	38,8	-0,33	-0,08	-0,24	-0,15
	02:08:18	70	176,5	-0,40	-0,12	-0,27	-0,19
	02:09:38	71	313,8	-0,42	-0,13	-0,26	-0,20
	02:09:53	72	176,5	-0,42	-0,13	-0,28	-0,19
18	02:10:24	73	39,8	-0,34	-0,09	-0,25	-0,16
	02:10:44	74	176,5	-0,41	-0,12	-0,27	-0,19
	02:11:47	75	313,8	-0,43	-0,13	-0,26	-0,20
	02:11:56	76	176,5	-0,41	-0,13	-0,28	-0,19
19	02:12:29	77	39,0	-0,34	-0,09	-0,25	-0,16
	02:13:20	78	176,9	-0,40	-0,12	-0,27	-0,19
	02:13:43	79	315,2	-0,43	-0,13	-0,27	-0,20
	02:13:59	80	176,9	-0,41	-0,13	-0,28	-0,19

Tabela B.2 - Deslocamentos verticais no modelo V2 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
20	02:14:32	81	39,0	-0,34	-0,09	-0,25	-0,16
	02:15:28	82	176,5	-0,40	-0,12	-0,27	-0,19
	02:15:45	83	317,3	-0,43	-0,13	-0,27	-0,20
	02:15:53	84	177,5	-0,42	-0,13	-0,28	-0,19
21	02:16:30	85	38,8	-0,34	-0,09	-0,25	-0,16
	02:17:04	86	179,1	-0,41	-0,12	-0,27	-0,19
	02:17:41	87	314,0	-0,43	-0,13	-0,27	-0,20
	02:17:53	88	178,5	-0,41	-0,13	-0,28	-0,19
22	02:18:32	89	39,6	-0,34	-0,09	-0,25	-0,16
	02:19:37	90	176,5	-0,41	-0,12	-0,28	-0,19
	02:21:17	91	313,8	-0,43	-0,13	-0,27	-0,20
	02:21:31	92	176,5	-0,42	-0,13	-0,28	-0,20
23	02:22:09	93	39,8	-0,35	-0,09	-0,25	-0,16
	02:22:30	94	180,4	-0,42	-0,13	-0,28	-0,20
	02:22:59	95	315,4	-0,43	-0,13	-0,27	-0,20
	02:23:10	96	178,7	-0,42	-0,13	-0,28	-0,20
24	02:24:19	97	39,8	-0,35	-0,09	-0,26	-0,16
	02:25:04	98	179,5	-0,41	-0,12	-0,28	-0,19
	02:26:17	99	315,8	-0,43	-0,13	-0,27	-0,20
	02:26:29	100	177,1	-0,42	-0,13	-0,28	-0,20
25	02:27:28	101	39,2	-0,35	-0,09	-0,26	-0,16
	02:27:36	102	78,5	-0,38	-0,11	-0,28	-0,18
	02:28:19	103	117,7	-0,38	-0,11	-0,28	-0,19
	02:29:43	104	156,9	-0,40	-0,12	-0,28	-0,19
	02:30:13	105	196,1	-0,41	-0,12	-0,28	-0,19
	02:30:42	106	235,4	-0,42	-0,13	-0,28	-0,20
	02:31:37	107	274,6	-0,43	-0,13	-0,28	-0,20
	02:32:26	108	313,8	-0,44	-0,13	-0,27	-0,20
RUPTURA	02:33:15	109	353,0	-0,45	-0,14	-0,27	-0,20
	02:33:32	110	392,3	-0,47	-0,15	-0,28	-0,21
	02:33:41	111	431,5	-0,48	-0,16	-0,28	-0,22
	02:34:41	112	470,7	-0,52	-0,19	-0,29	-0,23
	02:35:39	113	509,9	-0,56	-0,22	-0,31	-0,25
	02:36:02	114	549,2	-0,59	-0,24	-0,33	-0,27
	02:37:05	115	588,4	-0,66	-0,29	-0,37	-0,30
	02:37:39	116	608,0	-0,69	-0,32	-0,39	-0,31
	02:37:52	117	627,6	-0,72	-0,33	-0,40	-0,33
	02:38:14	118	647,2	-0,74	-0,36	-0,43	-0,35
	02:38:25	119	666,9	-0,77	-0,39	-0,45	-0,36
	02:39:07	120	686,5	-0,83	-0,43	-0,49	-0,39
	02:39:50	121	706,1	-0,86	-0,46	-0,52	-0,41
	02:41:05	122	725,7	-0,91	-0,49	-0,56	-0,43

Tabela B.2 - Deslocamentos verticais no modelo V2 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
RUPTURA	02:41:30	123	745,3	-0,94	-0,50	-0,58	-0,44
	02:41:54	124	764,9	-0,97	-0,53	-0,61	-0,46
	02:42:29	125	784,5	-1,03	-0,56	-0,66	-0,49
	02:47:39	126	804,1	-1,10	-0,61	-0,73	-0,52
	02:48:30	127	823,8	-1,13	-0,63	-0,74	-0,53
	02:49:33	128	843,4	-1,17	-0,66	-0,78	-0,56
	02:50:02	129	863,0	-1,20	-0,68	-0,81	-0,57
	02:50:40	130	882,6	-1,25	-0,71	-0,86	-0,61
	02:51:04	131	902,2	-1,30	-0,74	-0,91	-0,64
	02:51:38	132	921,8	-1,38	-0,79	-0,98	-0,68
	02:52:23	133	941,4	-1,48	-0,86	-1,08	-0,74
	02:52:49	134	961,1	-1,54	-0,90	-1,13	-0,77
	02:53:14	135	980,7	-1,63	-0,95	-1,21	-0,82
	02:53:43	136	1000,3	-1,73	-1,03	-1,31	-0,87
	02:54:22	137	1019,9	-1,86	-1,10	-1,43	-0,96
	02:54:47	138	1039,5	-1,93	-1,16	-1,50	-1,02
	02:55:04	139	1059,1	-2,03	-1,23	-1,59	-1,07
	02:55:32	140	1078,7	-2,17	-1,33	-1,73	-1,15
	02:56:09	141	1098,3	-2,33	-1,46	-1,88	-1,24
	02:56:37	142	1118,0	-2,45	-1,55	-1,98	-1,30
	02:56:49	143	1137,6	-2,55	-1,63	-2,08	-1,36
	02:57:04	144	1157,2	-2,72	-1,78	-2,23	-1,46
	02:57:32	145	1176,8	-3,01	-2,00	-2,43	-1,58
	02:57:57	146	1196,4	-3,23	-2,17	-2,58	-1,68
	02:58:31	147	1216,0	-3,54	-2,41	-2,80	-1,83
02:59:02	148	1235,6	-3,83	-2,63	-2,99	-1,97	
02:59:18	149	1255,3	-4,04	-2,80	-3,14	-2,13	
02:59:27	150	1255,3	-4,31	-2,98	-3,34	-2,35	

Tabela B.3 - Deslocamentos verticais no modelo V3

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
PRÉ	00:00:00	0	4,7	0,00	0,00	0,00	0,00
	00:00:30	1	39,2	0,00	0,00	-0,01	-0,01
	00:01:44	2	176,9	0,00	0,01	-0,02	-0,06
	00:02:46	3	316,0	-0,03	0,01	-0,04	-0,12
	00:03:09	4	176,9	-0,02	0,03	-0,04	-0,12
1	00:04:06	5	39,4	-0,01	0,03	-0,03	-0,09
	00:04:52	6	177,3	-0,02	0,03	-0,04	-0,11
	00:05:24	7	314,8	-0,03	0,03	-0,05	-0,13
	00:05:44	8	175,5	-0,03	0,03	-0,05	-0,13
2	00:06:45	9	39,2	-0,02	0,03	-0,04	-0,10
	00:08:23	10	176,7	-0,03	0,03	-0,05	-0,12
	00:08:48	11	320,5	-0,04	0,03	-0,06	-0,14
	00:09:08	12	177,3	-0,04	0,03	-0,06	-0,13
3	00:10:10	13	39,0	-0,02	0,03	-0,04	-0,10
	00:10:41	14	176,5	-0,03	0,03	-0,05	-0,13
	00:11:49	15	314,4	-0,05	0,03	-0,06	-0,14
	00:12:10	16	177,1	-0,04	0,03	-0,06	-0,14
4	00:13:09	17	40,0	-0,03	0,03	-0,05	-0,11
	00:14:07	18	177,7	-0,04	0,03	-0,06	-0,13
	00:14:42	19	314,2	-0,05	0,03	-0,07	-0,14
	00:15:09	20	177,3	-0,04	0,03	-0,06	-0,13
5	00:16:01	21	39,8	-0,03	0,03	-0,05	-0,11
	00:18:56	22	177,3	-0,05	0,03	-0,06	-0,13
	00:21:33	23	314,0	-0,06	0,03	-0,07	-0,15
	00:21:55	24	176,1	-0,05	0,03	-0,07	-0,15
6	00:23:20	25	39,4	-0,04	0,03	-0,05	-0,12
	00:26:44	26	79,2	-0,05	0,02	-0,07	-0,14
	00:27:29	27	314,6	-0,07	0,02	-0,08	-0,16
	00:27:48	28	173,8	-0,06	0,03	-0,07	-0,15
7	00:29:09	29	40,2	-0,04	0,03	-0,06	-0,12
	00:29:49	30	179,1	-0,06	0,02	-0,07	-0,15
	00:30:50	31	314,2	-0,07	0,02	-0,08	-0,16
	00:31:07	32	177,1	-0,06	0,02	-0,07	-0,15
8	00:32:20	33	39,4	-0,05	0,02	-0,06	-0,13
	00:36:00	34	176,5	-0,06	0,02	-0,07	-0,15
	00:38:02	35	313,8	-0,07	0,02	-0,08	-0,16
	00:39:08	36	176,7	-0,07	0,02	-0,08	-0,16
9	00:39:27	37	77,1	-0,05	0,02	-0,06	-0,13
	00:40:31	38	176,9	-0,07	0,01	-0,07	-0,15
	00:43:43	39	314,2	-0,08	0,01	-0,08	-0,17
	00:45:53	40	177,5	-0,08	0,01	-0,08	-0,16

Tabela B.3 - Deslocamentos verticais no modelo V3 - Continuação

<b>Ciclo</b>	<b>Tempo</b>	<b>Passo de Carga</b>	<b>Carga (kN)</b>	<b>LVDT-V1 (mm)</b>	<b>LVDT-V2 (mm)</b>	<b>LVDT-H1 (mm)</b>	<b>LVDT-H2 (mm)</b>
10	00:46:11	41	39,4	-0,06	0,02	-0,07	-0,13
	00:47:13	42	179,5	-0,07	0,01	-0,08	-0,16
	00:47:43	43	314,4	-0,08	0,01	-0,09	-0,17
	00:49:35	44	176,1	-0,08	0,01	-0,08	-0,16
11	00:49:52	45	39,2	-0,06	0,01	-0,07	-0,14
	00:50:43	46	177,5	-0,08	0,01	-0,08	-0,16
	00:52:51	47	314,4	-0,08	0,01	-0,09	-0,18
	00:53:39	48	176,5	-0,08	0,01	-0,08	-0,17
12	00:53:54	49	39,2	-0,06	0,01	-0,07	-0,14
	00:54:52	50	179,5	-0,08	0,01	-0,08	-0,17
	00:55:15	51	314,0	-0,09	0,01	-0,09	-0,18
	00:56:19	52	177,3	-0,08	0,01	-0,09	-0,17
13	00:56:34	53	40,8	-0,06	0,02	-0,07	-0,13
	00:59:20	54	176,7	-0,08	0,01	-0,08	-0,17
	01:01:38	55	316,6	-0,09	0,01	-0,09	-0,18
	01:01:54	56	177,1	-0,08	0,01	-0,09	-0,17
14	01:02:46	57	39,6	-0,07	0,01	-0,08	-0,14
	01:03:15	58	177,7	-0,08	0,00	-0,08	-0,17
	01:03:55	59	313,8	-0,09	0,00	-0,09	-0,18
	01:04:08	60	176,5	-0,08	0,00	-0,09	-0,17
15	01:04:55	61	39,2	-0,07	0,01	-0,08	-0,14
	01:05:22	62	179,9	-0,08	0,00	-0,09	-0,17
	01:05:52	63	316,0	-0,09	0,00	-0,10	-0,18
	01:06:03	64	177,9	-0,09	0,00	-0,09	-0,17
16	01:06:46	65	40,0	-0,07	0,01	-0,08	-0,15
	01:07:08	66	177,7	-0,08	0,00	-0,09	-0,17
	01:07:46	67	313,8	-0,09	0,00	-0,10	-0,19
	01:07:57	68	177,3	-0,09	0,00	-0,09	-0,17
17	01:08:38	69	39,6	-0,07	0,01	-0,08	-0,15
	01:09:23	70	176,5	-0,08	0,00	-0,09	-0,17
	01:12:09	71	313,8	-0,10	0,00	-0,10	-0,19
	01:12:24	72	179,1	-0,09	0,00	-0,09	-0,18
18	01:13:17	73	39,4	-0,08	0,01	-0,08	-0,15
	01:15:28	74	178,1	-0,09	0,00	-0,09	-0,18
	01:15:53	75	315,0	-0,10	0,00	-0,10	-0,19
	01:16:53	76	176,7	-0,09	0,00	-0,09	-0,18
19	01:17:39	77	39,2	-0,08	0,00	-0,08	-0,15
	01:18:40	78	177,5	-0,09	0,00	-0,09	-0,18
	01:19:06	79	316,0	-0,10	0,00	-0,10	-0,19
	01:19:18	80	168,9	-0,09	0,00	-0,10	-0,18

Tabela B.3 - Deslocamentos verticais no modelo V3 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
20	01:20:03	81	38,8	-0,08	0,00	-0,08	-0,15
	01:20:36	82	176,5	-0,09	0,00	-0,09	-0,18
	01:21:06	83	314,6	-0,10	0,00	-0,10	-0,19
	01:21:16	84	178,1	-0,09	0,00	-0,10	-0,18
21	01:22:10	85	40,0	-0,08	0,00	-0,08	-0,15
	01:22:37	86	176,7	-0,09	0,00	-0,09	-0,18
	01:23:46	87	314,2	-0,10	0,00	-0,10	-0,19
	01:24:00	88	176,7	-0,09	0,00	-0,10	-0,18
22	01:25:26	89	39,8	-0,08	0,00	-0,08	-0,16
	01:26:18	90	180,4	-0,10	0,00	-0,10	-0,18
	01:27:06	91	314,6	-0,10	0,00	-0,10	-0,20
	01:27:20	92	176,7	-0,10	0,00	-0,10	-0,18
23	01:28:52	93	39,6	-0,08	0,00	-0,08	-0,16
	01:29:15	94	178,3	-0,10	0,00	-0,10	-0,18
	01:30:48	95	315,0	-0,11	0,00	-0,11	-0,20
	01:31:00	96	179,5	-0,10	0,00	-0,10	-0,18
24	01:31:45	97	39,4	-0,08	0,00	-0,09	-0,16
	01:32:29	98	177,3	-0,10	0,00	-0,10	-0,18
	01:33:17	99	314,2	-0,11	0,00	-0,11	-0,20
	01:33:31	100	176,5	-0,10	0,00	-0,10	-0,18
25	01:37:37	101	39,2	-0,08	0,00	-0,09	-0,16
	01:39:20	102	78,5	-0,09	0,00	-0,09	-0,17
	01:43:01	103	117,7	-0,09	-0,01	-0,09	-0,18
	01:43:53	104	156,9	-0,10	-0,01	-0,10	-0,18
	01:44:27	105	196,1	-0,10	-0,01	-0,10	-0,19
	01:45:06	106	235,4	-0,10	-0,01	-0,11	-0,19
	01:45:29	107	275,2	-0,11	-0,01	-0,11	-0,20
	01:46:12	108	314,6	-0,11	-0,01	-0,11	-0,20
RUPTURA	01:47:01	109	353,8	-0,11	-0,01	-0,11	-0,21
	01:47:29	110	392,5	-0,12	-0,01	-0,12	-0,22
	01:48:10	111	431,9	-0,13	-0,01	-0,12	-0,23
	01:48:38	112	471,5	-0,14	-0,02	-0,13	-0,24
	01:49:20	113	510,5	-0,15	-0,03	-0,14	-0,26
	01:49:39	114	549,4	-0,17	-0,04	-0,16	-0,28
	01:49:57	115	589,6	-0,19	-0,06	-0,17	-0,31
	01:50:19	116	608,2	-0,20	-0,06	-0,18	-0,32
	01:50:34	117	628,0	-0,21	-0,07	-0,19	-0,33
	01:50:44	118	647,2	-0,23	-0,08	-0,20	-0,35
	01:50:56	119	666,9	-0,24	-0,09	-0,22	-0,36
	01:51:14	120	686,5	-0,26	-0,11	-0,23	-0,38
	01:51:41	121	706,1	-0,28	-0,12	-0,25	-0,40
	01:51:58	122	725,7	-0,30	-0,13	-0,26	-0,41

Tabela B.3 - Deslocamentos verticais no modelo V3 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo de Carga	Carga (kN)	LVDT-V1 (mm)	LVDT-V2 (mm)	LVDT-H1 (mm)	LVDT-H2 (mm)
RUPTURA	01:52:19	123	745,3	-0,32	-0,14	-0,28	-0,43
	01:52:38	124	764,9	-0,33	-0,16	-0,29	-0,44
	01:52:50	125	784,5	-0,36	-0,17	-0,31	-0,46
	01:52:59	126	804,1	-0,39	-0,18	-0,34	-0,48
	01:53:09	127	823,8	-0,43	-0,21	-0,38	-0,51
	01:53:24	128	843,4	-0,50	-0,24	-0,43	-0,54
	01:53:44	129	863,0	-0,55	-0,28	-0,47	-0,58
	01:54:05	130	882,6	-0,59	-0,31	-0,52	-0,61
	01:54:23	131	902,2	-0,64	-0,35	-0,56	-0,65
	01:54:37	132	921,8	-0,70	-0,40	-0,63	-0,69
	01:54:53	133	941,4	-0,78	-0,46	-0,70	-0,75
	01:55:14	134	961,1	-0,83	-0,51	-0,77	-0,80
	01:55:30	135	980,9	-0,93	-0,57	-0,86	-0,86
	01:55:45	136	1000,3	-1,00	-0,62	-0,93	-0,90
	01:55:54	137	1019,9	-1,14	-0,71	-1,07	-1,00
	01:56:15	138	1039,5	-1,22	-0,76	-1,15	-1,05
	01:56:25	139	1059,1	-1,38	-0,86	-1,28	-1,13
	01:56:55	140	1078,7	-1,53	-0,95	-1,41	-1,22
	01:57:16	141	1098,3	-1,73	-1,09	-1,57	-1,32
	01:57:31	142	1118,0	-1,90	-1,21	-1,70	-1,41
	01:57:41	143	1137,6	-2,04	-1,31	-1,81	-1,48
	01:57:48	144	1147,4	-2,16	-1,39	-1,91	-1,54
	01:58:08	145	1176,8	-2,53	-1,67	-2,21	-1,72
	01:58:15	146	1186,6	-2,65	-1,75	-2,30	-1,77
	01:58:39	147	1216,0	-3,03	-2,01	-2,56	-1,93
	01:58:52	148	1235,6	-3,24	-2,17	-2,70	-2,02
	01:59:07	149	1255,3	-3,56	-2,39	-2,91	-2,14
	01:59:22	150	1274,9	-3,91	-2,66	-3,12	-2,27
	01:59:41	151	1294,5	-4,49	-3,12	-3,44	-2,46
	01:59:51	152	1314,1	-4,97	-3,48	-3,68	-2,61
02:00:04	153	1320,0	-6,54	-4,21	-4,29	-3,06	

## **C. DEFORMAÇÕES DAS ARMADURAS DE FLEXÃO E DE CISALHAMENTO**

Da Tabela C1 à C3 são apresentados os valores de deformação registrados nos conectores de cisalhamento, obtidos através de extensômetros elétricos e monitorados pelo sistema de aquisição de dados. Os resultados são expostos para cada passo de carga aplicado.

Tabela C.1 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V1

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 %	E2 %	E3 %	E4 %	E5 %	E6 %	E7 %	E8 %
PRÉ	00:00:00	0	2,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	00:01:48	1	39,2	0,14	0,03	0,09	-0,01	0,11	0,04	0,10	0,04
	00:02:43	2	176,9	0,60	0,19	0,42	0,07	0,53	0,21	0,38	0,29
	00:03:45	3	315,4	1,21	0,52	0,84	0,26	1,14	0,51	0,62	0,88
	00:04:34	4	177,3	1,10	0,49	0,76	0,30	1,05	0,50	0,48	0,84
1	00:06:01	5	39,2	0,79	0,33	0,44	0,40	0,71	0,30	0,13	0,57
	00:07:12	6	176,5	1,04	0,46	0,71	0,31	1,03	0,45	0,44	0,76
	00:07:40	7	316,6	1,29	0,58	0,89	0,29	1,24	0,55	0,65	0,93
	00:08:20	8	177,1	1,16	0,55	0,80	0,34	1,14	0,53	0,48	0,89
2	00:09:10	9	39,6	0,86	0,38	0,46	0,44	0,77	0,33	0,12	0,61
	00:09:28	10	176,5	1,20	0,56	0,82	0,32	1,19	0,52	0,55	0,87
	00:09:34	11	313,8	1,38	0,65	0,95	0,31	1,34	0,58	0,68	1,00
	00:10:12	12	176,9	1,24	0,62	0,84	0,38	1,22	0,57	0,47	0,98
3	00:10:56	13	40,2	0,94	0,43	0,49	0,49	0,84	0,37	0,12	0,66
	00:11:32	14	177,5	1,20	0,58	0,79	0,38	1,20	0,53	0,45	0,89
	00:12:13	15	314,6	1,39	0,68	0,97	0,35	1,39	0,60	0,66	1,02
	00:12:33	16	177,1	1,23	0,63	0,85	0,38	1,23	0,57	0,48	0,95
4	00:13:26	17	39,8	0,94	0,45	0,51	0,49	0,85	0,37	0,13	0,66
	00:13:52	18	180,8	1,22	0,61	0,83	0,38	1,24	0,54	0,48	0,90
	00:14:40	19	315,4	1,40	0,70	0,99	0,35	1,41	0,60	0,68	1,01
	00:15:01	20	177,1	1,23	0,65	0,87	0,39	1,25	0,57	0,49	0,95
5	00:15:55	21	39,6	0,95	0,46	0,52	0,50	0,85	0,38	0,13	0,65
	00:16:19	22	179,7	1,23	0,63	0,85	0,38	1,26	0,56	0,50	0,91
	00:17:08	23	313,8	1,40	0,71	1,00	0,36	1,42	0,61	0,68	1,01
	00:17:29	24	177,7	1,23	0,66	0,88	0,39	1,26	0,58	0,50	0,94
6	00:18:22	25	39,4	0,95	0,48	0,54	0,50	0,85	0,39	0,14	0,65
	00:20:01	26	177,7	1,24	0,65	0,87	0,38	1,27	0,57	0,52	0,91
	00:20:18	27	376,4	1,41	0,72	1,01	0,35	1,43	0,62	0,70	1,01
	00:20:36	28	176,5	1,23	0,68	0,89	0,39	1,26	0,59	0,51	0,94
7	00:21:29	29	39,6	0,95	0,49	0,54	0,51	0,85	0,39	0,15	0,65
	00:22:06	30	177,7	1,21	0,65	0,86	0,39	1,24	0,57	0,50	0,89
	00:22:26	31	320,3	1,41	0,74	1,02	0,35	1,43	0,62	0,71	1,01
	00:22:44	32	176,7	1,23	0,69	0,90	0,39	1,25	0,60	0,52	0,94
8	00:23:45	33	39,2	0,96	0,50	0,55	0,51	0,85	0,40	0,16	0,64
	00:23:59	34	179,7	1,27	0,69	0,92	0,38	1,31	0,60	0,58	0,93
	00:24:09	35	315,6	1,41	0,75	1,03	0,35	1,44	0,63	0,72	1,01
	00:24:29	36	176,5	1,23	0,70	0,91	0,40	1,25	0,61	0,52	0,94
9	00:25:52	37	39,8	0,95	0,48	0,54	0,49	0,81	0,38	0,15	0,59
	00:26:26	38	177,5	1,24	0,68	0,90	0,38	1,26	0,60	0,55	0,90
	00:26:48	39	313,8	1,40	0,76	1,04	0,36	1,44	0,64	0,73	1,00
	00:27:05	40	176,5	1,22	0,71	0,92	0,40	1,25	0,61	0,54	0,93

Tabela C.1 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V1 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 %	E2 %	E3 %	E4 %	E5 %	E6 %	E7 %	E8 %
10	00:27:52	41	39,4	0,96	0,51	0,57	0,50	0,84	0,41	0,17	0,63
	00:29:42	42	176,7	1,21	0,68	0,89	0,40	1,24	0,59	0,53	0,89
	00:29:55	43	315,8	1,42	0,77	1,06	0,35	1,46	0,65	0,76	1,01
	00:30:12	44	178,5	1,22	0,72	0,93	0,40	1,24	0,62	0,55	0,93
11	00:31:35	45	39,4	0,97	0,53	0,59	0,50	0,85	0,42	0,18	0,64
	00:32:42	46	177,5	1,22	0,69	0,90	0,40	1,24	0,60	0,53	0,89
	00:35:15	47	314,0	1,40	0,77	1,06	0,36	1,47	0,65	0,75	1,00
	00:35:33	48	177,5	1,24	0,73	0,94	0,40	1,26	0,63	0,56	0,93
12	00:36:28	49	39,8	0,97	0,53	0,60	0,51	0,86	0,43	0,19	0,64
	00:37:57	50	176,9	1,22	0,70	0,92	0,40	1,25	0,61	0,54	0,89
	00:39:39	51	313,8	1,41	0,78	1,08	0,36	1,48	0,66	0,75	1,00
	00:40:03	52	176,5	1,21	0,72	0,93	0,41	1,24	0,62	0,53	0,92
13	00:41:15	53	39,4	0,97	0,54	0,60	0,51	0,85	0,43	0,19	0,64
	00:42:22	54	177,3	1,23	0,71	0,93	0,40	1,26	0,61	0,55	0,89
	00:44:06	55	314,0	1,41	0,79	1,08	0,36	1,48	0,66	0,76	1,00
	00:44:55	56	176,7	1,13	0,69	0,86	0,44	1,16	0,57	0,41	0,86
14	00:46:08	57	39,2	0,98	0,55	0,61	0,51	0,86	0,44	0,20	0,64
	00:48:21	58	176,9	1,23	0,72	0,94	0,40	1,26	0,62	0,56	0,89
	00:50:22	59	314,2	1,41	0,79	1,09	0,36	1,49	0,66	0,76	1,00
	00:50:41	60	177,5	1,24	0,75	0,97	0,40	1,27	0,65	0,57	0,93
15	00:52:03	61	39,2	0,98	0,55	0,62	0,51	0,86	0,45	0,20	0,64
	00:56:16	62	176,5	1,23	0,72	0,94	0,40	1,26	0,62	0,56	0,89
	00:57:44	63	314,4	1,42	0,80	1,10	0,37	1,49	0,67	0,77	1,00
	00:58:02	64	176,7	1,25	0,75	0,97	0,40	1,28	0,65	0,58	0,93
16	00:59:07	65	39,6	0,98	0,56	0,63	0,51	0,86	0,45	0,21	0,64
	00:59:52	66	176,7	1,24	0,73	0,95	0,40	1,27	0,63	0,57	0,90
	01:03:19	67	315,4	1,42	0,80	1,11	0,37	1,50	0,67	0,77	1,00
	01:05:34	68	176,5	1,25	0,74	0,97	0,40	1,30	0,64	0,58	0,92
17	01:06:17	69	39,2	0,96	0,54	0,59	0,51	0,80	0,43	0,17	0,59
	01:07:10	70	176,5	1,24	0,73	0,96	0,40	1,27	0,63	0,57	0,89
	01:07:43	71	313,8	1,41	0,81	1,10	0,37	1,49	0,67	0,77	0,99
	01:08:11	72	176,5	1,13	0,70	0,87	0,44	1,14	0,59	0,42	0,85
18	01:08:38	73	39,4	0,98	0,56	0,63	0,51	0,86	0,45	0,21	0,63
	01:08:55	74	186,1	1,29	0,76	1,01	0,39	1,34	0,65	0,65	0,93
	01:09:32	75	314,8	1,41	0,81	1,11	0,37	1,48	0,68	0,78	1,00
	01:09:41	76	179,1	1,21	0,75	0,96	0,41	1,24	0,64	0,55	0,91
19	01:10:07	77	39,8	0,99	0,57	0,64	0,51	0,87	0,46	0,22	0,64
	01:10:24	78	180,6	1,32	0,78	1,03	0,38	1,37	0,66	0,68	0,94
	01:10:57	79	314,6	1,42	0,82	1,11	0,37	1,49	0,68	0,78	1,00
	01:11:05	80	180,4	1,22	0,76	0,97	0,41	1,25	0,65	0,57	0,92

Tabela C.1 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V1 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 ‰	E2 ‰	E3 ‰	E4 ‰	E5 ‰	E6 ‰	E7 ‰	E8 ‰
20	01:11:30	81	39,4	0,99	0,57	0,64	0,51	0,86	0,46	0,22	0,63
	01:11:51	82	188,3	1,29	0,77	1,01	0,39	1,34	0,66	0,65	0,93
	01:12:58	83	314,4	1,42	0,82	1,12	0,37	1,50	0,68	0,79	1,00
	01:13:07	84	178,5	1,24	0,77	0,99	0,41	1,28	0,67	0,59	0,93
21	01:14:11	85	39,4	0,99	0,58	0,65	0,51	0,87	0,46	0,22	0,64
	01:14:53	86	177,1	1,25	0,75	0,98	0,40	1,29	0,65	0,60	0,90
	01:15:04	87	314,4	1,42	0,82	1,12	0,36	1,50	0,68	0,79	1,00
	01:15:14	88	181,6	1,20	0,75	0,95	0,42	1,23	0,64	0,53	0,90
22	01:15:39	89	39,4	0,99	0,58	0,64	0,51	0,86	0,46	0,22	0,63
	01:16:25	90	176,7	1,24	0,75	0,98	0,41	1,28	0,65	0,59	0,90
	01:16:54	91	314,4	1,41	0,82	1,11	0,37	1,48	0,69	0,78	1,00
	01:17:02	92	182,0	1,22	0,76	0,97	0,41	1,24	0,66	0,56	0,91
23	01:17:26	93	40,0	0,99	0,58	0,65	0,51	0,87	0,47	0,23	0,64
	01:18:48	94	176,5	1,24	0,75	0,98	0,41	1,28	0,65	0,59	0,90
	01:19:36	95	314,0	1,42	0,83	1,12	0,37	1,49	0,69	0,79	1,00
	01:20:35	96	176,7	1,25	0,77	0,99	0,41	1,30	0,66	0,60	0,92
24	01:21:06	97	39,4	0,99	0,58	0,65	0,52	0,86	0,47	0,22	0,64
	01:22:47	98	180,8	1,26	0,76	0,99	0,40	1,30	0,66	0,61	0,91
	01:24:42	99	315,2	1,43	0,84	1,13	0,37	1,51	0,69	0,80	1,01
	01:24:53	100	174,6	1,25	0,78	1,00	0,41	1,29	0,68	0,61	0,94
25	01:28:39	101	40,8	1,00	0,59	0,66	0,51	0,88	0,48	0,23	0,64
	01:29:54	102	78,6	1,07	0,64	0,77	0,47	1,03	0,53	0,33	0,73
	01:30:58	103	117,7	1,14	0,70	0,87	0,44	1,15	0,59	0,44	0,82
	01:31:43	104	177,3	1,22	0,75	0,96	0,41	1,25	0,64	0,56	0,88
	01:32:03	105	196,7	1,28	0,78	1,01	0,40	1,32	0,67	0,64	0,92
	01:32:33	106	235,4	1,33	0,80	1,06	0,39	1,40	0,68	0,70	0,96
	01:33:13	107	274,6	1,38	0,82	1,10	0,38	1,46	0,69	0,76	0,99
	01:33:37	108	314,8	1,44	0,84	1,14	0,37	1,52	0,69	0,81	1,01
RUPTURA	01:33:42	109	336,8	1,46	0,85	1,16	0,36	1,54	0,70	0,83	1,03
	01:33:47	110	353,6	1,48	0,86	1,18	0,36	1,56	0,70	0,85	1,04
	01:35:31	111	432,1	1,64	0,98	1,30	0,38	1,75	0,76	0,94	1,26
	01:35:54	112	470,9	1,70	1,06	1,37	0,38	1,83	0,80	0,99	1,39
	01:36:13	113	510,9	1,77	1,16	1,48	0,40	1,93	0,84	1,06	1,52
	01:36:33	114	550,7	1,86	1,29	1,63	0,42	2,06	0,87	1,15	1,66
	01:36:43	115	589,0	1,91	1,40	1,75	0,45	2,14	0,89	1,21	1,77
	01:36:54	116	608,2	1,94	1,48	1,85	0,47	2,20	0,92	1,27	1,85
	01:37:09	117	634,9	2,00	1,57	1,96	0,47	2,27	0,94	1,34	1,94
	01:37:15	118	647,2	2,04	1,72	2,11	0,49	2,35	0,99	1,46	2,08
	01:37:20	119	666,9	2,07	1,82	2,23	0,51	2,40	1,02	1,54	2,17
	01:37:22	120	686,5	2,07	1,83	2,26	0,52	2,42	1,03	1,56	2,19
	01:37:28	121	706,1	2,10	1,89	2,35	0,54	2,47	1,07	1,62	2,26
	01:37:40	122	725,7	2,12	1,94	2,45	0,57	2,52	1,10	1,67	2,32

Tabela C.1 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V1 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 ‰	E2 ‰	E3 ‰	E4 ‰	E5 ‰	E6 ‰	E7 ‰	E8 ‰
RUPTURA	01:37:57	123	746,1	2,15	1,99	2,55	0,60	2,56	1,13	1,72	2,37
	01:38:10	124	768,3	2,18	2,03	2,64	0,60	2,61	1,13	1,78	2,43
	01:38:15	125	784,5	2,19	2,05	2,69	0,60	2,64	1,14	1,81	2,46
	01:38:25	126	804,7	2,21	2,09	2,80	0,62	2,68	1,16	1,88	2,54
	01:38:48	127	825,1	2,25	2,11	2,96	0,64	2,76	1,18	2,00	2,65
	01:38:56	128	844,0	2,27	2,10	3,07	0,63	2,81	1,18	2,08	2,74
	01:39:03	129	863,0	2,27	2,06	3,17	0,64	2,84	1,18	2,15	2,81
	01:39:08	130	890,4	2,29	2,04	3,22	0,64	2,86	1,18	2,19	2,84
	01:39:21	131	902,4	2,32	1,99	3,33	0,66	2,90	1,19	2,27	2,92
	01:39:38	132	921,8	2,36	1,94	3,47	0,66	2,95	1,18	2,36	3,00
	01:39:59	133	941,4	2,41	1,88	3,62	0,65	3,00	1,17	2,46	3,09
	01:40:14	134	961,1	2,45	1,82	3,72	0,61	3,03	1,14	2,55	3,16
	01:40:30	135	980,9	2,50	1,74	3,84	0,56	3,08	1,11	2,64	3,23
	01:40:51	136	1000,3	2,53	1,63	3,98	0,46	3,14	1,05	2,75	3,33
	01:41:09	137	1019,9	2,56	1,49	4,14	0,32	3,20	0,97	2,86	3,42
	01:41:20	138	1044,0	2,56	1,36	4,25	0,19	3,24	0,89	2,93	3,48
	01:41:48	139	1059,1	2,63	1,16	4,43	0,04	3,34	0,81	3,01	3,59
	01:42:02	140	1080,3	2,68	1,00	4,53	-0,11	3,40	0,71	3,06	3,64
	01:42:09	141	1098,3	2,69	0,85	4,61	-0,27	3,44	0,58	3,09	3,67
	01:42:22	142	1118,0	2,72	0,61	4,66	-0,49	3,49	0,42	3,14	3,73
	01:42:53	143	1138,2	2,82	0,27	4,66	-0,78	3,61	0,17	3,26	3,85
	01:43:12	144	1157,4	2,88	8,18	4,64	-1,02	3,66	-0,09	3,31	3,90
	01:43:34	145	1176,8	2,94	8,18	4,59	-1,32	3,70	-0,44	3,34	3,96
	01:43:54	146	1196,4	2,96	8,18	4,52	-1,62	3,68	-0,80	3,31	3,99
	01:44:08	147	1216,6	2,95	8,18	4,44	-1,92	3,63	-1,16	3,23	3,98
	01:44:21	148	1235,6	2,88	8,18	4,31	-2,28	3,47	-1,60	3,09	3,97
	01:44:46	149	1255,6	2,67	8,18	4,14	-2,79	3,16	-2,27	2,84	3,91
	01:45:11	150	1275,1	2,39	8,18	3,96	-3,32	2,64	-3,00	2,33	3,70
	01:45:22	151	1284,9	2,27	8,18	3,87	-3,58	2,36	-3,34	2,08	3,53
	01:45:25	152	1295,1	2,20	8,18	3,83	-3,74	2,24	-3,53	1,96	3,39
	01:45:31	153	1304,3	2,03	8,18	3,73	-4,10	1,94	-3,93	1,65	3,11
	01:45:33	154	1311,5	1,98	8,18	3,70	-4,20	1,86	-4,03	1,56	3,04
	01:45:49	155	1316,1	1,58	8,18	3,33	-5,11	1,07	-4,67	0,78	2,34
	01:46:00	156	1323,9	1,38	8,18	3,10	-5,77	0,53	-5,02	0,33	1,85
01:46:16	157	1335,7	1,13	8,18	2,58	7,89	-0,20	6,83	-0,33	1,12	
01:46:31	158	1344,5	0,10	8,18	0,90	-2,08	-1,12	6,83	-1,52	0,02	
01:46:35	159	1354,5	-0,42	8,18	0,36	-1,98	-1,24	6,83	-1,80	-0,13	
01:47:36	160	1177,0	-0,23	3,57	6,59	-2,05	-1,85	6,83	-3,89	7,92	
01:47:37	161	1100,7	-0,38	3,82	6,59	-2,05	-1,89	6,83	-4,10	7,92	
01:47:40	162	1111,7	-0,64	3,99	6,59	-2,05	-2,08	6,83	-4,83	7,92	
01:47:52	163	1107,6	-1,14	4,24	6,59	-2,05	-1,85	6,83	7,74	7,92	
01:48:14	164	1087,2	-1,29	4,14	6,59	-2,04	-1,67	6,83	7,74	7,92	

Tabela C.2 - Deformação nos conectores de cisalhamento do modelo V2

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 %	E2 %	E3 %	E4 %	E5 %	E6 %	E7 %	E8 %
PRÉ	00:00:00	0	3,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	00:01:38	1	39,6	0,06	0,02	0,11	0,02	0,22	0,04	0,03	0,01
	00:06:12	2	176,5	0,47	0,19	0,77	0,27	0,99	0,43	0,32	0,14
	00:09:06	3	314,0	1,03	0,51	1,50	0,63	1,36	0,73	0,79	0,32
	00:12:55	4	176,5	0,87	0,49	1,41	0,59	1,07	0,81	0,70	0,36
1	00:18:57	5	39,2	0,46	0,35	0,93	0,41	0,52	0,80	0,39	0,28
	00:22:01	6	176,7	0,79	0,47	1,32	0,55	0,99	0,81	0,65	0,34
	00:24:20	7	314,2	1,07	0,57	1,59	0,67	1,34	0,82	0,84	0,35
	00:25:41	8	177,1	0,87	0,54	1,45	0,62	1,04	0,88	0,74	0,37
2	00:29:16	9	39,2	0,47	0,38	0,97	0,44	0,53	0,85	0,41	0,30
	00:31:44	10	176,5	0,82	0,52	1,38	0,59	0,99	0,88	0,70	0,34
	00:35:07	11	313,8	1,08	0,60	1,63	0,69	1,33	0,86	0,87	0,34
	00:37:36	12	176,9	0,88	0,57	1,50	0,65	1,05	0,92	0,77	0,37
3	00:42:35	13	39,2	0,49	0,40	1,00	0,46	0,53	0,88	0,42	0,30
	00:46:59	14	177,9	0,83	0,55	1,42	0,61	1,00	0,91	0,72	0,36
	00:48:32	15	315,0	1,09	0,63	1,65	0,71	1,33	0,89	0,89	0,36
	00:49:33	16	177,1	0,87	0,58	1,50	0,66	1,03	0,96	0,78	0,38
4	00:52:31	17	39,4	0,49	0,41	1,01	0,47	0,53	0,90	0,42	0,31
	00:53:32	18	177,5	0,84	0,57	1,44	0,63	1,00	0,94	0,74	0,36
	00:54:43	19	314,4	1,09	0,64	1,67	0,73	1,32	0,92	0,91	0,36
	00:57:48	20	176,9	0,89	0,60	1,54	0,68	1,04	0,98	0,80	0,39
5	01:00:16	21	39,2	0,49	0,43	1,03	0,48	0,53	0,91	0,43	0,31
	01:03:56	22	176,5	0,85	0,58	1,46	0,64	1,00	0,96	0,75	0,37
	01:09:15	23	314,8	1,10	0,66	1,71	0,74	1,33	0,94	0,92	0,37
	01:13:05	24	177,1	0,86	0,60	1,50	0,67	1,01	1,01	0,78	0,38
6	01:15:27	25	39,2	0,50	0,44	1,05	0,49	0,53	0,93	0,44	0,32
	01:17:04	26	176,9	0,86	0,60	1,49	0,66	1,00	0,99	0,77	0,37
	01:17:58	27	315,2	1,10	0,67	1,71	0,75	1,32	0,96	0,93	0,37
	01:18:47	28	176,1	0,89	0,63	1,56	0,69	1,02	1,02	0,81	0,40
7	01:20:19	29	39,6	0,50	0,45	1,06	0,50	0,54	0,94	0,44	0,32
	01:21:54	30	176,9	0,86	0,61	1,50	0,67	1,00	1,00	0,78	0,38
	01:23:05	31	314,0	1,11	0,69	1,73	0,76	1,32	0,97	0,94	0,37
	01:23:25	32	176,5	0,89	0,64	1,56	0,70	1,02	1,03	0,82	0,40
8	01:26:21	33	39,2	0,50	0,45	1,06	0,50	0,53	0,94	0,44	0,32
	01:27:15	34	177,9	0,87	0,62	1,51	0,68	1,01	1,01	0,79	0,38
	01:28:14	35	315,6	1,11	0,69	1,73	0,77	1,32	0,98	0,95	0,37
	01:29:00	36	177,3	0,90	0,65	1,58	0,71	1,03	1,04	0,83	0,40
9	01:31:49	37	39,6	0,50	0,45	1,07	0,50	0,53	0,95	0,44	0,32
	01:32:27	38	176,5	0,88	0,63	1,52	0,69	1,01	1,02	0,80	0,38
	01:33:07	39	314,4	1,11	0,70	1,74	0,77	1,32	0,99	0,96	0,37
	01:33:48	40	177,3	0,90	0,65	1,58	0,71	1,03	1,05	0,84	0,40

Tabela C.2 - Deformação nos conectores de cisalhamento do modelo V2 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 %	E2 %	E3 %	E4 %	E5 %	E6 %	E7 %	E8 %
10	01:36:26	41	39,2	0,50	0,46	1,07	0,51	0,54	0,96	0,44	0,32
	01:36:59	42	178,9	0,89	0,64	1,54	0,70	1,03	1,02	0,81	0,38
	01:37:36	43	318,9	1,12	0,71	1,75	0,78	1,32	1,00	0,96	0,38
	01:38:18	44	176,5	0,90	0,66	1,59	0,72	1,03	1,06	0,84	0,40
11	01:40:53	45	39,2	0,50	0,46	1,08	0,51	0,54	0,96	0,44	0,32
	01:41:24	46	178,5	0,90	0,65	1,56	0,70	1,04	1,03	0,83	0,38
	01:41:48	47	317,9	1,12	0,72	1,76	0,79	1,32	1,00	0,97	0,38
	01:42:27	48	176,5	0,91	0,67	1,60	0,73	1,03	1,07	0,85	0,40
12	01:45:02	49	39,2	0,51	0,47	1,08	0,51	0,54	0,97	0,44	0,32
	01:45:31	50	176,5	0,90	0,65	1,56	0,71	1,04	1,04	0,83	0,38
	01:46:03	51	313,8	1,13	0,72	1,77	0,80	1,33	1,01	0,98	0,38
	01:46:57	52	176,5	0,91	0,68	1,62	0,74	1,03	1,09	0,86	0,41
13	01:48:22	53	39,4	0,51	0,47	1,09	0,52	0,54	0,97	0,44	0,33
	01:48:41	54	177,1	1,07	0,71	1,72	0,78	1,24	1,03	0,95	0,38
	01:48:46	55	314,4	1,24	0,76	1,86	0,86	1,40	1,02	1,05	0,39
	01:49:12	56	179,1	0,97	0,70	1,68	0,79	0,98	1,15	0,86	0,45
14	01:50:48	57	39,2	0,55	0,48	1,17	0,55	0,54	1,03	0,42	0,34
	01:51:26	58	176,9	0,95	0,67	1,62	0,74	0,98	1,11	0,82	0,43
	01:52:04	59	315,2	1,22	0,77	1,87	0,86	1,30	1,08	1,02	0,42
	01:52:29	60	175,7	0,99	0,71	1,70	0,78	1,00	1,15	0,87	0,45
15	01:53:55	61	39,2	0,55	0,48	1,17	0,55	0,54	1,03	0,41	0,34
	01:54:20	62	179,5	0,96	0,68	1,64	0,75	0,98	1,12	0,83	0,43
	01:54:54	63	316,8	1,22	0,77	1,88	0,86	1,30	1,09	1,03	0,42
	01:55:18	64	176,3	0,98	0,71	1,70	0,78	0,99	1,16	0,87	0,46
16	01:57:26	65	39,2	0,53	0,46	1,14	0,53	0,53	0,98	0,38	0,33
	01:59:46	66	176,9	0,96	0,68	1,64	0,75	0,97	1,13	0,82	0,44
	02:02:25	67	314,6	1,22	0,78	1,90	0,86	1,31	1,10	1,03	0,43
	02:04:33	68	176,5	1,01	0,72	1,75	0,80	1,02	1,17	0,89	0,46
17	02:06:40	69	38,8	0,53	0,47	1,15	0,53	0,52	0,99	0,38	0,33
	02:08:18	70	176,5	0,99	0,70	1,69	0,76	1,00	1,14	0,85	0,44
	02:09:38	71	313,8	1,22	0,78	1,91	0,86	1,31	1,11	1,03	0,43
	02:09:53	72	176,5	0,99	0,72	1,73	0,79	0,99	1,18	0,87	0,47
18	02:10:24	73	39,8	0,55	0,48	1,18	0,55	0,53	1,02	0,40	0,34
	02:10:44	74	176,5	1,04	0,73	1,74	0,79	1,07	1,14	0,90	0,44
	02:11:47	75	313,8	1,22	0,78	1,92	0,87	1,31	1,12	1,03	0,43
	02:11:56	76	176,5	0,95	0,71	1,70	0,77	0,94	1,20	0,84	0,47
19	02:12:29	77	39,0	0,55	0,49	1,19	0,55	0,54	1,03	0,40	0,35
	02:13:20	78	176,9	0,97	0,70	1,69	0,76	0,99	1,16	0,84	0,44
	02:13:43	79	315,2	1,21	0,78	1,91	0,87	1,29	1,12	1,03	0,43
	02:13:59	80	176,9	0,87	0,67	1,60	0,74	0,83	1,23	0,76	0,47

Tabela C.2- Deformação nos conectores de cisalhamento do modelo V2 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 ‰	E2 ‰	E3 ‰	E4 ‰	E5 ‰	E6 ‰	E7 ‰	E8 ‰
20	02:14:32	81	39,0	0,55	0,48	1,19	0,55	0,53	1,03	0,40	0,33
	02:15:28	82	176,5	0,97	0,71	1,69	0,76	0,99	1,16	0,84	0,45
	02:15:45	83	317,3	1,20	0,79	1,91	0,87	1,28	1,12	1,02	0,43
	02:15:53	84	177,5	0,98	0,73	1,73	0,79	0,99	1,19	0,88	0,47
21	02:16:30	85	38,8	0,55	0,49	1,20	0,55	0,54	1,04	0,40	0,35
	02:17:04	86	179,1	1,01	0,72	1,73	0,79	1,03	1,15	0,88	0,44
	02:17:41	87	314,0	1,20	0,79	1,91	0,87	1,28	1,13	1,02	0,44
	02:17:53	88	178,5	0,88	0,69	1,63	0,75	0,86	1,24	0,78	0,47
22	02:18:32	89	39,6	0,55	0,49	1,20	0,55	0,54	1,04	0,40	0,35
	02:19:37	90	176,5	0,98	0,71	1,71	0,77	0,99	1,17	0,85	0,45
	02:21:17	91	313,8	1,22	0,80	1,94	0,87	1,31	1,13	1,04	0,44
	02:21:31	92	176,5	1,00	0,74	1,77	0,81	1,02	1,20	0,90	0,47
23	02:22:09	93	39,8	0,56	0,50	1,21	0,56	0,55	1,05	0,41	0,35
	02:22:30	94	180,4	1,09	0,76	1,81	0,82	1,12	1,15	0,95	0,44
	02:22:59	95	315,4	1,21	0,80	1,93	0,87	1,30	1,14	1,03	0,44
	02:23:10	96	178,7	0,97	0,73	1,73	0,79	0,96	1,21	0,87	0,48
24	02:24:19	97	39,8	0,56	0,50	1,22	0,56	0,55	1,06	0,41	0,35
	02:25:04	98	179,5	1,00	0,73	1,73	0,79	1,02	1,17	0,87	0,45
	02:26:17	99	315,8	1,22	0,80	1,94	0,88	1,30	1,14	1,04	0,44
	02:26:29	100	177,1	0,99	0,74	1,76	0,80	0,99	1,21	0,88	0,47
25	02:27:28	101	39,2	0,56	0,50	1,23	0,57	0,55	1,07	0,41	0,36
	02:27:36	102	78,5	0,77	0,62	1,50	0,67	0,76	1,19	0,61	0,44
	02:28:19	103	117,7	0,83	0,65	1,56	0,70	0,82	1,20	0,68	0,46
	02:29:43	104	156,9	0,93	0,70	1,68	0,75	0,94	1,19	0,80	0,46
	02:30:13	105	196,1	1,02	0,74	1,76	0,79	1,04	1,17	0,89	0,45
	02:30:42	106	235,4	1,09	0,76	1,83	0,83	1,14	1,16	0,95	0,45
	02:31:37	107	274,6	1,17	0,79	1,91	0,86	1,24	1,15	1,01	0,44
	02:32:26	108	313,8	1,23	0,80	1,96	0,88	1,32	1,14	1,04	0,44
RUPTURA	02:33:15	109	353,0	1,30	0,83	2,03	0,91	1,41	1,14	1,09	0,44
	02:33:32	110	392,3	1,42	0,88	2,12	0,98	1,49	1,13	1,17	0,45
	02:33:41	111	431,5	1,53	0,93	2,22	1,04	1,53	1,16	1,22	0,47
	02:34:41	112	470,7	1,70	1,01	2,39	1,12	1,62	1,22	1,33	0,51
	02:35:39	113	509,9	1,88	1,11	2,58	1,22	1,71	1,29	1,44	0,56
	02:36:02	114	549,2	2,04	1,20	2,73	1,31	1,76	1,34	1,54	0,60
	02:37:05	115	588,4	2,27	1,35	3,04	1,46	1,88	1,48	1,71	0,68
	02:37:39	116	608,0	2,37	1,43	3,17	1,53	1,94	1,51	1,79	0,69
	02:37:52	117	627,6	2,45	1,50	3,26	1,59	1,96	1,55	1,84	0,71
	02:38:14	118	647,2	2,54	1,58	3,39	1,66	2,01	1,60	1,91	0,73
	02:38:25	119	666,9	2,62	1,66	3,49	1,72	2,02	1,64	1,95	0,75
	02:39:07	120	686,5	2,75	1,77	3,71	1,83	2,11	1,74	2,03	0,80
	02:39:50	121	706,1	2,85	1,87	3,87	1,91	2,18	1,79	2,10	0,83
	02:41:05	122	725,7	2,97	1,98	4,06	2,02	2,26	1,86	2,16	0,86

Tabela C.2 - Deformação nos conectores de cisalhamento do modelo V2 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 ‰	E2 ‰	E3 ‰	E4 ‰	E5 ‰	E6 ‰	E7 ‰	E8 ‰
RUPTURA	02:41:30	123	745,3	3,04	2,05	4,17	2,08	2,29	1,86	2,20	0,86
	02:41:54	124	764,9	3,14	2,14	4,30	2,16	2,29	1,88	2,24	0,87
	02:42:29	125	784,5	3,26	2,28	4,52	2,28	2,31	1,93	2,28	0,89
	02:47:39	126	804,1	3,41	2,45	5,02	2,42	2,45	2,12	2,37	0,98
	02:48:30	127	823,8	3,49	2,53	5,23	2,49	2,46	2,10	2,40	0,97
	02:49:33	128	843,4	3,61	2,65	5,52	2,58	2,48	2,10	2,43	0,98
	02:50:02	129	863,0	3,70	2,74	5,72	2,64	2,48	2,07	2,45	0,96
	02:50:40	130	882,6	3,84	2,89	5,98	2,74	2,47	2,06	2,47	0,94
	02:51:04	131	902,2	3,97	3,03	6,12	2,82	2,45	2,02	2,48	0,92
	02:51:38	132	921,8	4,16	3,24	6,36	2,92	2,44	1,96	2,50	0,90
	02:52:23	133	941,4	4,42	3,50	6,43	3,04	2,45	1,87	2,53	0,87
	02:52:49	134	961,1	4,58	3,63	6,37	3,11	2,43	1,76	2,55	0,83
	02:53:14	135	980,7	4,79	3,80	6,24	3,20	2,36	1,59	2,56	0,77
	02:53:43	136	1000,3	5,03	4,00	6,05	3,28	2,25	1,37	2,57	0,69
	02:54:22	137	1019,9	5,26	4,20	5,81	3,33	2,13	1,12	2,58	0,60
	02:54:47	138	1039,5	5,41	4,27	5,64	3,33	2,04	0,90	2,58	0,49
	02:55:04	139	1059,1	5,53	4,29	5,42	7,68	1,91	0,61	2,54	0,33
	02:55:32	140	1078,7	5,63	4,34	5,10	7,68	1,74	0,25	2,48	0,13
	02:56:09	141	1098,3	5,73	4,37	4,75	7,68	1,58	-0,15	2,35	-0,11
	02:56:37	142	1118,0	5,79	4,33	4,49	7,68	1,44	-0,46	2,13	-0,36
	02:56:49	143	1137,6	5,79	4,15	4,22	7,68	1,28	-0,86	1,89	-0,65
	02:57:04	144	1157,2	5,79	3,86	3,81	7,68	1,05	-1,39	1,53	-1,01
	02:57:32	145	1176,8	5,78	2,95	3,08	7,68	0,74	-2,14	1,02	-1,50
	02:57:57	146	1196,4	5,75	2,50	2,59	7,68	0,58	-2,72	0,68	-1,90
	02:58:31	147	1216,0	5,72	1,68	1,89	7,68	0,35	7,34	0,23	-2,51
02:59:02	148	1235,6	5,61	0,93	1,19	7,68	0,16	7,34	-0,12	-3,04	
02:59:18	149	1255,3	5,53	8,08	0,61	7,68	0,00	7,34	-0,43	-3,53	
02:59:27	150	1255,3	5,41	8,08	-0,25	7,68	-0,17	7,34	-0,82	-4,04	

Tabela C.3 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V3

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 %	E2 %	E3 %	E4 %	E5 %	E6 %	E7 %	E8 %
PRÉ	00:00:00	0	4,7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	00:00:30	1	39,2	0,08	0,03	0,05	0,04	0,02	0,02	0,05	0,03
	00:01:44	2	176,9	0,55	0,23	0,28	0,32	0,48	0,11	0,26	0,24
	00:02:46	3	316,0	0,91	0,49	0,63	0,54	0,85	0,26	0,53	0,52
	00:03:09	4	176,9	0,76	0,49	0,56	0,52	0,63	0,22	0,44	0,46
1	00:04:06	5	39,4	0,51	0,38	0,37	0,41	0,34	0,11	0,20	0,31
	00:04:52	6	177,3	0,73	0,45	0,53	0,48	0,65	0,20	0,41	0,46
	00:05:24	7	314,8	0,90	0,53	0,68	0,55	0,85	0,27	0,55	0,56
	00:05:44	8	175,5	0,75	0,52	0,60	0,53	0,63	0,23	0,45	0,50
2	00:06:45	9	39,2	0,52	0,41	0,40	0,42	0,35	0,12	0,21	0,33
	00:08:23	10	176,7	0,73	0,49	0,57	0,49	0,66	0,21	0,43	0,49
	00:08:48	11	320,5	0,90	0,55	0,71	0,56	0,86	0,28	0,57	0,59
	00:09:08	12	177,3	0,74	0,54	0,62	0,53	0,64	0,23	0,46	0,52
3	00:10:10	13	39,0	0,52	0,42	0,42	0,42	0,35	0,12	0,21	0,34
	00:10:41	14	176,5	0,75	0,52	0,61	0,50	0,69	0,23	0,45	0,52
	00:11:49	15	314,4	0,90	0,57	0,72	0,57	0,86	0,28	0,58	0,60
	00:12:10	16	177,1	0,74	0,56	0,64	0,54	0,65	0,24	0,47	0,53
4	00:13:09	17	40,0	0,52	0,44	0,43	0,43	0,36	0,13	0,22	0,35
	00:14:07	18	177,7	0,74	0,53	0,62	0,51	0,68	0,23	0,45	0,53
	00:14:42	19	314,2	0,90	0,58	0,73	0,57	0,87	0,29	0,58	0,61
	00:15:09	20	177,3	0,71	0,57	0,63	0,54	0,61	0,23	0,45	0,52
5	00:16:01	21	39,8	0,53	0,45	0,45	0,43	0,36	0,13	0,22	0,36
	00:18:56	22	177,3	0,74	0,54	0,63	0,51	0,68	0,23	0,46	0,53
	00:21:33	23	314,0	0,91	0,59	0,75	0,58	0,88	0,30	0,60	0,62
	00:21:55	24	176,1	0,74	0,59	0,67	0,56	0,66	0,25	0,49	0,56
6	00:23:20	25	39,4	0,53	0,46	0,45	0,44	0,37	0,14	0,22	0,37
	00:26:44	26	79,2	0,75	0,55	0,65	0,52	0,70	0,24	0,47	0,54
	00:27:29	27	314,6	0,90	0,60	0,76	0,58	0,88	0,30	0,60	0,63
	00:27:48	28	173,8	0,73	0,59	0,67	0,55	0,65	0,25	0,49	0,56
7	00:29:09	29	40,2	0,53	0,47	0,47	0,45	0,37	0,14	0,23	0,37
	00:29:49	30	179,1	0,75	0,57	0,66	0,52	0,70	0,25	0,48	0,55
	00:30:50	31	314,2	0,89	0,61	0,76	0,58	0,87	0,30	0,60	0,63
	00:31:07	32	177,1	0,73	0,60	0,68	0,56	0,65	0,25	0,49	0,56
8	00:32:20	33	39,4	0,53	0,46	0,46	0,43	0,37	0,14	0,22	0,37
	00:36:00	34	176,5	0,73	0,56	0,66	0,52	0,69	0,24	0,47	0,55
	00:38:02	35	313,8	0,86	0,60	0,74	0,57	0,84	0,29	0,58	0,62
	00:39:08	36	176,7	0,73	0,61	0,69	0,56	0,66	0,26	0,50	0,57
9	00:39:27	37	77,1	0,53	0,47	0,47	0,44	0,37	0,14	0,22	0,38
	00:40:31	38	176,9	0,74	0,57	0,67	0,53	0,69	0,25	0,48	0,57
	00:43:43	39	314,2	0,90	0,62	0,78	0,59	0,89	0,31	0,61	0,65
	00:45:53	40	177,5	0,74	0,61	0,70	0,56	0,66	0,26	0,50	0,58

Tabela C.3 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V3 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 %	E2 %	E3 %	E4 %	E5 %	E6 %	E7 %	E8 %
10	00:46:11	41	39,4	0,54	0,48	0,48	0,45	0,38	0,15	0,23	0,39
	00:47:13	42	179,5	0,75	0,58	0,68	0,53	0,70	0,25	0,49	0,57
	00:47:43	43	314,4	0,90	0,62	0,78	0,60	0,89	0,31	0,61	0,65
	00:49:35	44	176,1	0,74	0,62	0,70	0,57	0,66	0,26	0,50	0,58
11	00:49:52	45	39,2	0,54	0,49	0,49	0,45	0,38	0,15	0,23	0,39
	00:50:43	46	177,5	0,75	0,59	0,69	0,53	0,71	0,26	0,49	0,57
	00:52:51	47	314,4	0,90	0,63	0,79	0,60	0,89	0,31	0,61	0,65
	00:53:39	48	176,5	0,74	0,62	0,71	0,57	0,66	0,26	0,50	0,58
12	00:53:54	49	39,2	0,54	0,49	0,49	0,45	0,38	0,15	0,23	0,39
	00:54:52	50	179,5	0,76	0,60	0,70	0,54	0,72	0,26	0,50	0,58
	00:55:15	51	314,0	0,91	0,64	0,79	0,60	0,89	0,31	0,62	0,66
	00:56:19	52	177,3	0,74	0,63	0,71	0,57	0,67	0,26	0,51	0,59
13	00:56:34	53	40,8	0,54	0,48	0,48	0,45	0,38	0,15	0,23	0,39
	00:59:20	54	176,7	0,74	0,60	0,69	0,54	0,70	0,25	0,49	0,58
	01:01:38	55	316,6	0,90	0,64	0,79	0,60	0,88	0,31	0,61	0,66
	01:01:54	56	177,1	0,74	0,63	0,71	0,57	0,66	0,26	0,50	0,59
14	01:02:46	57	39,6	0,54	0,50	0,50	0,46	0,38	0,15	0,23	0,39
	01:03:15	58	177,7	0,75	0,60	0,70	0,54	0,71	0,26	0,50	0,59
	01:03:55	59	313,8	0,89	0,64	0,79	0,60	0,88	0,31	0,61	0,66
	01:04:08	60	176,5	0,73	0,64	0,71	0,57	0,66	0,26	0,50	0,58
15	01:04:55	61	39,2	0,55	0,51	0,50	0,46	0,38	0,15	0,24	0,40
	01:05:22	62	179,9	0,76	0,61	0,71	0,55	0,73	0,27	0,51	0,60
	01:05:52	63	316,0	0,89	0,64	0,80	0,60	0,87	0,31	0,61	0,66
	01:06:03	64	177,9	0,73	0,64	0,72	0,57	0,66	0,26	0,50	0,59
16	01:06:46	65	40,0	0,55	0,51	0,51	0,46	0,38	0,15	0,24	0,40
	01:07:08	66	177,7	0,76	0,62	0,72	0,55	0,72	0,27	0,51	0,60
	01:07:46	67	313,8	0,89	0,65	0,80	0,60	0,87	0,31	0,61	0,66
	01:07:57	68	177,3	0,73	0,64	0,72	0,57	0,66	0,26	0,50	0,59
17	01:08:38	69	39,6	0,55	0,51	0,51	0,46	0,38	0,15	0,24	0,40
	01:09:23	70	176,5	0,75	0,61	0,71	0,54	0,70	0,26	0,49	0,59
	01:12:09	71	313,8	0,90	0,65	0,81	0,61	0,89	0,32	0,62	0,67
	01:12:24	72	179,1	0,74	0,65	0,73	0,58	0,66	0,27	0,51	0,60
18	01:13:17	73	39,4	0,55	0,52	0,51	0,46	0,39	0,15	0,24	0,40
	01:15:28	74	178,1	0,75	0,62	0,72	0,55	0,71	0,26	0,50	0,60
	01:15:53	75	315,0	0,90	0,65	0,81	0,61	0,89	0,32	0,62	0,67
	01:16:53	76	176,7	0,75	0,64	0,73	0,57	0,69	0,26	0,51	0,60
19	01:17:39	77	39,2	0,54	0,51	0,51	0,46	0,38	0,15	0,23	0,40
	01:18:40	78	177,5	0,75	0,62	0,71	0,54	0,71	0,26	0,50	0,59
	01:19:06	79	316,0	0,88	0,66	0,81	0,60	0,87	0,32	0,61	0,67
	01:19:18	80	168,9	0,72	0,65	0,72	0,58	0,65	0,26	0,50	0,60

Tabela C.3 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V3 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 ‰	E2 ‰	E3 ‰	E4 ‰	E5 ‰	E6 ‰	E7 ‰	E8 ‰
20	01:20:03	81	38,8	0,55	0,51	0,51	0,46	0,38	0,15	0,24	0,40
	01:20:36	82	176,5	0,77	0,63	0,73	0,55	0,74	0,27	0,52	0,61
	01:21:06	83	314,6	0,87	0,66	0,80	0,60	0,85	0,31	0,60	0,66
	01:21:16	84	178,1	0,73	0,65	0,73	0,57	0,66	0,26	0,50	0,60
21	01:22:10	85	40,0	0,55	0,52	0,51	0,46	0,38	0,15	0,24	0,40
	01:22:37	86	176,7	0,76	0,63	0,73	0,55	0,72	0,27	0,51	0,60
	01:23:46	87	314,2	0,90	0,66	0,82	0,61	0,89	0,32	0,62	0,68
	01:24:00	88	176,7	0,72	0,65	0,73	0,58	0,65	0,26	0,50	0,59
22	01:25:26	89	39,8	0,55	0,52	0,52	0,46	0,39	0,16	0,24	0,41
	01:26:18	90	180,4	0,78	0,63	0,74	0,56	0,75	0,28	0,53	0,62
	01:27:06	91	314,6	0,90	0,66	0,82	0,61	0,90	0,32	0,62	0,68
	01:27:20	92	176,7	0,72	0,65	0,73	0,58	0,65	0,26	0,50	0,60
23	01:28:52	93	39,6	0,55	0,53	0,52	0,47	0,39	0,16	0,24	0,41
	01:29:15	94	178,3	0,77	0,64	0,74	0,56	0,74	0,28	0,53	0,61
	01:30:48	95	315,0	0,90	0,66	0,82	0,61	0,89	0,32	0,62	0,68
	01:31:00	96	179,5	0,74	0,66	0,75	0,58	0,68	0,27	0,52	0,61
24	01:31:45	97	39,4	0,55	0,53	0,52	0,47	0,39	0,16	0,24	0,41
	01:32:29	98	177,3	0,76	0,64	0,73	0,55	0,72	0,27	0,51	0,60
	01:33:17	99	314,2	0,90	0,67	0,83	0,61	0,90	0,32	0,63	0,68
	01:33:31	100	176,5	0,73	0,66	0,74	0,58	0,66	0,27	0,51	0,60
25	01:37:37	101	39,2	0,55	0,54	0,53	0,47	0,39	0,16	0,25	0,41
	01:39:20	102	78,5	0,60	0,56	0,58	0,48	0,49	0,18	0,32	0,47
	01:43:01	103	117,7	0,67	0,60	0,65	0,51	0,59	0,22	0,41	0,53
	01:43:53	104	156,9	0,72	0,62	0,70	0,54	0,67	0,25	0,47	0,58
	01:44:27	105	196,1	0,77	0,64	0,75	0,56	0,73	0,28	0,52	0,62
	01:45:06	106	235,4	0,82	0,65	0,78	0,58	0,80	0,30	0,57	0,65
	01:45:29	107	275,2	0,86	0,66	0,81	0,60	0,85	0,31	0,60	0,66
	01:46:12	108	314,6	0,92	0,67	0,83	0,62	0,91	0,32	0,63	0,68
RUPTURA	01:47:01	109	353,8	0,96	0,68	0,86	0,64	0,97	0,34	0,67	0,71
	01:47:29	110	392,5	1,02	0,70	0,91	0,67	1,05	0,36	0,73	0,74
	01:48:10	111	431,9	1,10	0,74	0,96	0,73	1,14	0,39	0,80	0,79
	01:48:38	112	471,5	1,19	0,79	1,03	0,80	1,24	0,42	0,87	0,83
	01:49:20	113	510,5	1,28	0,85	1,10	0,88	1,34	0,45	0,94	0,88
	01:49:39	114	549,4	1,37	0,92	1,19	0,97	1,44	0,48	1,00	0,93
	01:49:57	115	589,6	1,47	1,00	1,29	1,06	1,56	0,52	1,08	0,99
	01:50:19	116	608,2	1,51	1,05	1,34	1,10	1,62	0,55	1,12	1,02
	01:50:34	117	628,0	1,55	1,08	1,38	1,12	1,67	0,57	1,15	1,05
	01:50:44	118	647,2	1,60	1,13	1,43	1,16	1,75	0,60	1,21	1,12
	01:50:56	119	666,9	1,65	1,18	1,48	1,17	1,83	0,63	1,26	1,14
	01:51:14	120	686,5	1,71	1,24	1,55	1,22	1,91	0,67	1,32	1,20
	01:51:41	121	706,1	1,76	1,28	1,59	1,23	1,97	0,69	1,36	1,24
	01:51:58	122	725,7	1,82	1,34	1,64	1,25	2,04	0,73	1,42	1,29

Tabela C.3 - Deformações nos conectores de cisalhamento do modelo V3 - Continuação

Ciclo	Tempo	Passo	Carga (kN)	E1 ‰	E2 ‰	E3 ‰	E4 ‰	E5 ‰	E6 ‰	E7 ‰	E8 ‰
RUPTURA	01:52:19	123	745,3	1,88	1,38	1,69	1,26	2,11	0,76	1,46	1,33
	01:52:38	124	764,9	1,93	1,41	1,72	1,27	2,17	0,79	1,51	1,37
	01:52:50	125	784,5	1,98	1,45	1,74	1,27	2,22	0,83	1,55	1,41
	01:52:59	126	804,1	2,04	1,50	1,77	1,28	2,29	0,88	1,61	1,45
	01:53:09	127	823,8	2,12	1,57	1,81	1,29	2,37	0,95	1,69	1,52
	01:53:24	128	843,4	2,22	1,64	1,84	1,27	2,46	1,04	1,78	1,59
	01:53:44	129	863,0	2,32	1,70	1,88	1,32	2,53	1,15	1,88	1,65
	01:54:05	130	882,6	2,43	1,75	1,90	1,35	2,58	1,24	1,96	1,70
	01:54:23	131	902,2	2,52	1,80	1,92	1,35	2,62	1,34	2,05	1,74
	01:54:37	132	921,8	2,66	1,86	1,91	1,33	2,67	1,46	2,15	1,78
	01:54:53	133	941,4	2,85	1,96	1,89	1,28	2,77	1,63	2,29	1,85
	01:55:14	134	961,1	3,02	2,11	1,84	0,61	2,85	1,76	2,40	1,89
	01:55:30	135	980,9	3,19	2,23	1,73	-1,10	2,93	1,89	2,51	1,92
	01:55:45	136	1000,3	3,32	2,30	1,62	-2,63	2,97	1,96	2,58	1,94
	01:55:54	137	1019,9	3,61	2,27	1,40	-1,41	3,06	2,07	2,69	1,97
	01:56:15	138	1039,5	3,80	2,12	1,25	-1,39	3,11	2,08	2,72	1,97
	01:56:25	139	1059,1	3,88	5,29	0,99	-1,37	3,13	2,03	2,70	1,91
	01:56:55	140	1078,7	3,96	8,47	0,73	-1,35	3,16	1,97	2,68	1,85
	01:57:16	141	1098,3	3,93	8,47	0,42	-1,35	3,09	1,75	2,45	1,69
	01:57:31	142	1118,0	3,83	8,47	0,09	-1,35	2,94	1,44	2,09	1,45
	01:57:41	143	1137,6	3,72	8,47	-0,31	-1,35	2,78	1,09	1,79	1,22
	01:57:48	144	1147,4	3,61	8,47	-0,69	-1,35	2,67	0,78	1,55	1,03
	01:58:08	145	1176,8	3,31	8,47	-1,77	-1,35	2,63	-0,25	0,86	0,39
	01:58:15	146	1186,6	3,23	8,47	-2,11	-1,35	2,57	-0,58	0,69	0,19
	01:58:39	147	1216,0	2,96	8,47	-3,19	-1,34	2,25	-1,61	0,09	-0,49
	01:58:52	148	1235,6	2,82	8,47	-3,87	-1,34	2,04	-2,23	-0,32	-0,93
	01:59:07	149	1255,3	2,62	8,47	-5,00	-1,34	1,65	-2,90	-0,99	-1,53
	01:59:22	150	1274,9	2,39	8,47	7,80	-1,34	1,09	-3,51	-1,84	-2,24
01:59:41	151	1294,5	1,96	8,47	-2,51	-1,34	0,08	-4,75	-3,15	-3,34	
01:59:51	152	1314,1	1,56	8,47	-2,57	-1,34	-0,58	7,04	-4,35	-3,97	
02:00:04	153	1320,0	7,64	8,47	-2,60	-1,34	-1,80	7,04	-4,30	7,95	

## D. DESENHOS ESQUEMÁTICOS DAS FÔRMAS

Abaixo encontram-se ilustrados os recortes das chapas de compensado de madeira, com suas respectivas medidas, para montagem, conforme utilizados para construir as fôrmas utilizadas nos ensaios deste trabalho.

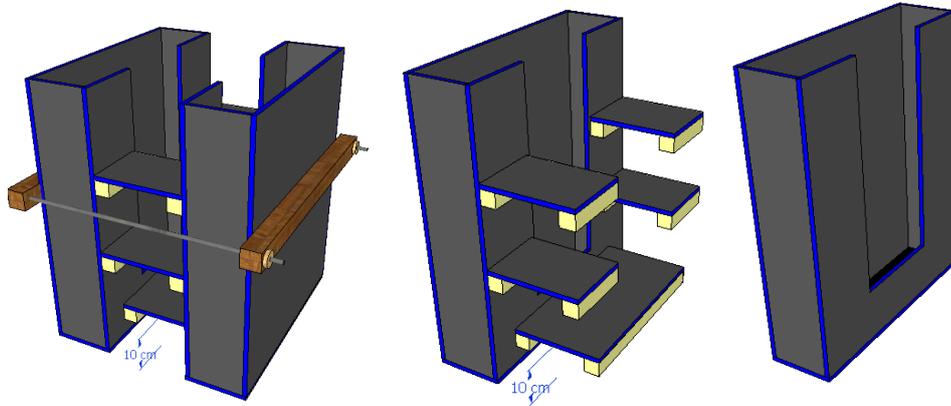


Figura D.1 – Perspectiva 3D da fôrma montada

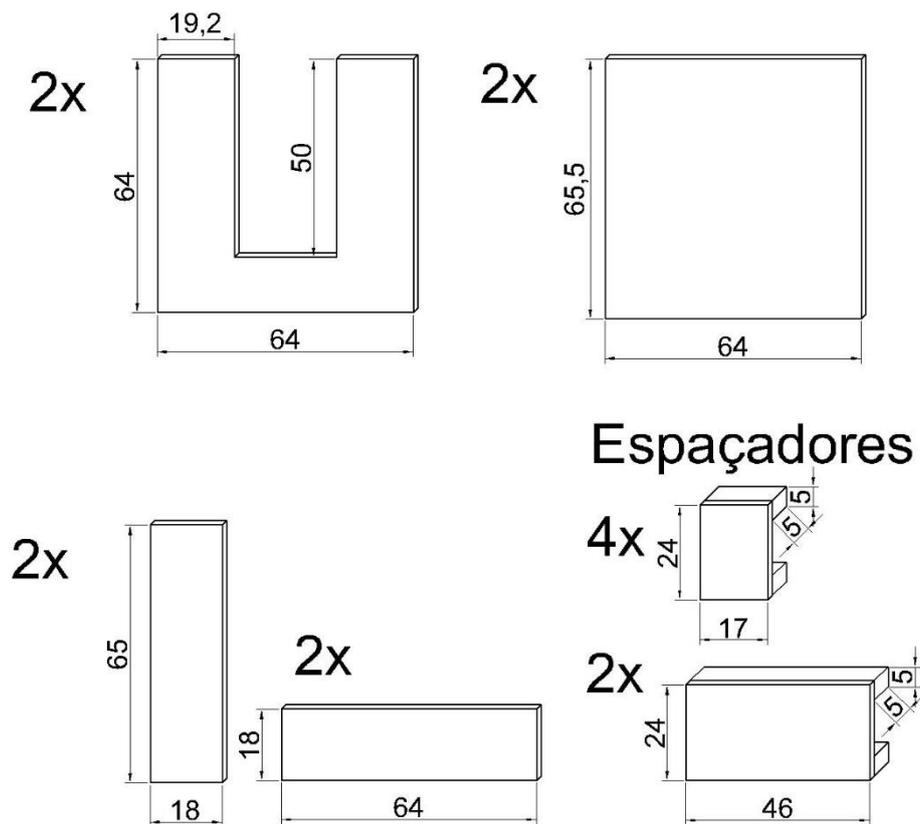


Figura D.2 – Detalhe das partes componentes e suas medidas para o corte das chapas de compensado.

## E. DOCUMENTOS EM FORMATO .TXT PARA ENTRADA NO ANSYS

Neste anexo estão disponibilizados os dois documentos do tipo .txt para inserção no software ANSYS, o primeiro referente ao modelo de *stud bolt* e o segundo referente ao modelo de conector treliçado.

### E.1 MODELO STUD BOLT

```

! Condições iniciais
/PREP7
/TITLE, Viga composta de aco-concreto com furos (F=KN, L=cm)
! Carregamento de                                450
! Largura efetiva de                               128.8223958
! Fator L/D                                         25
! Fator (n)                                         #REF!
! Perfil                                            W410 X 75.0*
! C*** Definicao das propriedades do aco
! Gerando os Nós da Viga Metálica Alveolar
! Dados Relacionados com o Flange Inferior
! N°- Coordenadas
! Comando      Nó      ,      X      ,      Y      ,      Z      ,      Rot- X      ,
                Rot- Y      ,      Rot- Z
N      ,      1      ,      0      ,      0      ,      0      ,
! Gerando do flange superior      Nós até o perfil      5
! NGEN ,      ITIME ,      INC      ,      NODE1 ,      NODE2 ,      NINC ,
    DX      ,      DY      ,      DZ      ,      SPACE ,
! Linha      1      Linha lateral até a BORDA DO FLANGE

NGEN ,      5      ,      1      ,      1      ,      1      ,      1      ,
    4.325 ,      0      ,      0      ,      1      ,

! Linha      2      Linha lateral da BORDA DO FLANGE até a alma do perfil

NGEN ,      2      ,      1      ,      5      ,      5      ,      1      ,
    5.2 ,      0      ,      0      ,      1      ,
NGEN ,      3      ,      1      ,      6      ,      6      ,      1      ,
    3.5 ,      0      ,      0      ,      1      ,
NGEN ,      2      ,      1      ,      8      ,      8      ,      1      ,
    1 ,      0      ,      0      ,      1      ,

! Outro lado do perfil

NGEN ,      3      ,      1      ,      9      ,      9      ,      1      ,
    3.5 ,      0      ,      0      ,      1      ,
NGEN ,      2      ,      1      ,      11 ,      11 ,      1      ,
    5.2 ,      0      ,      0      ,      1      ,
NGEN ,      5      ,      1      ,      12 ,      12 ,      1      ,
    4.325 ,      0      ,      0      ,      1      ,

! Sent. do longitudinal na ZONA- Z1      No do primeiro conector      86      91

NGEN ,      6      ,      16 ,      1      ,      16 ,      1      ,
    0 ,      0      ,      3.00 ,      1      ,

! Sent. do longitudinal na ZONA- Z2      Nó do enrijecedor      85
NGEN ,      3      ,      16 ,      81 ,      96 ,      1      ,
0 ,      0      ,      5.00 ,      1      ,
! Nos após o enrijecedor

```

NGEN	,	2	,	16	,	113	,	128	,	1	,
0	,	0	,	5	,	1	,				
! No do primeiro conector após o enrijecedor						134		139			
! Construindo os demais conectores											
NGEN	,	3	,	16	,	129	,	144	,	1	,
0	,	0	,	5	,	1	,				
! Nó da faixa final da viga após o último conector											
NGEN	,	6	,	16	,	161	,	176	,	1	,
0	,	0	,	5	,	1	,				
! Sentido vertical						Incremento por camada			256		
! Camadas da alma do perfil											
NGEN	,	2	,	256	,	1	,	256	,	1	,
0	,	1.8	,	0	,	1	,				
NGEN	,	6	,	256	,	257	,	512	,	1	,
0	,	4.34	,	0	,	1	,				
! Camadas do flange do perfil											
NGEN	,	2	,	256	,	1537	,	1792	,	1	,
0	,	1.8	,	0	,	1	,				
! Selecionando os nos dos conectores						Total de Nos por camada			7		
NSEL	,	none									
NSEL	,	s	,					1878	,	1883	,
5	,	1									
NSEL	,	A	,					1958	,	1958	,
1	,	1									
NSEL	,	A	,					1963	,	1963	,
1	,	1									
! Camadas da ALMA DO PINO											
NGEN	,	2	,	256	,	all	,			1	,
0	,	3.225	,	0	,	1	,				
NSEL	,	none									
NSEL	,	s	,					2134	,	2219	,
1	,	1									
NGEN	,	4	,	256	,	all	,			1	,
0	,	2.925	,	0	,	1	,				
! Camadas da cabeça do pino											
NGEN	,	3	,	256	,	2902	,	2987	,	1	,
0	,	0.5	,	0	,	1	,				
! Gerando os Nós da laje											
NSEL	,	none									
NSEL	,	s	,					1793	,	2048	,
1	,	1									
NGEN	,	2	,	1963	,	all	,			1	,
0	,	0	,	0	,	1	,				
NGEN	,	2	,	256	,	3756	,	4011	,	1	,
0	,	3.225	,	0	,	1	,				

```

NGEN , 4 , 256 , 4012 , 4267 , 1 ,
0 , 2.925 , 0 , 1 ,
NGEN , 2 , 256 , 4780 , 5035 , 1 ,
0 , 1 , 0 , 1 ,

```

! Camada de concreto acima do conector

```

NGEN , 3 , 256 , 5036 , 5291 , 1 ,
0 , 1 , 0 , 1 ,

```

! Gerando os elementos do PERFIL

! Regiao do flange

```

ET , 1 , solid45 ! definicao dos elementos solidos p/aco
EX , 1 , 20500 ! Unidade em kN/cm2 - aco
NUXY , 1 , 0.3 ! Coef. de Poisson - aco
DENS , 1 , 0 ! Densidade em KN/cm3 - aco
TYPE , 1
Mat , 1
Real , 1 ,
ESYS , 0
R , 1 , 1.8 , 0 , 0 , 0 ,
0 ,
TB , MISO , 1 , 1 , ,
TBMODIF , 1 , 1 , 0.000853659
TBMODIF , 1 , 2 , 17.5
TBMODIF , 2 , 1 , 0.037439024
TBMODIF , 2 , 2 , 25
TBMODIF , 3 , 1 , 0.769146341
TBMODIF , 3 , 2 , 40
TBMODIF , 4 , 1 , 1
TBMODIF , 4 , 2 , 40

```

! Gerando os elementos do FLANGE do PERFIL

```

Nô inicial do falnge do perfil 1541 Incr na alt 1536

```

! Elementos ate o conector -1 na alma

```

EN , 1 , 5 , 21 , 22 , 6 ,
261 , 277 , 278 , 262 ,

```

```

EGEN , 7 , 1 , 1 , 1 , , ,
EGEN , 15 , 16 , 1 , 7 , , ,
EGEN , 2 , 1536 , 1 , 105 , , ,

! REGIAO DA ALMA
incrementos dos Nos na lateral 16 Incrementos na altura 256
! Regiao da alma
! Anulado- Aplicado no shell EN , 211 , 9 , 25 , 281
, 265
! Anulado- Aplicado no shell EGEN , 15 , 16 , 211 , 211
, , ,
! Gerando as demais camadas da alma
EGEN , 6 , 256 , 4 , 102 , 7 ,
, , ,

! Gerando os elementos do enrijecedor
! Anulado- Aplicado no shell EN , 598 , 117 , 118 , 374
, 373 ,
! Anulado- Aplicado no shell EGEN , 7 , 1 , 598 , 598
, , ,
! Anulado- Aplicado no shell EGEN , 6 , 256 , 598 , 604
, , ,

! Elementos do Conector
ET , 3 , beam189 ! definicao dos elementos solidos p/aco
EX , 3 , 20700.0000000000000000 ! Unidade em kN/cm2 - aco
NUXY , 3 , 0.3 ! Coef. de Poisson - aco
DENS , 3 , 0 ! Densidade em KN/cm3 - aco
TYPE , 3
Mat , 3
SECNUM , 3
Real ,
ESYS , 0

! Área do corpo 2.83520375 cm²
! Área da cabeça 8.04224 cm²

TB , MISO , 3 , 1 , ,
TBMODIF , 1 , 1 , 0.00145
TBMODIF , 1 , 2 , 30
TBMODIF , 2 , 1 , 0.037

```

TBMODIF	,	2	,	2	,	41.8933397		
TBMODIF	,	3	,	1	,	0.12		
TBMODIF	,	3	,	2	,	42.5		
TBMODIF	,	4	,	1	,	0.19621186		
TBMODIF	,	4	,	2	,	47.61334396		
TBMODIF	,	5	,	1	,	0.39900377		
TBMODIF	,	5	,	2	,	52.2		
TBMODIF	,	6	,	1	,	3414		
TBMODIF	,	6	,	2	,	0.66844425		
TBMODIF	,	6	,	2	,	54.2		
TBMODIF	,	7	,	1	,	2902	256	
TBMODIF	,	7	,	2	,	0.82219715		
TBMODIF	,	7	,	2	,	55		256
!0	,	8	,	1	,	2390	256	
!0	,	8	,	2	,	2134	256	
						1878	1878	
! Gerando o primeiro conector				Incremento na altura			256	
! Corpo do conector				Incremento p/ formar a laje				
1963								
EN	,	640	,	1878	,	2390	,	2134
EN	,	641	,	2390	,	2902	,	2646
ET	,	4	,	beam189	! definicao dos elementos solidos p/aco			
EX	,	4	,	20700.0000	! Unidade em kN/cm2 - aco			
NUXY	,	4	,	0.3	! Coef. de Poisson - aco			
DENS	,	4	,	0	! Densidade em KN/cm3 - aco			
TYPE	,	4						
Mat	,	4						
SECNUM	,	4						
Real	,							
ESYS	,	0						
TB	,	MISO	,	4	,	1	,	, ,
TBMODIF	,	1	,	1	,	0.00145		
TBMODIF	,	1	,	2	,	30.0000		

```

TBMODIF      ,      2      ,      1      ,      0.0370
TBMODIF      ,      2      ,      2      ,      41.8933
TBMODIF      ,      3      ,      1      ,      0.1200
TBMODIF      ,      3      ,      2      ,      42.5000
TBMODIF      ,      4      ,      1      ,      0.1962
TBMODIF      ,      4      ,      2      ,      47.6133
TBMODIF      ,      5      ,      1      ,      0.39900377
TBMODIF      ,      5      ,      2      ,      52.20
TBMODIF      ,      6      ,      1      ,      0.66844425
TBMODIF      ,      6      ,      2      ,      54.20
TBMODIF      ,      7      ,      1      ,      0.82
TBMODIF      ,      7      ,      2      ,      55.00
!0           ,      8      ,      1      ,      0.00
!0           ,      8      ,      2      ,      0.00

! Cabeça do conector

! Não esta acoplado                                3158          3414

EN           ,      642      ,      2902      ,      3414      ,      3158      ,

! Gerando os demais conectores

EGEN        ,      2      ,      5      ,      640      ,      642      ,      ,      ,
           ,      ,      ,
EGEN        ,      2      ,      80      ,      640      ,      645      ,      ,      ,
           ,      ,      ,

ESEL        ,      none

ESEL        ,      s      ,      sec ,      ,      3      ,      ,      ,      ,

SECTYPE     ,      3      ,      BEAM,CSOLID, , 0

SECOFFSET, CENT

SECDATA     ,      0.90      ,      ,0,0,0,0,0,0,0,0

ESEL        ,      none

ESEL        ,      s      ,      sec ,      ,      4      ,      ,      ,      ,

SECTYPE     ,      4      ,      BEAM,CSOLID, , 0

SECOFFSET, CENT

```

SECDATA , 1.6 ,0,0,0,0,0,0,0

! Gerando os elementos da LAJE DE CONCRETO

Incr na alt 256

ET , 5 , SOLID65 ! definicao dos elementos solidos p/o concreto

EX , 5 , 2410 ! Unidade em kN/cm2 - aco

NUXY , 5 , 0.2 ! Coef. de Poisson - concreto

DENS , 5 , 0 ! Densidade em KN/cm3 - concreto

TYPE , 5

Mat , 5

Real ,

ESYS , 0

R , 5 , , , , , ,

RMORE , , , , , ,

RMORE ,

TYPE , 5

Mat , 5

Real , 5

ESYS , 0

TB , MISO , 5 , 1 , , ,

TBMODIF , 1 , 1 , 0.00044813

TBMODIF , 1 , 2 , 1.08

TBMODIF , 2 , 1 , 0.024

TBMODIF , 2 , 2 , 1.8

TBMODIF , 3 , 1 , 0.054

TBMODIF , 3 , 2 , 2.3

TBMODIF , 4 , 1 , 0.09

TBMODIF , 4 , 2 , 2.768

TBMODIF , 5 , 1 , 0.12

TBMODIF , 5 , 2 , 2.839

TBMODIF , 6 , 1 , 0.15

TBMODIF	,	6	,	2	,	2.876			
TBMODIF	,	7	,	1	,	0.190			
TBMODIF	,	7	,	2	,	2.896			
TBMODIF	,	8	,	1	,	0.21			
TBMODIF	,	8	,	2	,	2.9			
!0	,	9	,	1	,	0			
!0	,	9	,	2	,	0			

! Região até o primeiro conector da 1 camada  
Incremento na lateral

16

! Inc nos Nós p/ formar a laje

1963

! Inc nos Nós na altura

256

EN	,	652	,	3756	,	3757	,	3773	,	3772	,
		4012		4013		4029		4028			
EGEN	,	15	,	1	,	652	,	652	,		
EGEN	,	15	,	16	,	652	,	666	,		
EGEN	,	7	,	256	,	652	,	876	,		

! \*\*\*\*\*CONTATO \*\*\*\*\*

! Contato superfície

! GERANDO OS ELEMENTOS DE CONTATO

! Modelo -01

MP	,	MU,		7	,	0
----	---	-----	--	---	---	---

MAT	,	7
-----	---	---

R	,	8
---	---	---

REAL	,	8
------	---	---

ET	,	8	,	TARGE170
----	---	---	---	----------

R	,	8	,
---	---	---	---

RMORE,

RMORE,,0

RMORE,0

TYPE	,	8
------	---	---

! Incremento dos nos na altura do elemento

256

! Incremento em relação ao concreto

1963

! Incremento concreto + altura do elemento

2219

```

!ET      ,      ,      TARGE170
!TYPE   ,      7
!Mat    ,      7
!R      ,      7      ,
!Real   ,      7
!MP     ,      MU,      7      ,      0
!MAT    ,      7
!KEYOPT ,      5      ,      1      ,      0
!KEYOPT ,      5      ,      2      ,      0
!KEYOPT ,      5      ,      3      ,      0
!KEYOPT ,      5      ,      4      ,      0
!KEYOPT ,      5      ,      5      ,      0
!Região do corpo do 1 conect
4
EN      ,      2496      ,      1797      ,      1813      ,      1814      ,      1798
EGEN   ,      7      ,      1      ,      2496      ,      2496      ,      ,      ,
EGEN   ,      15      ,      16      ,      2496      ,      2503      ,      ,      ,
,      ,      ,
!Gerando o par do elemento de contato(conta173)
ESYS   ,      0
ET     ,      7      ,      CONTA173
TYPE   ,      7
!Mat   ,      7
!R     ,      7      ,      0      ,      0      ,      1      ,      0.1      ,
0      ,      0
!Real  ,      7
!MP    ,      MU,      7      ,      0.4
!MAT   ,      7
KEYOPT ,      7      ,      1      ,      0
KEYOPT ,      7      ,      2      ,      0
KEYOPT ,      7      ,      4      ,      0
KEYOPT ,      7      ,      5      ,      0

```

```

KEYOPT      ,      7      ,      6      ,      0
KEYOPT      ,      7      ,      7      ,      1
KEYOPT      ,      7      ,      8      ,      0
KEYOPT      ,      7      ,      9      ,      0
KEYOPT      ,      7      ,     10      ,      0
KEYOPT      ,      7      ,     11      ,      0
KEYOPT      ,      7      ,     12      ,      0
! Sequencia dos Nós
      3
! Incremento para os Nós da laje
                                     1963
EN      ,     2601      ,     3760      ,     3761      ,     3777      ,     3776
EGEN      ,      7      ,      1      ,     2601      ,     2601      ,      ,      ,
      ,      ,      ,
EGEN      ,     15      ,     16      ,     2601      ,     2608      ,      ,      ,
      ,      ,      ,

! Fazendo os acoplamento

! Incremento dos Nós na altura
      256
! Incremento dos Nós do perfil em relação a laje
      1963

!Acoplando a base do conector com a laje

NSEL      ,      NONE

NSEL      ,      s      ,      ,      ,     1878      ,     3841      ,
      1963      ,      1      ,
CP      ,      1      ,      UX      ,      ALL
CP      ,      2      ,      UZ      ,      ALL

! Gerando o acoplamento da alma do conector com a laje

NSEL      ,      NONE

NSEL      ,      S      ,      ,      ,     2134      ,     4097      ,
      1963      ,      1      ,
CP      ,      3      ,      UX      ,      ALL
CP      ,      4      ,      UZ      ,      ALL

NSEL      ,      NONE

NSEL      ,      all

CPSGEN,      3      ,     256      ,      3      ,      4      ,      1

! ACOPLAMENTO DA BASE INFERIOR DA CABEÇA DO CONECTOR

```

```

NSEL , NONE
NSEL , S , , , 2902 , 4865 ,
1963 , 1 ,
CP , 13 , ux , ALL
CP , 14 , UY , ALL
CP , 15 , uz , ALL

```

! Acoplamento da parte superior do conector

```

NSEL , NONE
NSEL , S , , , 3414 , 5377 ,
1707 , 1 ,
CP , 16 , UX , ALL
!0 , 17 , UZ , ALL

```

! Acoplamentos do conector vizinho

```

NSEL , NONE
NSEL , all
CPSGEN, 2 , 5 , 1 , 17 , 1

```

! Acoplamentos dos demais conectores

```

CPSGEN, 2 , 80 , 1 , 34 , 1

```

! Gerando Restrições ao longo da BASE INFERIOR DO FLANGE

```

NSEL , none
NSEL , S , , , 776 , 1016 ,
16 , 1 ,
NSEL , A , , , 777 , 1017 ,
16 , 1 ,
NSEL , A , , , 1544 , 1784 ,
16 , 1 ,
NSEL , A , , , 1545 , 1785 ,
16 , 1 ,
!0 , ALL , , , ,
, UX, UY

```

! Gerando Restrições ao longo da Face da laje

! Total de camadas - 8

```

NSEL , none
! Camada- 1
NSEL , S , , , 3996 , 4011 ,
1 , 1 ,
! Camada- 2
NSEL , A , , , 4252 , 4267 ,
1 , 1 ,

```

! Camada-	3						
NSEL	, A	, ,			4508	, 4523	,
1	, 1						
! Camada-	4						
NSEL	, A	, ,			4764	, 4779	,
1	, 1						
! Camada-	5						
NSEL	, A	, ,			5020	, 5035	,
1	, 1						
! Camada-	6						
NSEL	, A	, ,			5276	, 5291	,
1	, 1						
! Camada-	7						
NSEL	, A	, ,			5532	, 5547	,
1	, 1						
! Camada-	8						
NSEL	, A	, ,			5788	, 5803	,
1	, 1						
! Camada-	9						
! Canada inexistente		, A	, ,			, 6044	,
6059	, 1	, 1					
! Camada-	10						
! Canada inexistente		, A	, ,			, 6300	,
6315	, 1	, 1					
! Camada-	11						
! Canada inexistente		, A	, ,			, 6556	,
6571	, 1	, 1					
! Camada-	12						
! Canada inexistente		, A	, ,			, 6812	,
6827	, 1	, 1					
D	, ALL	, ,					
	, UX	, UZ					
! Gerando carregamento na região do flange							
! Total de elementos da laje sobre o perfil							-
7							
! Area de aplicação do carregamento							- 59
46	13.02		59				
! Elemento inicial da alma							- 241
3							
ESEL	, none						
ESEL	, S	, ,			106	, 112	,
1	, 1						
ESEL	, A	, ,			241	, 271	,
15	, 1						
SFE	, ALL	, 5	, PRES	, ,		, 7.6609	,
	, ,						

! Deletando os elementos para ficar com a metade da viga

```
ESEL , none  
  
ESEL , S , , 1 , 105 ,  
1 , 1  
ESEL , A , , 211 , 240 ,  
1 , 1  
EDELE , ALL
```

## E.2 MODELO DO CONECTOR TRELIÇADO

### Modelo Conector Trelaçado

```
/PREP7  
/TITLE, conector trelaçado  
!Dados importantes  
!0 Altura do conector 13 Z1 = 15 Z2 = 13.00049826 Z3 = 11.99950174  
Z4 / Final = 25  
!0 450  
!Comando N6 , X , Y , Z , Rot- X  
, Rot- Y , Rot- Z  
  
N , 1 , 0 , 0 , 0 , ,  
,  
  
!NGEN , ITIME , INC , NODE1 , NODE2 , NINC ,  
DX , DY , DZ , SPACE ,  
  
!GERANDO NÓS EM "A"  
  
NGEN , 4 , 1 , 1 , 1 , 1 ,  
5.833 , 0.000 , 0.000 , 1 ,  
  
!GERANDO NÓS DA FACE DO PERFIL AO INÍCIO DO CONECTOR  
  
NGEN , 6 , 1 , 4 , 4 , 1 ,  
1.000 , 0.000 , 0.000 , 1 ,  
  
!GERANDO NÓS EM "B"  
  
NGEN , 4 , 1 , 9 , 9 , 1 ,  
2.333 , 0.000 , 0.000 , 1 ,  
  
!GERANDO NÓS EM "D"  
  
NGEN , 2 , 1 , 12 , 12 , 1 ,  
1.000 , 0.000 , 0.000 , 1 ,  
  
!GERANDO NÓS EM "G"  
  
NGEN , 4 , 1 , 13 , 13 , 1 ,  
2.333 , 0.000 , 0.000 , 1 ,  
  
!GERANDO NÓS DA FACE DO PERFIL AO INÍCIO DO CONECTOR  
  
NGEN , 6 , 1 , 16 , 16 , 1 ,  
1.000 , 0.000 , 0.000 , 1 ,
```

!GERANDO NÓS EM "H"

NGEN , 4 , 1 , 21 , 21 , 1 ,  
5.833 , 0.000 , 0.000 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM NO SENTIDO DE Z1

NGEN , 6 , 24 , 1 , 24 , 1 ,  
0.000 , 3.000 , 0.000 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM NO SENTIDO DE Z2

NGEN , 5 , 24 , 121 , 144 , 1 ,  
0.000 , 3.250 , 0.000 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM NO SENTIDO DE Z3

NGEN , 5 , 24 , 217 , 240 , 1 ,  
0.000 , 2.400 , 0.000 , 1 , ,

! Copiando o segundo conector

NGEN , 2 , 216 , 121 , 240 , 1 ,  
0.000 , 25.000 , 0.000 , 1 , ,

!GERANDO MAIS NÓS APÓS O SENTIDO Z3 (CÓPIA DO Z2 E Z3)

! Não se aplica , 0 , 312 , 121 , 336 , 1  
, 0.000 , 22.600 , 0.000 , 1 ,

!GERANDO NÓS EM NO SENTIDO DE Z4 (PORÇÃO FINAL DO ÚLTIMO CONECTOR ATÉ O FIM DA VIGA)

NGEN , 11 , 24 , 433 , 456 , 1 ,  
0.000 , 2.500 , 0.000 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM ALTURA (FLANGE INFERIOR)

NGEN , 2 , 696 , 1 , 696 , 1 ,  
0.000 , 0.000 , 1.800 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM ALTURA (ALMA)

NGEN , 5 , 696 , 697 , 1392 , 1 ,  
0.000 , 0.000 , 5.000 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM ALTURA (FLANGE SUPERIOR)

NGEN , 2 , 696 , 3481 , 4176 , 1 ,  
0.000 , 0.000 , 1.800 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM ALTURA (CONCRETO)

NGEN , 5 , 4872 , 4177 , 4872 , 1 ,  
0.000 , 0.000 , 3.250 , 1 , ,

!GERANDO NÓS EM ALTURA ACIMA DO CONECTOR (CONCRETO)

NGEN , 2 , 4872 , 23665 , 24360 , 1 ,  
 0.000 , 0.000 , 2.000 , 1 ,

!DUPLICANDO NÓS DO CONCRETO

NGEN , 2 , 29232 , 4177 , 29232 , 1 ,  
 0.000 , 0.000 , 0.000 , 1 ,

!CRIANDO OS ELEMENTOS DOS CONECTORES

ET , 1 , beam189 ! definicao dos elementos solidos p/aco

EX , 1 , 20000 ! Unidade em kN/cm2 - aco

NUXY , 1 , 0.300000 ! Coef. de Poisson - aco

DENS , 1 , 0 ! Densidade em KN/cm3 - aco

TYPE , 1

Mat , 1

SECNUM , 1

Real ,

ESYS , 0

TB , MISO , 1 , 1 , , ,

TBMODIF , 1 , 1 , 0.0015

TBMODIF , 1 , 2 , 30.0000

TBMODIF , 2 , 1 , 0.0370

TBMODIF , 2 , 2 , 41.8933

TBMODIF , 3 , 1 , 0.1200

TBMODIF , 3 , 2 , 42.5000

TBMODIF , 4 , 1 , 0.1962

TBMODIF , 4 , 2 , 47.6133

TBMODIF , 5 , 1 , 0.39900377

TBMODIF , 5 , 2 , 52.20

TBMODIF , 6 , 1 , 0.66844425

TBMODIF , 6 , 2 , 54.20

TBMODIF , 7 , 1 , 0.82

```

TBMODIF      ,      7      ,      2      ,      55.00

!TBMODIF     ,      6      ,      1      ,      0
!TBMODIF     ,      6      ,      2      ,      0
!TBMODIF     ,      7      ,      1      ,      0
!TBMODIF     ,      7      ,      2      ,      0

!Gerando a haste vertical

EN           ,      1      ,      4401      ,      14145      ,      9273      ,
EN           ,      2      ,      14145      ,      53121      ,      19017      ,
EN           ,      3      ,      4305      ,      14097      ,      9201      ,
EN           ,      4      ,      14097      ,      53121      ,      18993      ,

!COPIANDO OS ELEMENTOS DOS CONECTORES P/O LADO

EGEN        ,      2      ,      7      ,      1      ,      4      ,      1

! Copiando a segunda bateria de conectores

EGEN        ,      2      ,      216      ,      1      ,      8      ,      1

!CRIANDO A LIGAÇÃO DOS CONECTORES

ET          ,      2      ,      beam189      ! definicao dos elementos solidos p/aco
EX          ,      2      ,      20000      ! Unidade em kN/cm2 - aco
NUXY       ,      2      ,      0.300000      ! Coef. de Poisson - aco
DENS       ,      2      ,      0      ! Densidade em KN/cm3 - aco
TYPE       ,      2
Mat        ,      2
SECNUM     ,      2
Real      ,
ESYS      ,      0
TB         ,      MISO      ,      2      ,      1      ,      ,
TBMODIF   ,      1      ,      1      ,      0.0015
TBMODIF   ,      1      ,      2      ,      30.0000
TBMODIF   ,      2      ,      1      ,      0.0370
TBMODIF   ,      2      ,      2      ,      41.8933

```

```

TBMODIF , 3 , 1 , 0.1200
TBMODIF , 3 , 2 , 42.5000
TBMODIF , 4 , 1 , 0.1962
TBMODIF , 4 , 2 , 47.6133
TBMODIF , 5 , 1 , 0.39900377
TBMODIF , 5 , 2 , 52.20
TBMODIF , 6 , 1 , 0.66844425
TBMODIF , 6 , 2 , 54.20
TBMODIF , 7 , 1 , 0.82
TBMODIF , 7 , 2 , 55.00
!0 , 8 , 1 , 0.00
!0 , 8 , 2 , 0.00
!EN , 9 , 0 , -29124 , -29184 ,
!EN , 10 , -29124 , 7 , -29285 ,
!EGEN , 2 , -29124 , 9 , 9 , 1
ESEL , none
ESEL , s , sec , 1 , , ,
SECTYPE , 1 , BEAM,CSOLID,,0
SECOFFSET,CENT
SECDATA , 0.92 ,0,0,0,0,0,0,0,0
ESEL , none
ESEL , s , sec , 2 , , ,
SECTYPE , 2 , BEAM,CSOLID,,0
SECOFFSET,CENT
SECDATA , 0.95 ,0,0,0,0,0,0,0,0
!CRIANDO OS ELEMENTOS DA LAJE DE CONCRETO
ET , 3 , SOLID65 ! definicao dos elementos solidos p/o concreto
EX , 3 , 2410 ! Unidade em kN/cm2 - aco
NUXY , 3 , 0.2 ! Coef. de Poisson - concreto
DENS , 3 , 0 ! Densidade em KN/cm3 - concreto

```

TYPE	,	3						
Mat	,	3						
Real	,	3						
ESYS	,	0						
Real	,	3						
R	,	3	,	, , , , , ,				
RMORE	,		,	, , , , ,				
RMORE	,							
TB	,	MISO	,	3	,	1	,	, ,
TBMODIF	,	1	,	1	,	0.000414938		
TBMODIF	,	1	,	2	,	1		
TBMODIF	,	2	,	1	,	0.024		
TBMODIF	,	2	,	2	,	1.58		
TBMODIF	,	3	,	1	,	0.054		
TBMODIF	,	3	,	2	,	2.14		
TBMODIF	,	4	,	1	,	0.09		
TBMODIF	,	4	,	2	,	2.56		
TBMODIF	,	5	,	1	,	0.12		
TBMODIF	,	5	,	2	,	2.75		
TBMODIF	,	6	,	1	,	0.15		
TBMODIF	,	6	,	2	,	2.88		
TBMODIF	,	7	,	1	,	0.198		
TBMODIF	,	7	,	2	,	2.93		
TBMODIF	,	8	,	1	,	0.21		
TBMODIF	,	8	,	2	,	2.944		
!0	,	9	,	1	,	0		
!0	,	9	,	2	,	0		
TYPE	,	3						
Mat	,	3						
Real	,	3						

ESYS , 0

EN , 18 , 33409 , 33410 , 33434 , 33433 ,  
 38281 , 38282 , 38306 , 38305 ,

!COPIANDO OS ELEMENTOS DE CONCRETO

EGEN , 23 , 1 , 18 , 18 , 1

EGEN , 28 , 24 , 18 , 40 , 1

EGEN , 4 , 4872 , 18 , 661 , 1

EGEN , 2 , 4872 , 1950 , 2593 , 1

!CRIANDO OS ELEMENTOS DO PERFIL

ET , 4 , SOLID45 ! definicao dos elementos solidos p/aco

EX , 4 , 20500.00 ! Unidade em kN/cm2 - aco

NUXY , 4 , 0.3 ! Coef. de Poisson - aco

DENS , 4 , 0 ! Densidade em KN/cm3 - aco

TYPE , 4

Mat , 4

Real , 4 ,

ESYS , 0

R , 4 , 0 , 0 , 0 , 0 ,  
 0 ,

TB , MISO , 4 , 1 , ,

TBMODIF , 1 , 1 , 0.000853659

TBMODIF , 1 , 2 , 17.5

TBMODIF , 2 , 1 , 0.037439024

TBMODIF , 2 , 2 , 25

TBMODIF , 3 , 1 , 0.769146341

TBMODIF , 3 , 2 , 40

TBMODIF , 4 , 1 , 1

TBMODIF , 4 , 2 , 40

EN , 3238 , 5 , 4 , 28 , 29 ,  
 701 , 700 , 724 , 725 ,

!COPIANDO OS ELEMENTOS DO FLANGE INFERIOR

```

EGEN , 17 , 1 , 3238 , 3238 , 1

EGEN , 28 , 24 , 3238 , 3254 , 1

!EGEN , 1 , 696 , 3238 , 3416 , 1

!COPIANDO OS ELEMENTOS DA ALMA

EGEN , 5 , 696 , 3246 , 3705 , 17 ,

! Gerando os elementos do flange superior

EGEN , 2 , 3480 , 3238 , 3713 , 1

! Contato*****
*****

! Gerando o Elemento de Contato

! Contato superfície

! GERANDO OS ELEMENTOS DE CONTATO

! Modelo -01

MP , MU, 7 , 0

MAT , 7

R , 8

REAL , 8

ET , 8 , TARGE170

R , 8 ,

RMORE,

RMORE,,0

RMORE,0

TYPE , 8

! Incremento dos nos na altura do elemento 0

! Incremento em relação ao concreto 0

! Incremento concreto + altura do elemento 0

!ET , , TARGE170

!TYPE , 7

!Mat , 7

!R , 7 ,

```

```

!Real , 7
!MP , MU, 7 , 0
!MAT , 7
!KEYOPT , 5 , 1 , 0
!KEYOPT , 5 , 2 , 0
!KEYOPT , 5 , 3 , 0
!KEYOPT , 5 , 4 , 0
!KEYOPT , 5 , 5 , 0
! Região do corpo do 1 conect
4 1 2 3
EN , 4302 , 33412 , 33436 , 33437 , 33413
EGEN , 17 , 1 , 4302 , 4302 , 1
EGEN , 28 , 24 , 4302 , 4318 , 1
! Gerando o par do elemento de contato(conta173)
ESYS , 0
ET , 7 , CONTA173
TYPE , 7
!Mat , 7
!R , 7 , 0 , 0 , 1 , 0 ,
0 , 0
!Real , 7
!MP , MU, 7 , 0
!MAT , 7
KEYOPT , 7 , 1 , 0
KEYOPT , 7 , 2 , 0
KEYOPT , 7 , 4 , 0
KEYOPT , 7 , 5 , 0
KEYOPT , 7 , 6 , 0
KEYOPT , 7 , 7 , 1
KEYOPT , 7 , 8 , 0
KEYOPT , 7 , 9 , 0

```

```

KEYOPT      ,      7      ,      10      ,      0
KEYOPT      ,      7      ,      11      ,      0
KEYOPT      ,      7      ,      12      ,      0
! Sequencia dos Nós                2                1                4                3
! Incremento para os Nós da laje                0
EN      ,      4778      ,      4180      ,      4181      ,      4205      ,      4204
EGEN      ,      17      ,      1      ,      4778      ,      4778      ,      1
EGEN      ,      28      ,      24      ,      4778      ,      4795      ,      1

```

! \*\*\*\*\*

! Acoplamento do conector

! Fazendo os acoplamentos

! Incremento dos Nós na altura 4872

! Incremento dos Nós do perfil em relação a laje 29232

! Acoplando a base do conector com a laje

```

NSEL      ,      NONE
NSEL      ,      ALL
NSEL      ,      S      ,      ,      ,      4401      ,      33633      ,
      29232      ,      1      ,
CP      ,      1      ,      UX      ,      ALL
CP      ,      2      ,      UY      ,      ALL
NSEL      ,      NONE
NSEL      ,      ALL
NSEL      ,      S      ,      ,      ,      9273      ,      38505      ,
      29232      ,      1      ,
CP      ,      3      ,      UX      ,      ALL
CP      ,      4      ,      UY      ,      ALL
NSEL      ,      NONE
NSEL      ,      ALL
NSEL      ,      S      ,      ,      ,      14145      ,      43377      ,
      29232      ,      1      ,
CP      ,      5      ,      UX      ,      ALL
CP      ,      6      ,      UY      ,      ALL
NSEL      ,      NONE      ,
NSEL      ,      ALL

```

NSEL	,	S	,	,	,	19017	,	48249	,
29232	,	1							
CP	,	7	,	UX	,	ALL			
CP	,	8	,	UY	,	ALL			
NSEL	,	NONE							
NSEL	,	ALL							
NSEL	,	S	,	,	,	18993	,	48225	,
29232	,	1							
CP	,	9	,	UX	,	ALL			
CP	,	10	,	UY	,	ALL			
NSEL	,	NONE							
NSEL	,	ALL							
NSEL	,	S	,	,	,	14097	,	43329	,
29232	,	1							
CP	,	11	,	UX	,	ALL			
CP	,	12	,	UY	,	ALL			
NSEL	,	NONE							
NSEL	,	ALL							
NSEL	,	S	,	,	,	9201	,	38433	,
29232	,	1							
CP	,	13	,	UX	,	ALL			
CP	,	14	,	UY	,	ALL			
NSEL	,	NONE							
NSEL	,	ALL							
NSEL	,	S	,	,	,	4305	,	33537	,
29232	,	1							
CP	,	15	,	UX	,	ALL			
CP	,	16	,	UY	,	ALL			
NSEL	,	NONE							
NSEL	,	ALL							
! 0	,	S	,	,	,	23889	,	53121	,
29232	,	1							
! 0	,	17	,	UX	,	ALL			

! 0 , 18 , UY , ALL

! 0 , 19 , UZ , ALL

NSEL , NONE

NSEL , all

CPSGEN, 2 , 7 , 1 , 16 , 1

NSEL , NONE

NSEL , all

CPSGEN, 2 , 216 , 1 , 32 , 1

! Gerando Restrições ao longo da Face da laje

! Total de camadas - 5

! Incremento do NO na altura da laje 4872

NSEL , none

! Camada- 1

NSEL , S , , 34081 , 34104 ,

1 , 1

! Camada- 2

NSEL , A , , 38953 , 38976 ,

1 , 1

! Camada- 3

NSEL , A , , 43825 , 43848 ,

1 , 1

! Camada- 4

NSEL , A , , 48697 , 48720 ,

1 , 1

! Camada- 5

NSEL , A , , 53569 , 53592 ,

1 , 1

! Camada- 6

NSEL , A , , 58441 , 58464 ,

1 , 1

! Camada- 7

! Canada inexistente , A , , 63313 ,

63336 , 1 , 1

! Camada- 8

! Canada inexistente , A , , 68185 ,

68208 , 1 , 1

! Camada- 9

! Canada inexistente	,	A	,	,	,	73057	,
73080	,	1	,	1			
! Camada-	10						
! Canada inexistente	,	A	,	,	,	77929	,
77952	,	1	,	1			
! Camada-	11						
! Canada inexistente	,	A	,	,	,	82801	,
82824	,	1	,	1			
! Camada-	12						
! Canada inexistente	,	A	,	,	,	87673	,
87696	,	1	,	1			
! Camada-	13						
! Canada inexistente	,	A	,	,	,	92545	,
92568	,	1	,	1			
D	,	ALL	,	,	,		,
	,	UY					

! Restrições do PARA DESLOCAMENTO VERTICAL DO PERFIL P/ ESTUDO PUSH-OUT

NSEL	,	none					
NSEL	,	S	,	,	11	,	683
24	,	1					
NSEL	,	A	,	,	14	,	687
24	,	1					
NSEL	,	A	,	,	2100	,	2773
24	,	1					
NSEL	,	A	,	,	2101	,	2774
24	,	1					
NSEL	,	A	,	,	3491	,	4163
24	,	1					
NSEL	,	A	,	,	3494	,	4167
24	,	1					
D	,	ALL	,	,	,	,	,
	,	UX					

! Gerando carregamento na região do flange

! Total de elementos da laje sobre o perfil						-	17
! Area de aplicação do carregamento						-	110
0	0	0					

! Elemento inicial da alma -1 -1

ESEL	,	none					
ESEL	,	S	,	,	3238	,	3254
1	,	1					
ESEL	,	A	,	,	3714	,	3798
28	,	1					
ESEL	,	A	,	,	3826	,	3842
1	,	1					

SFE , ALL , 2 , PRES , , 4.0909 ,  
, , ,