

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

ESCOLA DE ENGENHARIA

Programa de Pós-Graduação em Construção Civil

Ana Carolina Saraiva Cardoso

**Avaliação das Propriedades Mecânicas das Placas Cimentícias e do
Comportamento da Ligação entre as Placas Cimentícias e o Reticulado de
Aço do Sistema *Light Steel Framing***

Belo Horizonte

2019

Ana Carolina Saraiva Cardoso

**Avaliação das Propriedades Mecânicas das Placas Cimentícias e do
Comportamento da Ligação entre as Placas Cimentícias e o Reticulado de
Aço do Sistema *Light Steel Framing***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de “Mestre em Construção Civil”.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Carlos Rodrigues

Co-orientadora: Profa. Dra. Maria Teresa Paulino Aguilar

Belo Horizonte

2019

- C268a Cardoso, Ana Carolina Saraiva.
Avaliação das propriedades mecânicas das placas cimentícias e do comportamento da ligação entre as placas cimentícias e o reticulado de aço do sistema *light steel framing* [recurso eletrônico] / Ana Carolina Saraiva Cardoso. – 2019.
1 recurso online (xxix, 237 f. : il., color.) : pdf.
- Orientador: Francisco Carlos Rodrigues.
Coorientadora: Maria Teresa Paulino Aguiar.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.
- Apêndices: f. 151-237.
- Bibliografia: f. 146-150.
Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.
1. Construção civil - Teses. 2. Materiais de construção - Teses.
3. Cisalhamento - Teses. 4. Flexão (Engenharia civil) - Teses. I.
Rodrigues, Francisco Carlos. II. Aguiar, Maria Teresa Paulino. III.
Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.
- CDU: 691(043)



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CONSTRUÇÃO CIVIL Nº: 190, da aluna **ANA CAROLINA SARAIVA CARDOSO**.

Às 15h30min do dia vinte e oito de agosto de 2019, reuniu-se, na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora de Dissertação de Mestrado, aprovada *ad referendum* pelo Coordenador do Colegiado do Curso de Mestrado em Construção Civil - EE.UFMG, **Prof. Dr. Eduardo Chahud**, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado **"AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS PLACAS CIMENTÍCIAS E DO COMPORTAMENTO DA LIGAÇÃO ENTRE AS PLACAS CIMENTÍCIAS E O RETICULADO DE AÇO DO SISTEMA LIGHT STEEL FRAMING"**, requisito final para a obtenção do Grau de MESTRE EM CONSTRUÇÃO CIVIL na área de: TECNOLOGIA NA CONSTRUÇÃO CIVIL. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, **Prof. Dr. Francisco Carlos Rodrigues**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação do seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

PROF. DR. FRANCISCO CARLOS RODRIGUES (ORIENTADOR) – UFMG APROVADA

PROFA. DRA. MARIA TERESA PAULINO AGUILAR (COORIENTADORA) – UFMG APROVADA

PROFA. DRA. ARLENE MARIA CUNHA SARMAÑO – UFOP APROVADA

PROF. DR. RODRIGO BARRETO CALDAS – UFMG APROVADA

Pelas indicações acima, a candidata foi considerada APROVADA, porém algumas correções foram sugeridas, conforme pareceres anexos. A candidata terá o prazo máximo de 60 (sessenta) dias para efetuá-las e entregar a versão final da dissertação na Secretaria do Curso de Mestrado em Construção Civil. O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, vinte e oito de agosto de 2019.

Francisco Carlos Rodrigues

Deborah Maria Cunha Sarmano

Caldas

Obs.: Este documento não terá validade sem a assinatura e carimbo da Coordenação do Curso de Mestrado em Construção Civil.

Eduardo Chahud

Prof. Dr. Eduardo Chahud

Coordenador do Colegiado do Curso de Mestrado em Construção Civil - EE/UFMG

Prof. Dr. Eduardo Chahud

Coordenador do Mestrado
em Construção Civil da E.E.UFMG

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela companhia constante, por todas as bênçãos e por sempre guiar meus passos.

Aos meus pais, Garibalde e Eloisa, por sempre acreditarem em mim e apoiarem minhas escolhas. Aos meus irmãos, Gustavo e André, por serem fontes de aprendizado e por me mostrarem que a vida vai muito além da busca acadêmica.

À minha grande família Saraiva, pelo incentivo e por todos os momentos de alegria compartilhados. Agradeço especialmente à Camila Saraiva e à Isadora Saraiva companheiras constantes ao longo desta jornada.

Ao Gabriel Ribeiro pelo companheirismo, amor, incentivo e conselhos.

Agradeço aos professores, Dr. Francisco Carlos Rodrigues, Dra. Maria Teresa Paulino Aguilar e Dr. Rodrigo Barreto Caldas, pelos aprendizados, pela dedicação e pelo suporte que me deram no desenvolver deste trabalho.

Aos funcionários do LAEES, Afonso, Geraldo, Heron e Rodrigo pelos ensinamentos e apoio durante a realização dos ensaios.

À Janaína Rezende, por tornar a jornada mais leve e divertida, mesmo nos momentos onde o trabalho parecia interminável.

Ao Gustavo, Luiz, Manuela e Marina fundamentais durante o andamento dos ensaios.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia de Materiais e Construção e do Departamento de Engenharia de Estruturas da Universidade Federal de Minas Gerais que contribuíram com a minha formação.

À Etex Brasil pela doação das placas cimentícias e à Flasan pela doação dos perfis de aço e por disponibilizar os técnicos, Rodrigo e Kleber, para montagem dos espécimes ensaiados.

Agradeço aos amigos Gabriela Virgili e Felipe Silveira pelos muitos cafés com engenharia e aos amigos da paróquia São Mateus, em especial Caroline Caetano e Fabrício Lopes por me ajudarem a manter a fé e a louvar a Deus.

RESUMO

CARDOSO, A. C. S. Avaliação das Propriedades Mecânicas das Placas Cimentícias e do Comportamento da Ligação entre as Placas Cimentícias e o Reticulado de Aço do Sistema Light Steel Framing. Belo Horizonte, 2019 - Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais.

Esta pesquisa apresenta os resultados do estudo teórico-experimental do comportamento da ligação de placas cimentícias (PLC) com os perfis de aço formados a frio do sistema construtivo Light Steel Framing (LSF). A PLC é usada como placa de revestimento neste sistema estrutural. Entretanto, por possuir considerável resistência mecânica, esta será avaliada por meio de ensaios para verificar sua contribuição ao sistema estrutural. Sobretudo no subsistema da parede de cisalhamento, as placas de revestimento ligadas aos perfis podem ajudar a resistir as forças laterais e aos deslocamentos excessivos. Para a caracterização das placas foram realizados ensaios resistência à tração na flexão e ensaios de resistência a compressão. Ensaios de deslizamento foram realizados para avaliar a ligação entre a placa cimentícia e o reticulado metálico. Nos ensaios de deslizamento foram utilizados três modelos de espécimes construídos para avaliar o comportamento dos parafusos de borda de placa e no interior da placa em uma parede de cisalhamento. As placas cimentícias autoclavadas reforçadas com sílica e fibras de celulose de 10mm e 12mm de espessura foram classificadas como classe B, categoria 2, a partir dos resultados obtidos nos ensaios de resistência a tração na flexão. No que tange aos ensaios de compressão realizados com corpos de prova prismáticos com placas cimentícias unidas por grampos, concluiu-se que os resultados não foram conclusivos devido a aplicação de carga de compressão ter sido acompanhada por uma elevada excentricidade. A partir das 48 séries de ensaios de deslizamento realizados concluiu-se que, os parâmetros que influenciaram uniformemente os modelos foram a espessura da PLC e a espessura da chapa de aço. Desta forma, quanto menor a espessura da chapa de aço e da placa, menor é o valor da resistência máxima e maior tende a ser a rigidez da ligação. A variável direção do corte da placa não foi conclusiva uma vez que não houve convergência nas variações de resultados encontrados. Além disso, de acordo com o processo de fabricação das placas cimentícias que é uniforme em ambas as direções, não justifica classificar ou

diferenciar as placas em direção longitudinal e em direção transversal. Em relação ao espaçamento dos parafusos utilizados, 150mm e 300mm, a resistência máxima suportada por cada ligação parafusada foi aproximadamente igual para os dois espaçamentos.

Palavras-Chave: Light steel framing; placa cimentícia; painel de cisalhamento, Ensaios de deslizamento, Ensaios de flexão.

ABSTRACT

This research presents the results of a theoretical-experimental study of the connection behavior of cement board with the cold formed steel profiles of the Light Steel Framing (LSF) construction system. The cement board is used as a sheathing board in this structural system. However, because it has considerable mechanical resistance, it will be evaluated through tests to verify its contribution in the structural system. Especially in the shear wall subsystem, the sheathing plates attached to the profiles can help resist lateral forces and excessive displacements. Three-point flexural tests and compression tests were performed to characterize the plates. And sliding assays to evaluate the bond between plate and metallic crosslinking. For the latter, three specimen models were constructed to evaluate the behavior of plate edge and plate center screws in a shear wall. The autoclaved cement board reinforced with cellulose fibres of 10mm and 12mm thickness were classified as class B, category 2 with strength at flexion greater than 7MPa and less than 10MPa. With respect to the compression tests, it was concluded that they are better suited for dosage cement board components. From the 48 series of push-tests carried out, it was concluded that the parameters that influenced the models uniformly were the PLC thickness and the steel profile thickness. Thus, the lower the thickness of the steel and the board, the lower the Pmax value and the higher rigidity tends to be. The variables board cutting direction and axial spacing between the screws were not conclusive. Moreover, according to the uniform fabrication process of the cement board, it does not justify classifying or differentiating the boards in longitudinal and transverse. The

maximum force supported by each screw connection was approximately equal for the two axial spacings used: 150mm and 300mm.

Keywords: Light steel framing; Cement board; Shear wall, Push-test, Flexure test

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Objetivos.....	1
1.3. Justificativa	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Aspectos Gerais do Sistema <i>Light Steel Framing</i>	3
2.1.1. Parede de Cisalhamento	6
2.1.2. Perfis Formados a Frio (PFF).....	7
2.2. Placa Cimentícia (PLC)	9
2.2.1. Processo de fabricação da PLC	12
2.3. Propriedades Mecânicas	12
2.3.1. Módulo de Rigidez Elástica e Módulo de Rigidez ao Cisalhamento.....	13
2.3.2. Ductilidade	14
2.4. Ligações e Modos de Ruptura.....	14
2.5. Trabalhos experimentais sobre o comportamento dos painéis de cisalhamento e seus componentes	18
2.5.1. Pesquisa Realizada por Moura e Matos (2015).....	18
2.5.2. Pesquisa Realizada por Azevedo(2018).....	20
2.5.3. Pesquisa Realizada por Baldassino et al(2014).....	22
2.5.3.1. Ensaio das paredes como shear wall	22

2.5.3.2.	Testes de cisalhamento da ligação painel-revestimento	27
2.5.4.	Pesquisa Realizada por Accorti <i>et al</i> (2016)	28
2.5.4.1.	Ensaio das paredes como shear wall	28
2.5.4.2.	Testes de cisalhamento da ligação do reticulado com placa de revestimento	33
2.5.5.	Pesquisa Realizada por Shahi <i>et al</i> (2014)	35
2.5.5.1.	Resultados ensaios monotômicos	36
2.5.5.2.	Avaliação de Parâmetros de Parede.....	37
2.5.6.	Pesquisa Realizada por Mohebbi, <i>et al</i> (2016).....	38
3.	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	44
3.1.	Materiais e Métodos.....	44
3.2.	Procedimentos e Ensaio	45
3.2.1.	Tratamento de dados	52
3.3.	Resultados obtidos	55
3.3.1.	Ensaio de Flexão – Posição Horizontal	56
3.3.2.	Ensaio de Flexão – Posição Vertical	59
3.4.	Análise dos Resultados Obtidos	62
3.4.1.	Influência da direção dos corpos de prova – Longitudinal x Transversal.....	63
3.4.2.	Influência da espessura dos corpos de prova	63
3.4.3.	Influência da posição dos corpos de prova.....	64
3.4.4.	Comparação entre os Resultados da Presente Pesquisa com os Resultados das revisões bibliográficas	64

4.	ENSAIOS DE COMPRESSÃO	65
4.1.	Materiais e Métodos.....	65
4.2.	Procedimentos e Ensaios	67
4.3.	Resultados Obtidos	70
4.4.	Análise dos Resultados Obtidos	71
4.4.1.	Análise da influência da direção do corte das placas cimentícias nas séries de espécimes (direção longitudinal e direção transversal)	71
4.4.2.	Análise da influência da espessura das PLC	72
4.4.3.	Análise comparativa entre os resultados dos ensaios de flexão e os ensaios de compressão	73
5.	ENSAIOS DE DESLIZAMENTO	74
5.1.	Materiais e Métodos.....	74
5.2.	Procedimentos e Ensaios	79
5.2.1.	Tratamento de dados	84
5.3.	Apresentação dos Resultados Obtidos	86
5.3.1.	Modelo M1	87
5.3.2.	Modelo M2	101
5.3.3.	Modelo M3	114
5.4.	Análise dos Resultados Obtidos	127
5.4.1.	Análise da influência da direção do corte das placas cimentícias nas séries de espécimes (longitudinal e transversal).....	128
5.4.2.	Análise da influência da espessura das PLC	131

5.4.3.	Análise da influência do espaçamento entre os parafusos	133
5.4.4.	Análise da influência da espessura dos perfis de aço.....	136
5.4.5.	Análise da influência da posição dos parafusos nos modelos.....	140
5.4.6.	Comparação entre os resultados da Presente Pesquisa com os resultados das revisões bibliográficas	141
6.	CONCLUSÕES	143
6.1.	Ensaio Resistência à Tração na Flexão	143
6.2.	Ensaio Resistência de Compressão	144
6.3.	Ensaio de Deslizamento	145
6.4.	Recomendações e Sugestões para Estudos Posteriores	146
	APENDICE A	152

LISTA FIGURAS

Figura 2.1 - Desenho esquemático de uma residência em Light Steel Framing. (Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO, 2012).....	5
Figura 2.2 - Componentes de um painel de entrepiso. (Fonte: ABNT, 2014).....	6
Figura 2.3 - Sistema de distribuição de força lateral (Fonte: VITOR, 2012).....	7
Figura 2.4 - Revestimento de fachada em placa cimentícia aparente. (Fonte: https://lacarlotamaderas.com/como-colocar-placas-cemento-superboard/ acessado em 23/01/2019).....	10
Figura 2.5 - Fluxograma do processo de produção das placas cimentícias. (Fonte: Speck, 2014).....	12
Figura 2.6 - Gráfico de materiais frágeis e dúcteis (fonte: Callister Jr, 2000)	14
Figura 2.7 - Detalhe do comprimento da ponta-broca do parafuso auto-atarraxante (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016)	16
Figura 2.8 - Modos de ruptura: <i>Pull-out</i> e <i>Pull-over</i> . (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016).....	18
Figura 2.9 - Placas cimentícias produzidas com resíduos sólidos domiciliares (RSD), suas dimensões e massas (Fonte: Moura e Matos, 2015).....	19
Figura 2.10 - Ensaio de flexão de placas cimentícias antes e após o rompimento (Fonte: Moura e Matos, 2015)	19
Figura 2.11 – Nomenclatura demonstrativa dos traços das argamassas utilizadas na produção das placas cimentícias. (Fonte: Azevedo,2018).....	21
Figura 2.12 - Resultados compilados da resistência mecânica no estado endurecido, em MPa. (Fonte: Azevedo,2018)	22
Figura 2.13 – Tipos de painéis ensaiados por Baldassino <i>et al</i> (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014)	23

Figura 2.14 - Configuração dos ensaios realizados por Baldassino <i>et al</i> (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014).....	25
Figura 2.15 - Detalhe da posição dos medidores de deslocamento (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014).....	25
Figura 2.16 - Gráficos força lateral <i>versus</i> deslocamento resultantes dos ensaios monotônicos (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014 - Adaptado).....	26
Figura 2.17- Gráficos força lateral <i>versus</i> deslocamento resultantes dos ensaios monotônicos (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014 - Adaptado)	26
Figura 2.18 - Resultados dos ensaios de painéis G9 com e sem fechamento GH (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014 - Adaptado)	27
Figura 2.19– (a) Vistas frontal e lateral do projeto dos modelos ensaiados e a (b) configuração real do ensaio (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014).....	28
Figura 2.20–(a)Esquema ilustrativo do sistema de ensaio e (b) configuração do ensaio no laboratório (Fonte: Accorti <i>et al.</i> , 2016 - Adaptado).....	29
Figura 2.21 - Detalhes da ligação da fita de aço (medidas em mm)(Fonte: Accorti <i>et al.</i> , 2016)	30
Figura 2.22 - Exemplos de modos de colapso para painéis sem revestimento (Fonte: Accorti <i>et al.</i> , 2016).....	31
Figura 2.23 - Exemplos de modos de colapso para painéis com revestimento (Fonte: Accorti <i>et al.</i> , 2016).....	31
Figura 2.24 - Gráfico força x deslocamento dos ensaios com o painel G6 sem revestimento (Fonte: Accorti <i>et al.</i> , 2016 - Adaptado).....	32
Figura 2.25 - Gráfico força x deslocamento dos ensaios com o painel G5 com revestimento (Fonte: Accorti <i>et al.</i> , 2016 - Adaptado).....	33

Figura 2.26 - (a) Vistas frontal e lateral do projeto dos modelos ensaiados e a (b) configuração real do ensaio(cotas em mm) (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)	34
Figura 2.27 - Teste de cisalhamento da ligação: a) Gráfico com resultados típicos b) modo de colapso(Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)	34
Figura 2.28 - Gráfico com as igualdades para a obtenção da rigidez da ligação (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)	35
Figura 2.29 – Gráfico do comportamento dos painéis A e B no ensaio monotômico (Fonte: Shahi <i>et al</i> , 2014 - Adaptado).....	36
Figura 2.30 - Gráfico de força <i>versus</i> deslocamento com EEEP segundo a norma AISI (Fonte: Shahi et al, 2014 - Adaptado)	38
Figura 2.31 – Configuração e nomenclatura dos painéis revestidos com as placas cimentícias, gesso acartonado e com chapas de aço. (Fonte: Mohebbi <i>et al.</i> , 2016).....	39
Figura 2.32 - Configuração dos painéis ensaiados e seção dos perfis utilizados. (Fonte: Mohebbi et al., 2016).....	40
Figura 2.33 - Configuração do ensaio com a posição de toda a instrumentação utilizada. (Fonte: Mohebbi et al., 2016)	41
Figura 2.34 - Painéis após ensaio. (a) Vista frontal de todos os painéis; (b) Detalhe do revestimento de aço (S); (c) Detalhe dos modos de ruptura das placas de gesso(G) e cimentícias (C). (Fonte: Mohebbi <i>et al.</i> , 2016)	42
Figura 3.1 - Ensaio de Flexão: a) Esquema de ensaio horizontal e b) Vertical. (Fonte: NBR 15498:2016 (Adaptado))	45
Figura 3.2 - Montagem do ensaio com os dois sistemas de aquisição de dados: (1) Máquina universal de ensaios: EMIC DL-30.000; (2) Transdutor de deslocamento (DT 02 DT-100A); (3) Sistema de aquisição de dados Tesc; (4) Sistema de aquisição de dados externa com Catman e Spider 8.	46
Figura 3.3 - Montagem do ensaio de resistência à tração na flexão.....	47

Figura 3.4 - Placa cimentícia com deformação plástica adquirida após o ensaio.	47
Figura 3.5 - Vista inferior da placa cimentícia rompida após o ensaio de flexão três pontos na posição horizontal.....	48
Figura 3.6 - Vista lateral da placa cimentícia rompida após o ensaio de flexão três pontos na posição horizontal.....	48
Figura 3.7 - Detalhe da seção da placa cimentícia rompida na seção central do vão.....	49
Figura 3.8 - Montagem do ensaio de resistência à tração na flexão na posição vertical.....	50
Figura 3.9 - Detalhe dos apoios utilizados para evitar a torção das seções de extremidade dos corpos de prova.....	50
Figura 3.10 - Vista lateral da placa cimentícia rompida após o ensaio de resistência a tração na flexão na posição vertical.	51
Figura 3.11 - Vista superior da placa cimentícia rompida após o ensaio de flexão três pontos na posição vertical. Detalhe do esmagamento ocorrido na seção central.....	51
Figura 3.12 - Gráfico força por deslocamento dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal realizados com PLC de espessura nominal de 10mm.	56
Figura 3.13 - Gráfico força por deslocamento dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal realizados com PLC de espessura nominal de 12mm.	57
Figura 3.14 - Gráfico dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical realizados com PLC de espessura nominal de 10mm.....	59
Figura 3.15 - Gráfico dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical realizados com PLC de espessura nominal de 12mm.....	60
Figura 4.1 - Dimensão dos CP's submetidos ao ensaio de compressão: (a) Conjunto de placas com espessura de 10mm e (b) Conjunto de placas com espessura de 12mm.....	66
Figura 4.2 Corpo de prova montado e em posição de ensaio.	67

Figura 4.3 - Montagem do ensaio de compressão com aquisição de dados.	68
Figura 4.4 Ruptura dos corpos de prova, após ensaio. (a) e (b) Ruptura na parte inferior do CP e (c) e (d) Ruptura no terço superior do CP.	69
Figura 5.1- Parafusos autobrocantes: (a) Ligação aço-aço e (b) Ligação Placa cimentícia-aço.	75
Figura 5.2 - Modelo de ensaio M1: a) vista frontal e b) vista lateral.	76
Figura 5.3 - Modelo M1 pronto para ensaio.	76
Figura 5.4 - Modelo de ensaio M2: a) vista frontal e b) vista lateral.	77
Figura 5.5 - Modelo M2 pronto para ensaio.	77
Figura 5.6 - Modelo de ensaio M3: a) vista frontal e b) vista lateral.	78
Figura 5.7 - Modelo M3 instalado no suporte de ensaio.	78
Figura 5.8 - Configuração geral dos ensaios: (a) Modelo M1 e M2 e (b) Modelo M3.	80
Figura 5.9 - Ensaio do Modelo M1: (a) Antes do ensaio (b) Depois do ensaio; (c) Detalhe da ruptura por rasgamento da placa na ligação 1B e <i>Pull-over</i> para na ligação em 2B; (d) Detalhe da ruptura por <i>Pull-over</i> na ligação 3B, 4B e 5B.	81
Figura 5.10 - Ensaio do Modelo M2: (a) Antes do ensaio (b) Depois do ensaio; (c) Detalhe da ruptura por esmagamento da PLC na ligação 1B; (d) Detalhe da ruptura por esmagamento da PLC na ligação 3B e 4B.	82
Figura 5.11- Ensaio do Modelo M3: (a) Antes do ensaio (b) Depois do ensaio; (c) Detalhe da ruptura por rasgamento da PLC na ligação 1B e 2B; (d) Detalhe da ruptura por rasgamento da PLC na ligação 3B e 4B.	83
Figura 5.12 - Detalhe da rotação dos parafusos durante e após ensaio.	84
Figura 5.13 - Gráfico com a aproximação bilinear de EEEP. (Fonte: AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, 2012 - Traduzido)	85

Figura 5.14 - Exemplo de gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 T150–E2” e curva teórica (EEEP).....	86
Figura 5.15 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 150”.....	88
Figura 5.16 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 300”.....	90
Figura 5.17- Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.....	91
Figura 5.18- Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.....	93
Figura 5.19 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 150”.....	94
Figura 5.20 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 300”.....	96
Figura 5.21 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 150”.....	97
Figura 5.22 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 150”.....	99
Figura 5.23 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 150”.....	103
Figura 5.24 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 300”.....	104
Figura 5.25 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 150”.....	106

Figura 5.26 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 300” .	107
Figura 5.27 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 150” .	109
Figura 5.28 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 300” .	110
Figura 5.29 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 150” .	112
Figura 5.30 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 300” .	113
Figura 5.31 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 150” .	116
Figura 5.32 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 300” .	117
Figura 5.33 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 150” .	119
Figura 5.34 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 300” .	120
Figura 5.35 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,895 C10 (T e L) 150” .	122
Figura 5.36 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C10 (T e L) 300” .	123
Figura 5.37 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 150” .	125

Figura 5.38 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 300”	126
---	-----

LISTA TABELAS

Tabela 2.1 - Seção transversal dos perfis e sua utilização. (Fonte: ABNT, 2014).....	9
Tabela 2.2 - Classificação das placas cimentícias segundo a sua aplicação. (Fonte: ABNT, 2016).....	11
Tabela 2.3 - Requisitos de resistência à tração na flexão (Fonte: ABNT, 2016)	11
Tabela 2.4 - Bitolas e diâmetros dos parafusos auto-atarraxantes (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016).....	15
Tabela 2.5 - Comprimentos dos parafusos auto-atarraxantes (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016).....	16
Tabela 2.6 - Cabeça, bitola, ponta e nomenclatura dos parafusos auto-atarraxantes (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016)	17
Tabela 2.7- Resultado dos ensaios de flexão (Fonte: Moura e Matos, 2015 - Adaptado).....	20
Tabela 2.8 - Tipos de Revestimentos dos painéis ensaiados por Baldassino <i>et al</i> (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014 - Adaptado)	24
Tabela 2.9 - Configuração dos painéis revestidos (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014 - Adaptado)	24
Tabela 2.10 - Resultados dos ensaios de cisalhamento do conjunto placa, parafuso e PFF (Fonte: Baldassino <i>et al.</i> , 2014 - Adaptado).....	28
Tabela 2.11 - Painéis ensaiados por Accorti <i>et al</i> (Fonte: Accorti <i>et al</i> , 2016- Adaptado).....	30
Tabela 2.12 - Resultados dos modelos sem revestimento (Fonte:Accorti <i>et al</i> , 2016- Adaptado)	31
Tabela 2.13 - Resultados dos modelos com revestimento (Fonte: Accorti <i>et al</i> , 2016 - Adaptado)	32

Tabela 2.14 - Resultados dos ensaios de cisalhamento das ligações (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)	35
Tabela 2.15 - Caracterização dos modelos de painéis ensaiados (Fonte: Shahi <i>et al</i> , 2014 - Adaptado)	36
Tabela 2.16 - Resultado dos ensaios monotômicos (Fonte: Shahi <i>et al</i> , 2014 - Adaptado)	37
Tabela 2.17 - Nomenclatura dos modelos de painéis. (Fonte: Mohebbi <i>et al.</i> , 2016).....	39
Tabela 2.18 - Resultado dos ensaios. (Fonte: MOHEBBI, et al., 2016).....	43
Tabela 2.19- Resultado dos ensaios após a elaboração da curva EEEP. (Fonte: Mohebbi et al, 2016).....	43
Tabela 3.1 - Quadro resumo: Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.....	44
Tabela 3.2 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 10mm na direção longitudinal.	58
Tabela 3.3 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 10mm na direção transversal.	58
Tabela 3.4 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 12mm na direção longitudinal.	58
Tabela 3.5 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 12mm na direção transversal.	58
Tabela 3.6 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 10mm na direção longitudinal.	61
Tabela 3.7 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 10mm na direção transversal.	61
Tabela 3.8 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 12mm na direção longitudinal.	61

Tabela 3.9- Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 12mm na direção transversal.	61
Tabela 3.10 – Quadro resumo: Resultados dos ensaios de resistência a tração na Flexão (valores médios).	62
Tabela 3.11 - Tabela resumo dos valores dos CP's extraídos na longitudinal divididos pelos valores na transversal (valores médios).....	63
Tabela 4.1 - Quadro resumo: Ensaio de Compressão.....	66
Tabela 4.2 - Resultados obtidos nos ensaios de compressão das placas de 10mm e 12mm de espessura.....	71
Tabela 4.3 - Análise da influência da direção do corte das placas no ensaio de compressão. .	72
Tabela 4.4 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no ensaio de compressão.	72
Tabela 5.1 - Configuração dos ensaios das ligação para cada modelo.....	79
Tabela 5.2 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 150”.	88
Tabela 5.3 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 300”.	89
Tabela 5.4 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.	91
Tabela 5.5 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.	92
Tabela 5.6 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 150”.	94
Tabela 5.7 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 300”.	95

Tabela 5.8 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 150”.	97
Tabela 5.9 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 300”.	98
Tabela 5.10 - Compilação de valores médios encontrados nas séries do modelo M1.	101
Tabela 5.11 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 150”.	102
Tabela 5.12 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 300”.	104
Tabela 5.13 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 150”.	105
Tabela 5.14 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 300”.	107
Tabela 5.15 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 150”.	108
Tabela 5.16 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 300”.	110
Tabela 5.17 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 150”.	111
Tabela 5.18 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 300”.	113
Tabela 5.19 - Compilação de valores médios encontrados nas séries do modelo M2.	114
Tabela 5.20 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 150”.	115

Tabela 5.21 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 300”	117
Tabela 5.22 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 150”	118
Tabela 5.23 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 300”	120
Tabela 5.24 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C10 (T e L) 150”	121
Tabela 5.25 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C10 (T e L) 300”	123
Tabela 5.26 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 150”	124
Tabela 5.27 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 300”	126
Tabela 5.28 - Compilação de valores médios encontrados nas séries do modelo M3.	127
Tabela 5.29 - Análise da influência da direção do corte das placas das séries no modelo M1.	128
Tabela 5.30 - Análise da influência da direção do corte das placas das séries no modelo M2.	129
Tabela 5.31 - Análise da influência da direção do corte das placas das séries no modelo M3.	130
Tabela 5.32 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no modelo M1.....	131
Tabela 5.33 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no modelo M2.....	132
Tabela 5.34 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no modelo M3.....	133

Tabela 5.35 - Análise da influência do espaçamento axial entre os parafusos no modelo M1.	134
Tabela 5.36 - Análise da influência do espaçamento axial entre os parafusos no modelo M2.	135
Tabela 5.37 - Análise da influência do espaçamento axial entre os parafusos no modelo M3.	136
Tabela 5.38 - Análise da influência da espessura dos perfis de aço do modelo M1.	137
Tabela 5.39 - Análise da influência da espessura dos perfis de aço do modelo M2.	138
Tabela 5.40 - Análise da influência da espessura dos perfis de aço do modelo M3.	139
Tabela 5.41 - Análise da influência da posição dos parafusos nos modelos (menores valores médios).	140
Tabela 5.42 - Análise da influência da posição dos parafusos nos modelos (maiores valores médios).	140
Tabela 5.43 - Referências bibliográficas segundo o país de origem e as espessuras de placas utilizadas.....	142
Tabela 5.44 - Características do aço e configurações dos painéis.....	142

LISTA DE ABREVIATURAS

ABDI - Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM –American Society for Testing and Material

CBCA – Centro Brasileiro da Construção em Aço

CP – Corpo de Prova

LSF – Light Steel Frame

OSB –Oriented Strand Board

PFF –Perfil Formado a Frio

PLC - Placa Cimentícia

RSD – Resíduo Sólido Doméstico

LISTA DE SÍMBOLOS

MAIÚSCULO

E é o módulo de elasticidade ou módulo de elasticidade longitudinal

G é o módulo de elasticidade transversal

I é o momento de inércia

L_a é o comprimento da amostra

L_s é a distância entre eixos dos suportes

P é a força aplicada

$P_{máx}$ é a força máxima obtida no ensaio

P/Δ é a rigidez elástica

V é a velocidade de aplicação da força

MINÚSCULO

d_f é a flexão da placa

h_c é a altura de cisalhamento do corpo de prova

l é a largura do corpo de prova

t_p é a espessura da placa

z é a taxa unitária de deformação de fibra

k_e é a rigidez da ligação

LETRAS GREGAS

σ é a resistência à tração

$\sigma_{m\acute{a}x}$ é a resistência máxima à tração

ε é a deformação

τ é a resistência ao cisalhamento

$\tau_{40\%}$ é a resistência ao cisalhamento associada a 40% da força máxima

$\tau_{m\acute{a}x}$ é a resistência máxima ao cisalhamento

γ é a deformação de cisalhamento

$\gamma_{40\%}$ é a deformação de cisalhamento associada a 40% da força máxima

μ é a ductilidade

δ_u é a deformação última

δ_y é a deformação do início do escoamento

ν é o coeficiente de Poisson

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Existe uma tendência mundial de industrialização da construção civil. Segundo o Manual da Construção Industrializada da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI(2015), esta industrialização “tem como características inerentes maior planejamento e estudos de viabilidade técnico-econômica e de logística mais precisa, além de melhores condições de trabalho e melhor desempenho ambiental.”

No Brasil foi possível observar este processo principalmente a partir da década de 1980. E ainda hoje segue em um movimento de evolução com a racionalização e a industrialização dos canteiros de obra e dos sistemas construtivos adaptados às realidades brasileiras.

A racionalização da construção baseia-se no uso consciente de seus insumos, de forma a reduzir desperdícios, seja de material, equipamentos ou horas trabalhadas. Já o sistema industrializado tem como premissa a fabricação por uma indústria e montagem no canteiro. Desta forma, o sistema *Light Steel Framing* destaca-se como um sistema construtivo industrializado constituído por módulos estruturados por perfis leves de aço formados a frio (PFF), placas de vedação também leves e parafusos como elemento de ligação.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da ligação das placas cimentícias com o reticulado metálico do sistema estrutural *Light Steel Frame (LSF)*. Para isto, será realizado um estudo teórico e experimental das propriedades mecânicas de uma das placas cimentícias produzidas na América Latina e comercializadas no Brasil. Bem como será realizado o estudo teórico e experimental do painel formado por placa de revestimento e reticulado metálico de perfil formado a frio ligados por ligação parafusada.

Os objetivos específicos são:

- Submeter as placas cimentícias a ensaios de tração na flexão e ensaios de compressão visando determinar o módulo de elasticidade longitudinal e as resistências máximas de ruptura, respectivamente;
- Averiguar o comportamento do conjunto (placa cimentícia, parafuso e reticulado metálico) experimentalmente e obter o módulo de elasticidade longitudinal (doravante denominado simplesmente de módulo de elasticidade) das ligações de borda e de centro dos painéis.

1.3. Justificativa

A industrialização da construção civil é uma realidade consolidada para o setor construtivo brasileiro. Neste contexto, o *Light Steel Framing* (LSF) ganhou adeptos, gerou novas linhas de estudos, pesquisa e aparece como uma boa opção para este mercado cada vez mais exigente e qualificado.

O LSF é um sistema construtivo que alia a construção rápida, a seco e um canteiro de obra reduzido. O uso de placas como revestimento agiliza ainda mais a produtividade da obra. Os revestimentos externos utilizados são as placas de *Oriented Strand Board* (OSB) e Placa Cimentícia (PLC).

Um importante subsistema do LSF é o *shear wall*, ou parede de cisalhamento, que ajuda na estabilização lateral da estrutura. Atualmente, o que é utilizado na estabilização dos painéis (como contraventamento) são perfis ou fitas de aço. Neste sentido, ao se obter o módulo de elasticidade das ligações de borda e de centro do conjunto placa cimentícia, parafuso e reticulado metálico, pode-se futuramente empregar tal rigidez nos cálculos estruturais.

Já existem estudos visando conhecer o comportamento das ligações entre o reticulado metálico de aço do LSF com a placa de OSB. Entretanto, não existem estudos nacionais relativos ao comportamento dos painéis de PLC e perfis de aço formados a frio no LSF. Ao estudar como este conjunto se comporta, damos um grande passo no sentido de avaliar a viabilidade de considerarmos as placas cimentícias como parte do corpo rígido da estrutura, ou seja, atuando como elemento de contraventamento da estrutura metálica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos Gerais do Sistema *Light Steel Framing*

O *Light Steel Framing* pode ser entendido como um sistema construtivo formado por diversos subsistemas que quando trabalham em conjunto, e de forma adequada, fornecem ao usuário condições de uso com segurança estrutural, estanqueidade e conforto térmico e acústico. Além disso, as premissas deste sistema consistem em possibilitar uma construção industrializada, racional e leve. Portanto, cada subsistema deve obedecer os requisitos de segurança estrutural, estanqueidade e conforto térmico e acústico para que a edificação funcione corretamente e seja eficiente e competitiva frente a outros sistemas construtivos existentes.

Dentre os principais subsistemas tem-se: vedação interna, vedação externa, lajes, fundação, cobertura, instalações hidráulicas e elétricas, paredes de cisalhamento (*shear wall*), isolamentos, impermeabilizações e dentre outros.

Segundo RODRIGUES e CALDAS (2016), os principais componentes do sistema LSF podem ser visualizados na Figura 2.1 e suas definições são:

“a) Bloqueador: Perfil utilizado horizontalmente no travamento lateral de montantes e de vigas.

b) Fita: Fita de aço galvanizado empregada na diagonal como elemento de contraventamento de painéis de parede, de piso e de cobertura. Em combinação com os bloqueadores, é também utilizada na horizontal para diminuir os comprimentos efetivos de flambagem global por torção e de flambagem global em relação ao eixo y do montante, e para o travamento lateral das vigas de piso ou cobertura.

c) Guia ou guia enrijecida: Perfil utilizado como base e topo de painéis de parede, como encabeçamento de painéis de entrepisos e de telhados e aberturas em painéis de parede.

d) Montante: Perfil utilizado verticalmente na composição de painéis de parede.

e) Montante auxiliar (*king*): Montante fixado à ombreira ou utilizado nos limites laterais das aberturas de painéis.

- f) Montante de composição (*cripple*): Perfil utilizado verticalmente na composição de painéis de parede, sobre e abaixo das aberturas.
- g) Ombreira (*jack*): Perfil utilizado verticalmente para apoio da verga ou de painel de parede sobre abertura.
- h) Perfil enrijecedor de alma: Perfil utilizado verticalmente no apoio de vigas.
- i) Ripa: Perfil onde apoiam as telhas e é suportada pelos caibros.
- j) Sanefa: Perfil utilizado para encabeçamento de painéis de pisos.
- k) Terça: Perfil que suporta os caibros e transmite o carregamento para as tesouras. As terças são peças horizontais colocadas na direção perpendicular às tesouras e recebem o nome de cumeeiras quando são colocadas na parte mais alta do telhado (cume), e de contrafrechal na parte mais baixa do telhado.
- l) Viga: Perfil ou composição de perfis utilizados horizontalmente para transmitir forças.
- m) Verga: perfil utilizado horizontalmente no limite superior das aberturas (portas, janelas e outras).”

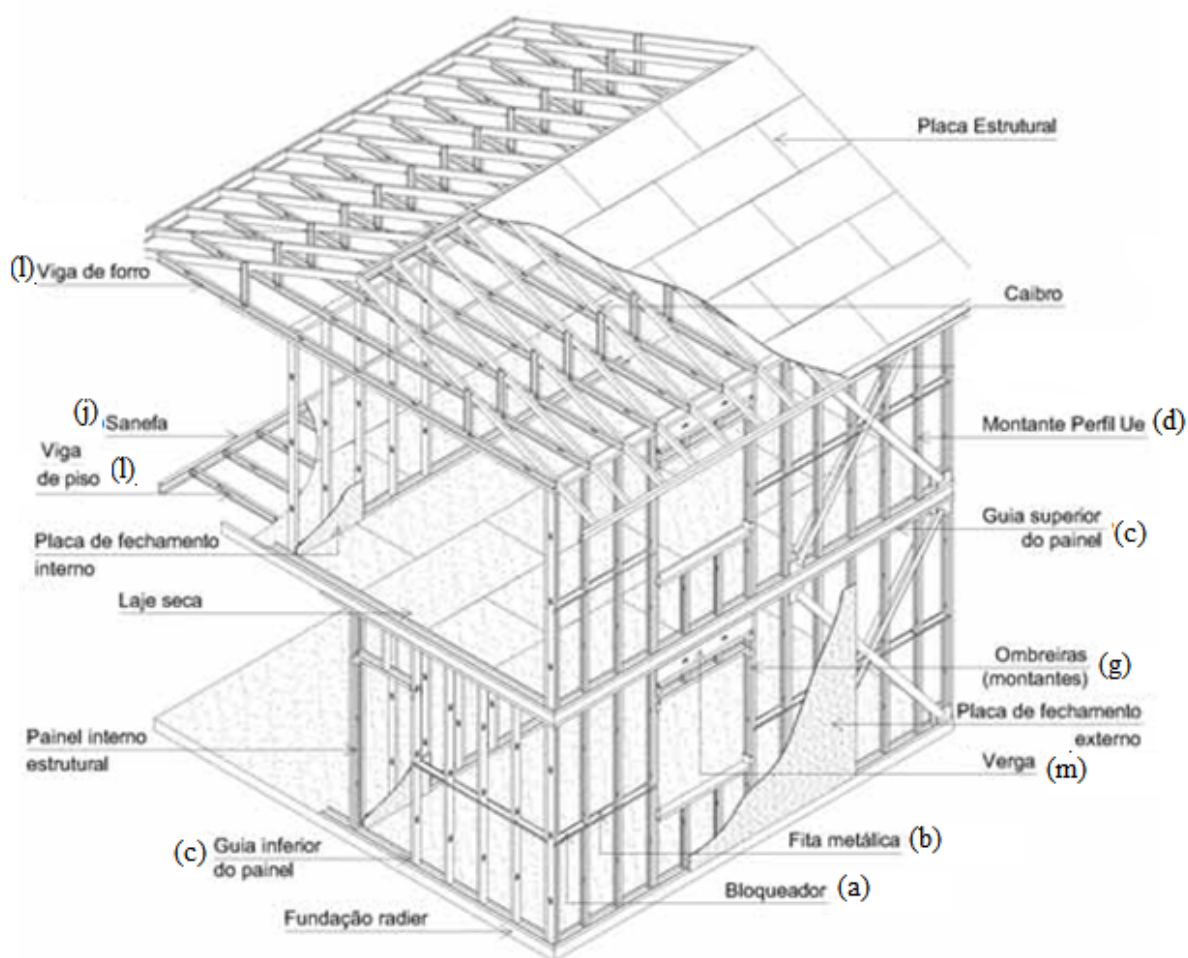


Figura 2.1 - Desenho esquemático de uma residência em Light Steel Framing. (Fonte: SANTIAGO, FREITAS e CRASTO, 2012).

Ainda segundo RODRIGUES e CALDAS (2016), para o cálculo estrutural de uma edificação em LSF o ideal é considerar o maior número de elementos estruturais para suportar as forças de tal forma que cada um seja responsável por resistir a uma pequena parcela da força total aplicada. Isto possibilita a utilização de perfis e painéis mais leves.

Além disso, a estrutura é montada alinhada (*“in line framing”*). Conforme pode ser observado na Figura 2.2, os montantes do pavimento inferior e superior devem estar alinhados, bem como as vigas de piso e as de cobertura devem obedecer ao mesmo critério. Como as vigas também estão alinhadas as cargas das lajes são transmitidas diretamente para o montante imediatamente abaixo. Este alinhamento possibilita que as cargas superiores sejam transmitidas até a fundação sem a necessidade de elementos mais espessos.

Segundo a NBR 15253 (ABNT, 2014), entrepiso é o “conjunto de componentes de construção, com ou sem espaços vazios, compreendido entre a parte inferior do forro de um pavimento e a parte superior do piso do pavimento imediatamente superior”.

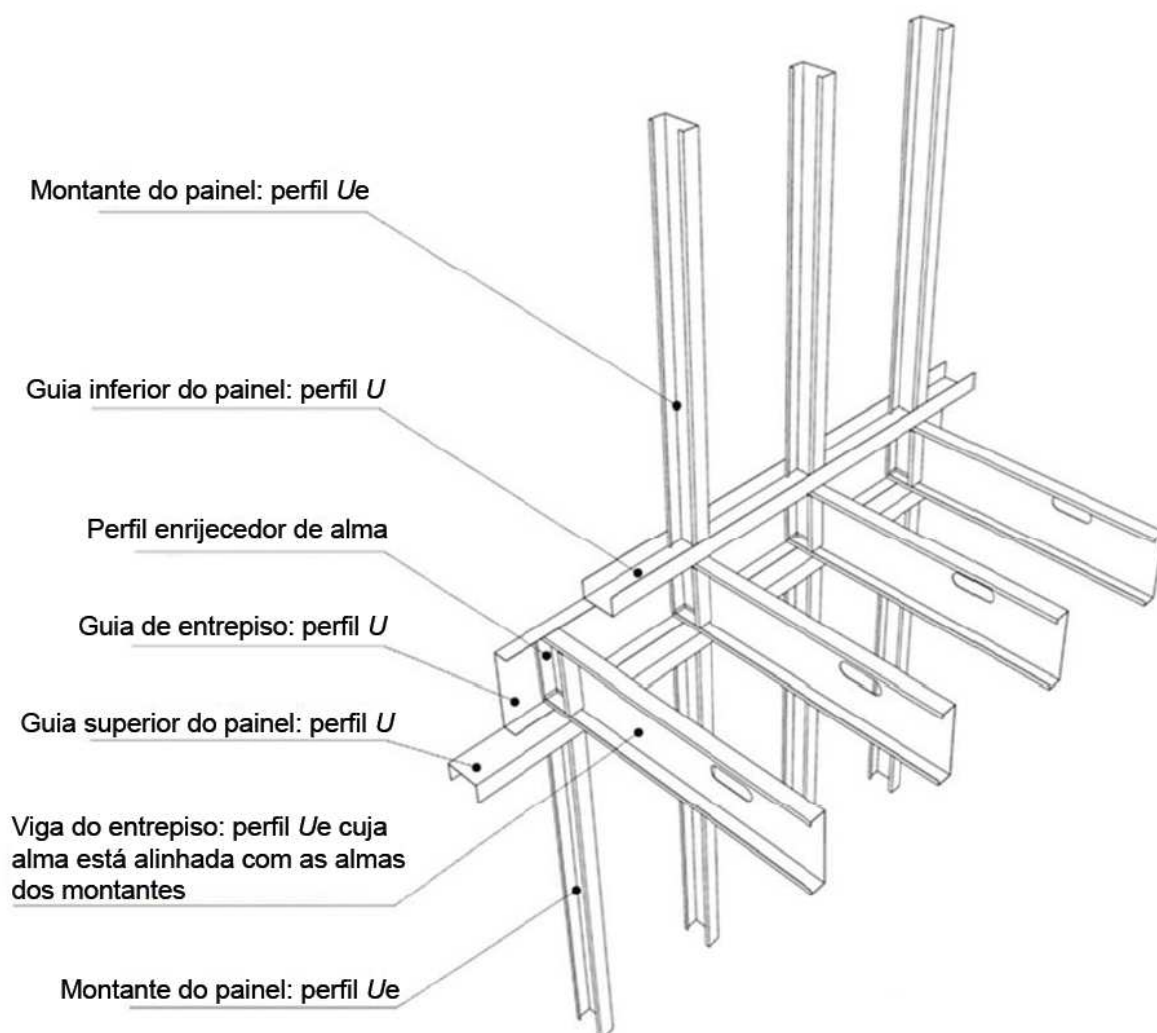


Figura 2.2 - Componentes de um painel de entrepiso. (Fonte: ABNT, 2014)

2.1.1. Parede de Cisalhamento

A parede de cisalhamento, também chamada de *shear wall*, é a parede perpendicular à parede de barlavento. Conforme ilustra a Figura 2.3, as paredes *shear wall* são submetidas a forças de cisalhamento ao longo da sua largura. Tal solicitação origina-se nas forças laterais que incidem no painel de barlavento e são transmitidas através dos elementos estruturais. As

paredes de cisalhamento são responsáveis por resistir às forças laterais e aos deslocamentos excessivos.

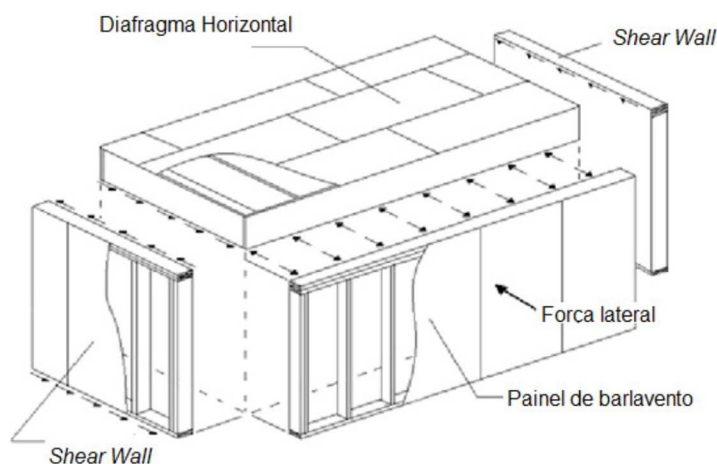


Figura 2.3 - Sistema de distribuição de força lateral (Fonte: VITOR, 2012)

2.1.2. Perfis Formados a Frio (PFF)

O perfil estrutural de aço formado a frio é o principal componente estrutural de uma edificação construída em LSF. Segundo a NBR 6355 (ABNT, 2012), os perfis são obtidos por dobramento em mesas de conformação com aço em temperatura ambiente, a partir de bobinas de aço fabricadas por laminação a frio ou a quente com revestimento ou não.

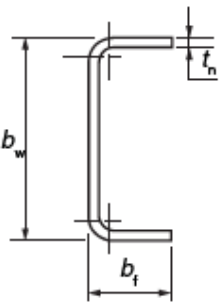
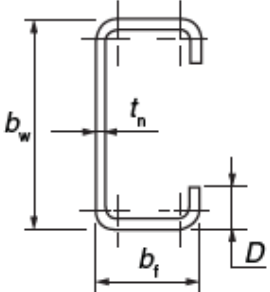
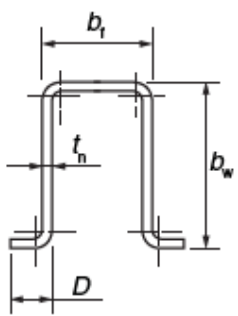
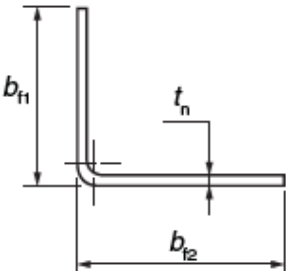
A NBR 15253 (ABNT, 2014), que trata exclusivamente de perfis com revestimento metálico, estabelece (para uso no sistema LSF) uma espessura nominal mínima de 0,80 mm e máxima de 3,00 mm. Onde a espessura nominal é o resultado da soma da espessura da chapa do perfil e da espessura do revestimento aplicado. CARDOSO E BARROS(2016), destacam que “para o dimensionamento da estrutura deve ser considerada a espessura sem o revestimento metálico.” A resistência ao escoamento mínima especificada nessa norma é de 230 MPa.

A NBR 14762 (ABNT, 2014) estabelece os requisitos básicos que devem ser obedecidos no dimensionamento de perfis estruturais de aço formados a frio, fabricados a partir de chapas e tiras de aço, conectados por soldas ou parafusos e destinados a estruturas de edifícios. Sobre a

utilização de aços com qualificação estrutural, essa norma recomenda que eles devem apresentar a relação na tração entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento (f_u/f_y) maior ou igual a 1,08. Ainda segundo a NBR 14762 (ABNT, 2014), a relação de $f_u/f_y \geq 1,08$ garante a ductilidade necessária do aço estrutural. A ductilidade do material representa a sua capacidade de deformação antes de sofrer ruptura.

Na Tabela 2.1 pode-se observar as seções transversais comerciais dos perfis de aço utilizados no sistema LSF e as suas aplicações.

Tabela 2.1 - Seção transversal dos perfis e sua utilização. (Fonte: ABNT, 2014)

Seção transversal	Designação ABNT NBR 6355	Utilização
	<i>U</i> simples <i>U</i> $b_w \times b_f \times t_n$	Guia Ripa Bloqueador Sanefa Terça
	<i>U</i> enrijecido <i>Ue</i> $b_w \times b_f \times D \times t_n$	Bloqueador Enrijecedor de alma Montante Verga Viga Terça Guia enrijecida (sistema com encaixes estampados)
	Cartola <i>Cr</i> $b_w \times b_f \times D \times t_n$	Ripa
	Cantoneira de abas desiguais <i>L</i> $b_{f1} \times b_{f2} \times t_n$	Cantoneira

2.2. Placa Cimentícia (PLC)

A placa cimentícia (PLC) é um material de aplicação ampla e diversificada, bem aceito no mercado e é facilmente encontrada em diversos tipos de obras. Segundo Speck (2014) as

chapas lisas fabricadas em fibrocimento, surgiram no mercado nacional por volta dos anos 1970. Sua comercialização se intensificou a partir de 1990, com o desenvolvimento do mercado de construção a seco e industrializada e com a retirada do amianto de sua composição em meados dessa mesma década. A partir de então, as placas cimentícias passaram a ser utilizadas em larga escala e tem como principal aplicação o fechamento de painéis de LSF e em fachadas de um modo geral.

Segundo Medeiros (2005), no Brasil, a maioria das placas cimentícias é produzida com uma mistura de cimento Portland, agregados naturais de celulose e reforçadas com fios sintéticos e em menor escala encontram-se placas reforçadas com telas de fibra de vidro. Ainda segundo este autor, as principais características da PLC são a elevada durabilidade, a resistência a impactos e à umidade, é incombustível e compatível com quase todos os tipos de acabamento. Hofmann (2015) destaca ainda a elevada resistência a impacto, facilidade de corte, possibilidade de compor paredes curvas depois de saturadas em água e baixo peso próprio (até 18 kg/m²) facilitando o transporte e manuseio. A PLC pode ainda ser utilizada como revestimento final simulando o acabamento em concreto aparente conforme Figura 2.4.



Figura 2.4 - Revestimento de fachada em placa cimentícia aparente. (Fonte: <https://lacarlotamaderas.com/como-colocar-placas-cemento-superboard/> acessado em 23/01/2019)

No Brasil as placas cimentícias são normatizadas pela ABNT por meio da norma NBR 15498 (ABNT, 2016). De acordo com esta norma as placas cimentícias são definidas como “produto resultante da mistura de cimento Portland, agregados, adições ou aditivos com reforço de fibras, fios, filamentos ou telas, com exceção de fibras de amianto”. Esta norma classifica as placas em classes A e B de acordo com o local adequado para a sua aplicação, conforme mostra a Tabela 2.2

Tabela 2.2 - Classificação das placas cimentícias segundo a sua aplicação. (Fonte: ABNT, 2016)

Classe	A	B
Aplicação	Aplicações externas sujeitas à ação direta de sol, chuva, calor e umidade. Podem ser fornecidas com ou sem revestimento.	Aplicações internas e aplicações externas não sujeitas à ação direta de sol, chuva, calor e umidade.

A norma NBR 15498 (ABNT, 2016) define ainda cinco categorias de placas para cada classe. “As especificações das resistências das placas da classe A devem corresponder à condição saturada, e as amostras devem ser ensaiadas saturadas. As especificações das resistências das placas da classe B devem corresponder à condição de equilíbrio, e as amostras devem ser ensaiadas na condição de equilíbrio” (ABNT, 2016). Entende-se por condição de equilíbrio a condição de placas com equilíbrio de umidade com o meio ambiente. A Tabela 2.3 apresenta os requisitos de resistência à tração na flexão.

Tabela 2.3 - Requisitos de resistência à tração na flexão (Fonte: ABNT, 2016)

Categoria	Placas da classe A	Placas da classe B
1	-	4MPa
2	4MPa	7MPa
3	7MPa	10 MPa
4	13 MPa	16 MPa
5	18 MPa	22 MPa

2.2.1. Processo de fabricação da PLC

Segundo Speck (2014), os concretos e derivados cimentícios ganham forma a partir de uma dosagem, onde os mesmos adquirem determinada fluidez que os possibilita ser conformados. Na Figura 2.5 pode-se ver o procedimento geral pelo qual as PLC são produzidas.

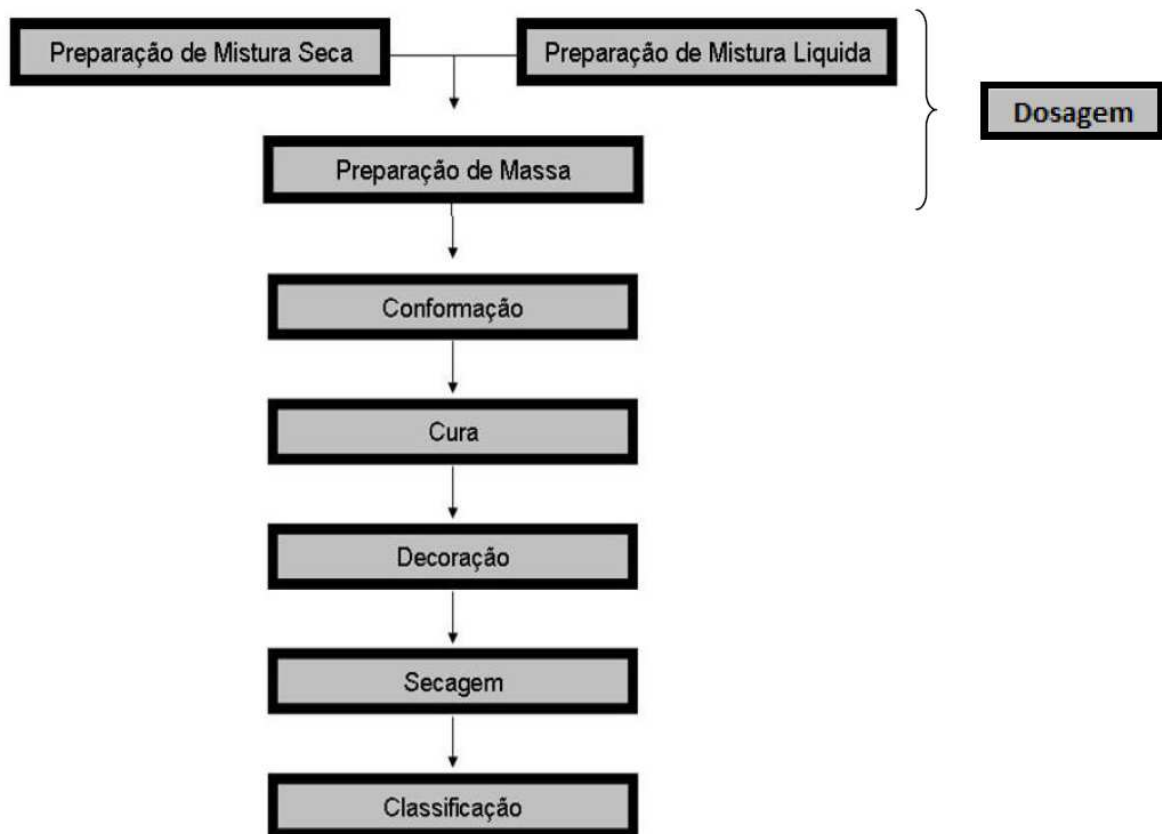


Figura 2.5 - Fluxograma do processo de produção das placas cimentícias. (Fonte: Speck, 2014)

2.3. Propriedades Mecânicas

O conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais e das ligações é necessário para garantir níveis aceitáveis de deformações ou falhas quando solicitados. Segundo Callister Jr. (2000), “o comportamento mecânico de um material reflete a relação entre a sua resposta ou deformação a uma carga ou força que esteja sendo aplicada.” Este conceito também pode ser aplicado para o entendimento das ligações de materiais diferentes trabalhando em conjunto.

Para a determinação de tais propriedades mecânicas os materiais e modelos de ligação são submetidos a ensaios.

2.3.1. Módulo de Rigidez Elástica e Módulo de Rigidez ao Cisalhamento

Para grande parte dos materiais submetidos a baixos níveis de tensão de tração, a tensão e a deformação são proporcionais (deformação elástica) e obedece a relação da Equação 2.1.

$$\sigma = E\varepsilon$$

Equação 2.1

Onde:

σ é a resistência à tração na flexão;

ε é a deformação;

E é o módulo de elasticidade.

Esta relação é conhecida como Lei de Hooke e a sua constante de proporcionalidade (E) é o módulo elasticidade (ou Módulo de Young).

O módulo de elasticidade transversal, G, pode ser entendido de forma análoga ao módulo de rigidez elástica, E. Ou seja, na fase de deformação elástica de um material submetido à tensão de cisalhamento, a tensão é proporcional à deformação segundo a Equação 2.2.

$$\tau = G\gamma$$

Equação 2.2

Onde:

τ é a resistência à tração no cisalhamento;

γ é a deformação;

G é o módulo de elasticidade transversal.

2.3.2. Ductilidade

Callister Jr.(2000) introduz que a ductilidade representa a medida do grau de deformação plástica suportado antes da falha. Surgem então os conceitos de frágil e dúctil, onde frágil é o material ou estrutura que não tem a capacidade de deformar ou deforma-se pouco antes de romper, e dúctil é aquele que sofre uma deformação considerável antes do seu colapso. A Figura 2.6 ilustra os tais comportamentos em um gráfico de tensão versus deformação.

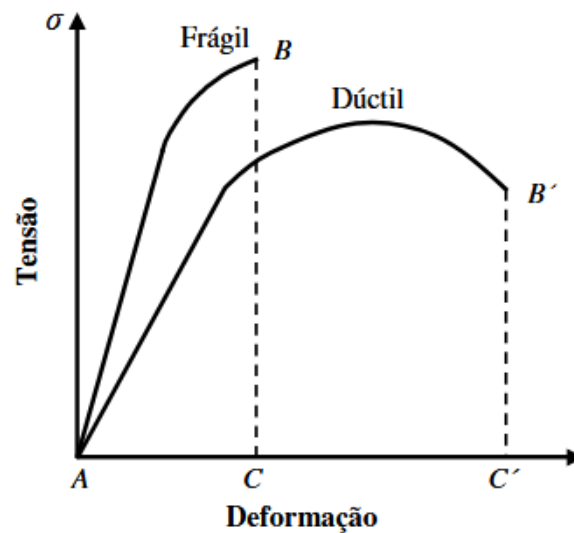


Figura 2.6 - Gráfico de materiais frágeis e dúcteis (fonte: Callister Jr, 2000)

Segundo Accort *et al*(2016), quanto maior a capacidade de deformação do modelo ensaiado, maior a dissipação da energia aplicada e maior a sua ductilidade (μ). Portanto, a ductilidade pode ser mensurada conforme a relação entre a deformação última (δ_u) e a deformação do início do escoamento (δ_y) representada pela Equação 2.3.

$$\mu = \delta_u / \delta_y$$

Equação 2.3

2.4. Ligações e Modos de Ruptura

Segundo o Manual *Steel Framing*: Engenharia (RODRIGUES E CALDAS, 2016) “nos parafusos mais utilizados em ligações do LSF, as cabeças podem ser dos tipos lentilha,

sextavada, panela ou trombeta, sendo as pontas dos tipos broca ou agulha.” De acordo com os autores a NBR 14762 (ABNT, 2010) estabelece as instruções necessárias para o dimensionamento das ligações com os parafusos auto-atarraxantes, baseando-se na norma americana AISI S100: 2007.

A Tabela 2.4 apresenta as bitolas e os diâmetros dos parafusos auto-atarraxantes e a Tabela 2.5 mostra os comprimentos dos parafusos auto-atarraxantes. O manual recomenda que “o comprimento da ponta broca deverá ser suficiente para evitar execução simultânea das operações de furar e rosquear. Para evitar bloqueio ou espanamento da rosca, a ponta broca deverá ter saído da chapa base quando estiver sendo iniciada a formação da rosca. Após concluído o rosqueamento, no mínimo três filetes deverão ultrapassar a chapa base para conferir o caráter auto-atarraxante do parafuso.” A Figura 2.7 ilustra a ligação entre um parafuso e duas chapas de aço. Nela pode-se observar o comprimento mínimo da ponta broca.

Tabela 2.4 - Bitolas e diâmetros dos parafusos auto-atarraxantes (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016)

Bitola	Diâmetro (in)	Diâmetro (mm)
#8	0,164	4,2
#10	0,190	4,8
#12	0,216	5,5
¼	0,250	6,3

Tabela 2.5 - Comprimentos dos parafusos auto-atarraxantes (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016)

Bitola (#)	Comprimento (in)	Comprimento (mm)
8	$\frac{1}{2}"$ a $1"$	12,7 a 25,4
10, 12	$\frac{1}{2}"$ a $1\frac{1}{2}"$	12,7 a 38,1

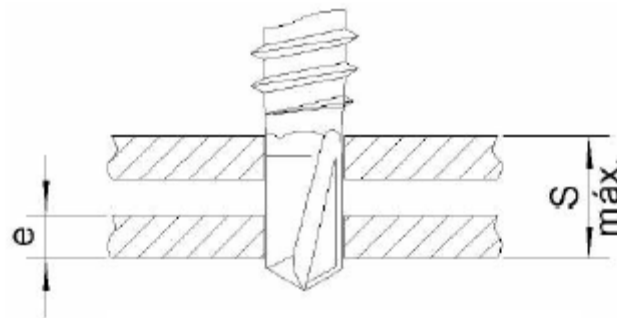


Figura 2.7 - Detalhe do comprimento da ponta-broca do parafuso auto-atarraxante (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016)

Portanto, a especificação dos parafusos pode ser feita conforme a nomenclatura que segue aprensetada na Tabela 2.6. Exemplo: 10-16 x 3/4". Lê-se: Bitola #10, 16 fios de rosca por polegada e 3/4" de comprimento.

Tabela 2.6 - Cabeça, bitola, ponta e nomenclatura dos parafusos auto-atarraxantes (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016)

Cabeça	Bitola (#)	Descrição	Ponta (#)
Plana	8	8-18 x 5/8"	2
Hex	8	8-18 x 1/2"	2
		8-18 x 5/8"	
		8-18 x 3/4"	
		8-18 x 1"	
		8-18 x 1 1/2"	
	10	10-16 x 3/4"	3
		10-16 x 3/4" com serrilhado	
		10-16 x 1"	
		10-24 x 3/4"	
		10-24 x 1"	
Oval	10	10-16 x 3/4"	3
		10-16 x 1"	
		10-16 x 1 1/4"	

Para as ligações parafusadas comumente encontradas no sistema LSF tem-se dois principais modos de rompimento, *Pull-out* e o *Pull-over*. Segundo Vitor (2012) “*pull-out* e *pull-over* são dois modos de falhas originados quando os parafusos autobrocantes são submetidos à tração. O modo de falha por *Pull-out* é caracterizado pelo o arrancamento do parafuso, enquanto no *Pull-over* ocorre o puncionamento da chapa e/ou placa.” A Figura 2.8 ilustra estes dois modos de ruptura.

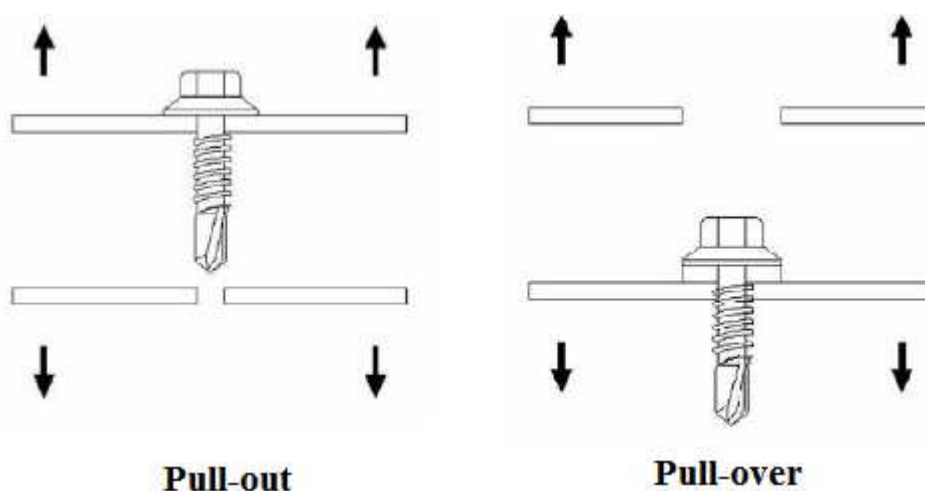


Figura 2.8 - Modos de ruptura: *Pull-out* e *Pull-over*. (Fonte: RODRIGUES E CALDAS, 2016)

2.5. Trabalhos experimentais sobre o comportamento dos painéis de cisalhamento e seus componentes

Os trabalhos apresentados nesta seção foram organizados segundo os tipos de ensaios realizados. Primeiramente são apresentadas pesquisas com a realização de ensaio de caracterização das placas cimentícias. Posteriormente são apresentados trabalhos com a realização de ensaios de painéis.

2.5.1. Pesquisa Realizada por Moura e Matos (2015)

Esta pesquisa que tem como tema “Placas Cimentícias à Base de Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD)”. Teve como objetivo a “avaliação de parâmetros físicos e mecânicos de placas cimentícias alternativas, à base de resíduos sólidos domiciliares, compostos por polímeros, papéis e vidro”.

Foram propostas três placas com dosagens diferentes. A Figura 2.9 mostra as características físicas das novas placas cimentícias propostas, por traço. A Figura 2.10 apresenta o ensaio de flexão. Ensaios realizados segundo a norma ASTM C 203 – 99 em seis placas produzidas pelos autores, sendo duas de cada traço.

Os resultados obtidos no ensaio de flexão foram comparados com os dados técnicos das placas cimentícias convencionais (sem amianto) da marca Bricka e estão compilados na Tabela 2.7. Nesta mesma tabela é possível observar que as placas cimentícias propostas obtiveram resistências a flexão inferiores a 4MPa e portanto só podem ser usadas em ambientes internos conforme Tabela 2.3 da norma NBR 15498 (ABNT, 2016).

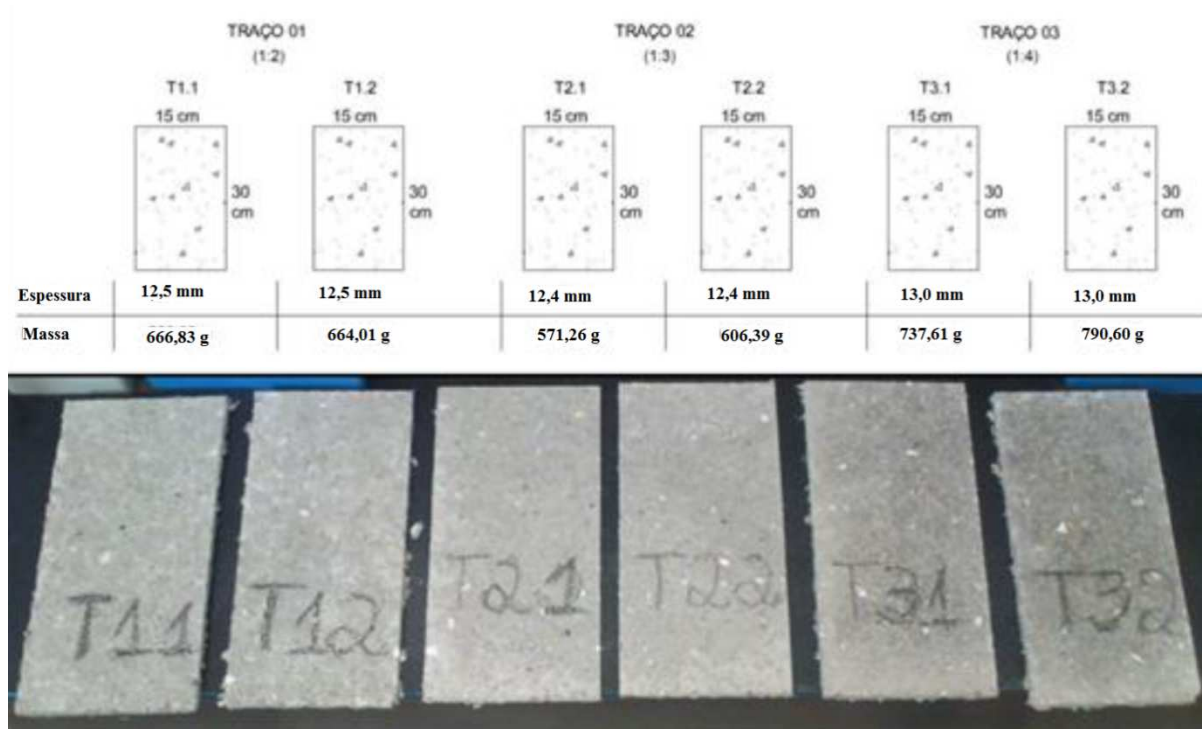


Figura 2.9 - Placas cimentícias produzidas com resíduos sólidos domiciliares (RSD), suas dimensões e massas (Fonte: Moura e Matos, 2015)



Figura 2.10 - Ensaio de flexão de placas cimentícias antes e após o rompimento (Fonte: Moura e Matos, 2015)

Tabela 2.7- Resultado dos ensaios de flexão (Fonte: Moura e Matos, 2015 - Adaptado)

Parâmetro	Resistência à tração na flexão (MPa)	
Traço (RSD:Argamassa)	Placa Cimentícia com RSD	Placa Cimentícia (BRICKA, 2013)
Traço 1 (1:2)	1,01	4,00
Traço 2 (1:3)	1,39	
Traço 3 (1:4)	1,69	

2.5.2. Pesquisa Realizada por Azevedo(2018)

Azevedo (2018) desenvolveu sua pesquisa voltada para o estudo dos resíduos da indústria de celulose visando ao desenvolvimento de uma nova placa cimentícia reforçada com a incorporação dos resíduos da produção de papel de celulose. Segundo o autor, “foi elaborado um programa experimental que visou a caracterização dos materiais utilizados, desenvolvimento de uma metodologia de beneficiamento do resíduo utilizado, desenvolvimento do traço (ensaios de argamassa simples no estado fresco e endurecido, escolha do material de reforço e aditivos incorporadores de ar), definição e execução do processo de produção das placas (PRF, PTIAF e PTIF) e os respectivos ensaios de aceitação do produto final (resistência mecânica, tolerância geométrica, absorção de água, densidade aparente, permeabilidade, resistência ao fogo, variação dimensional e durabilidade).”

No que diz respeito aos ensaios de compressão do material cimentício, o autor destaca que tais ensaios foram imprescindíveis para a definição do melhor traço a ser utilizado. A resistência à compressão foi obtida por meio dos ensaios das argamassas no estado endurecido, onde os corpos de prova foram moldados com argamassa ainda em estado fresco e ensaiados após a desforma e cura dos mesmos.

No que tange aos ensaios de tração na flexão das placas realizados nesta pesquisa, destaca-se que no “desenvolvimento de placas cimentícias, para uso de divisórias, por exemplo, a

resistência a flexão mostra-se preponderantemente mais importante que a compressão axial, visto a disposição do produto no momento de sua aplicação” (AZEVEDO, 2018).

A Figura 2.11 apresenta os cinco traços utilizados na pesquisa de Azevedo (2018), ao passo que a Figura 2.12 apresenta a compilação dos resultados de resistência média nos ensaios de compressão e resistência média nos ensaios de tração na flexão para cada traço. A nomenclatura utilizada refere-se a “REF” é o traço de referência sem aditivos, “TIF” é o traço sem aditivos porem com tipo de incorporação fino, “TIG” é o traço sem aditivos porem com tipo de incorporação grosso, “TIAF” é o traço com aditivo incorporador de ar tipo fino e “TIAG” é o traço com aditivo incorporador de ar grosso.

Nomenclatura do Traço	Cimento	Cal	Areia	Incorporador de ar*	Tipo de incorporação
REF**	1	1	6	-	-
TIF	1	1	6	-	Fino
TIG	1	1	6	-	Grosso
TIAF	0,995	1	6	0,005	Fino
TIAG	0,995	1	6	0,005	Grosso

*Em relação a massa de cimento

** Neste traço, denominado de referência, utilizou-se água normal e não há nenhum tipo de adição.

Figura 2.11 – Nomenclatura demonstrativa dos traços das argamassas utilizadas na produção das placas cimentícias. (Fonte: Azevedo,2018)

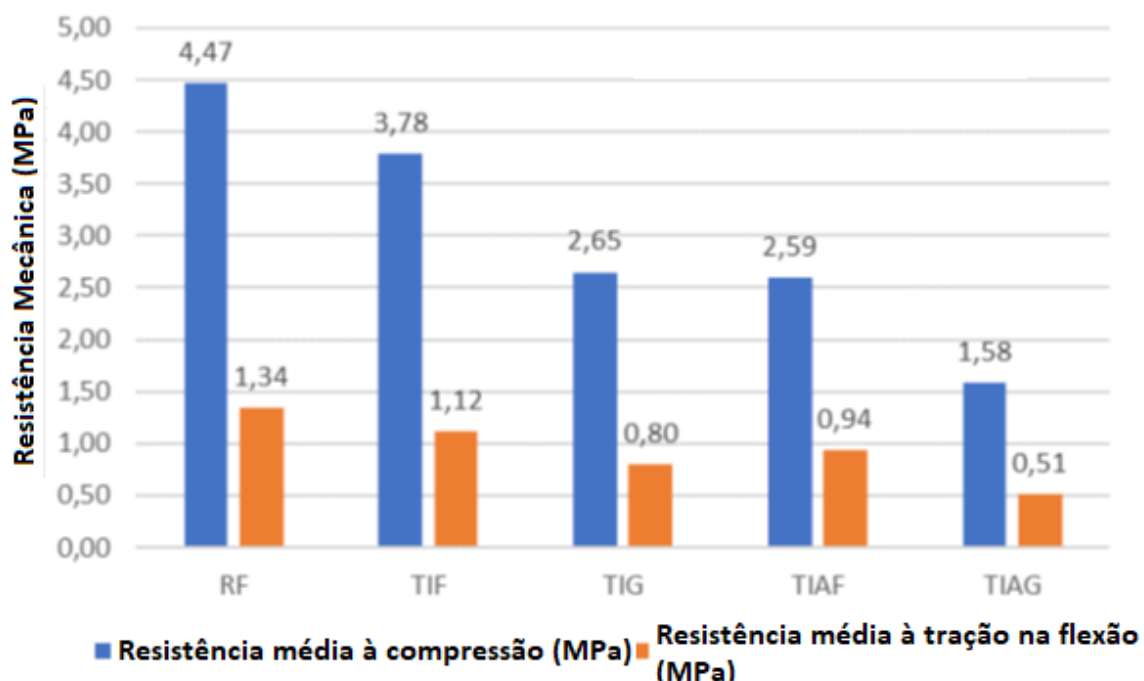


Figura 2.12 - Resultados compilados da resistência mecânica no estado endurecido, em MPa. (Fonte: Azevedo, 2018)

Destaca-se ainda que os resultados obtidos no ensaio de resistência a tração na flexão foram semelhantes aos da pesquisa de Moura e Matos (2015) com resíduos sólidos domiciliares com resistências a flexão inferiores a 4MPa e, portanto, só podem ser usadas em ambientes internos (ver Tabela 2.3).

2.5.3. Pesquisa Realizada por Baldassino et al(2014)

2.5.3.1. Ensaio das paredes como shear wall

A pesquisa em questão trata da análise dos ensaios de quatro tipos de painéis (ver Figura 2.13) de LSF com ou sem contraventamentos de fitas de aço e treliças, com seis tipos de revestimentos em placas (ver Tabela 2.8) e em oito configurações diferentes conforme Tabela 2.9. Todas as paredes têm 2400 mm de altura, 3018 mm de largura e espessura de 100 mm mais a espessura das placas quando as paredes forem revestidas. Os montantes são espaçados em 400 mm. Todo aço utilizado possui tensão de escoamento (f_y) de 280MPa e espessura de 1,20mm.

Os painéis foram submetidos a um carregamento vertical uniforme e um carregamento lateral variável a taxas controladas de força, incluindo ensaios com carregamento monotômico e cíclico. A Figura 2.14 apresenta a máquina usada para a aplicação das forças. Durante os ensaios foram registrados as forças e os deslocamentos (ver Figura 2.15). As Figura 2.16 e Figura 2.17 ilustram o comportamento dos painéis ao serem submetidos a ensaios com carregamento lateral monotômico. Cada linha representa uma configuração diferente de painel e fechamento conforme a legenda.

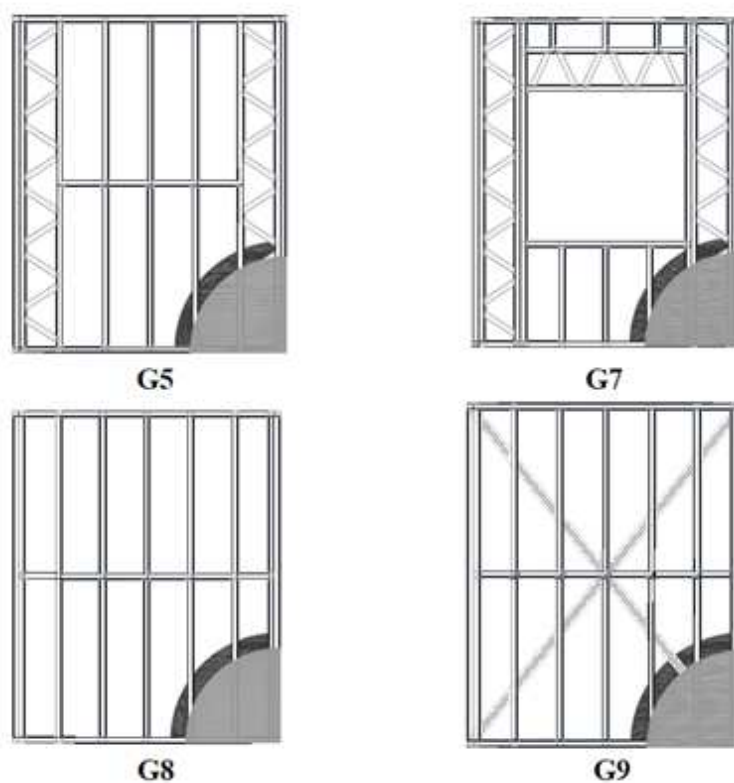


Figura 2.13 – Tipos de painéis ensaiados por Baldassino *et al* (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014)

Tabela 2.8 - Tipos de Revestimentos dos painéis ensaiados por Baldassino *et al* (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014 - Adaptado)

ID	Produto	Empresa	Material	Espessura Nominal (mm)
A	Aquaroc	Gyproc-Saint Gobain	Placa Cimentícia	12,5
B	Rigidur	Gyproc-Saint Gobain	Placa Cimentícia com Fibras de celulose	12,5
E	Bluclad	Edilit	Placa Cimentícia reforçada com Fibra	10,0
F	Duripanel	Edilit	Chapa cimento e fibra de madeira	12,5
G	Powerpanel	Farmacell	Painéis de Cimento ligados reforçados com fibra de vidro	12,5
H	Farmacell	Farmacell	Placa de Gesso acartonado	12,5

Tabela 2.9 - Configuração dos painéis revestidos (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014 - Adaptado)

Modelo	Revestimento		Tipo de Carregamento
	Lado 1	Lado 2	
G5 100 400 BB-1	B	B	Monotômico
G5 100 400 BB-2	B	B	Cíclico
G7 100 400 AB-1	A	B	Monotômico
G8 100 400 EF-1	E	F	Cíclico
G8 100 400 EF-2	E	F	Monotômico
G8 100 400 BB-1	B	B	Cíclico
G9 100 400 GH-1	G	H	Monotômico
G9 100 400 GH-2	G	H	Cíclico



Figura 2.14 - Configuração dos ensaios realizados por Baldassino *et al* (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014)



Figura 2.15 - Detalhe da posição dos medidores de deslocamento (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014)

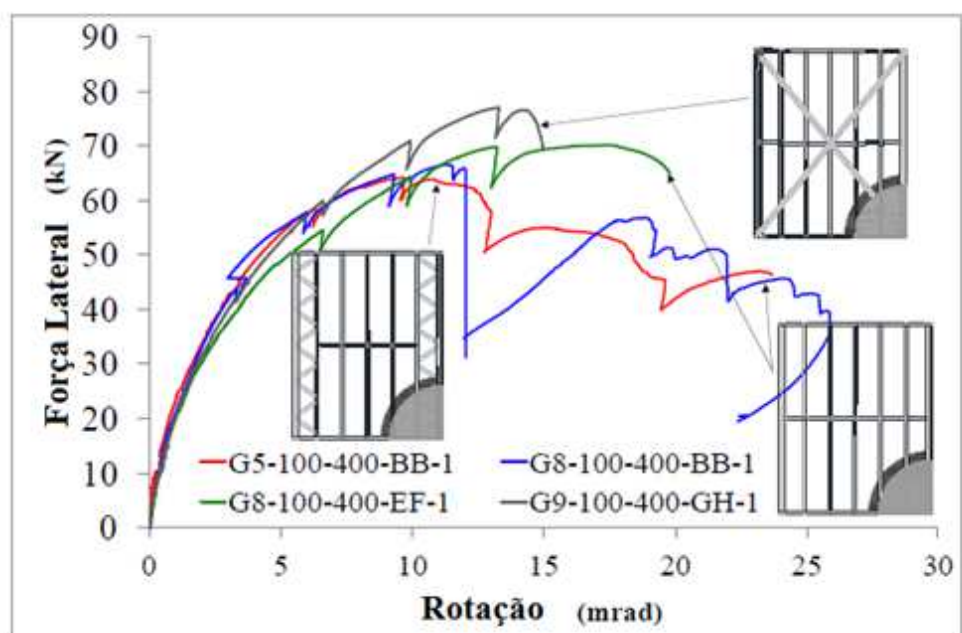


Figura 2.16 - Gráficos força lateral *versus* deslocamento resultantes dos ensaios monotômicos (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014 - Adaptado)

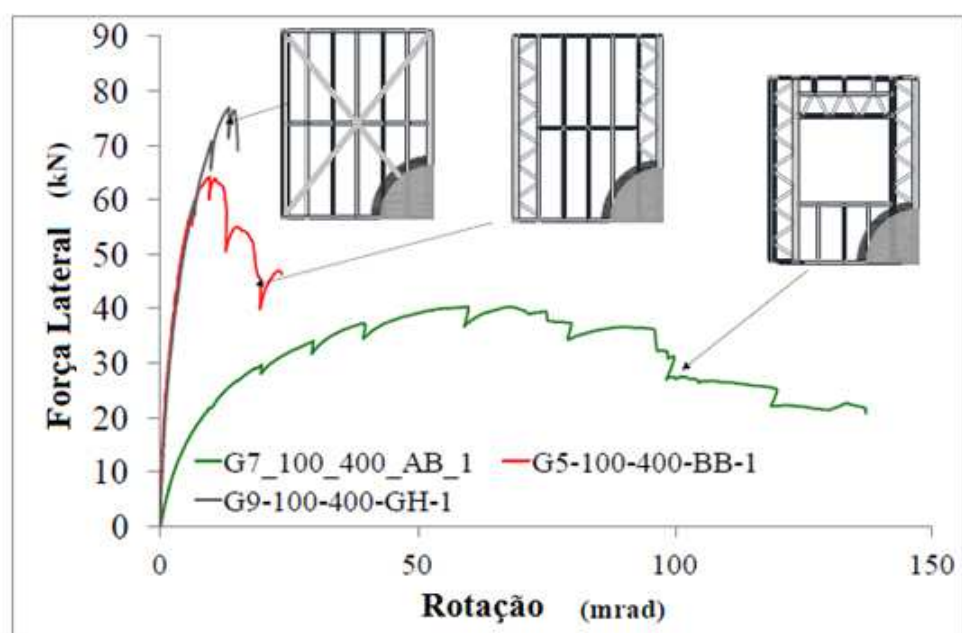


Figura 2.17- Gráficos força lateral *versus* deslocamento resultantes dos ensaios monotômicos (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014 - Adaptado)

A Figura 2.18 representa o resultado do painel tipo G9 ao ser submetido a carregamento lateral monotômico em duas configurações: sem revestimento e encapsulado com uma placa de gesso acartonado (H) e placas de Cimento reforçadas com fibra de vidro (G).

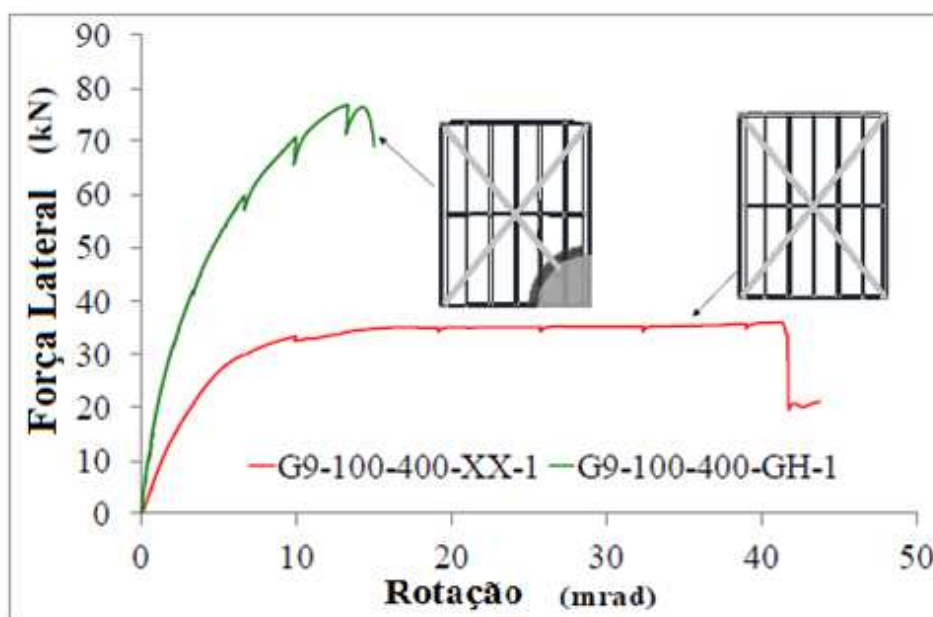


Figura 2.18 - Resultados dos ensaios de painéis G9 com e sem fechamento GH (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014 - Adaptado)

2.5.3.2. Testes de cisalhamento da ligação painel-revestimento

Foram realizados 37 ensaios de cisalhamento de modelos com menores dimensões de painel respeitando um mínimo de quatro ensaios de cada modelo. Assim como dito anteriormente, nestes testes também foram realizados ensaios adicionais para os conjuntos com uma dispersão de resultados superior a 10%.

A Figura 2.19 apresenta um dos modelos ensaiados em duas vistas e a configuração do ensaio onde a posição de dois dos medidores de deslocamentos (são quatro no total, dois de cada lado) também pode ser observada. As forças e os deslocamentos foram registrados durante a realização dos testes. A Tabela 2.10 apresenta os resultados obtidos durante e a partir das medições.

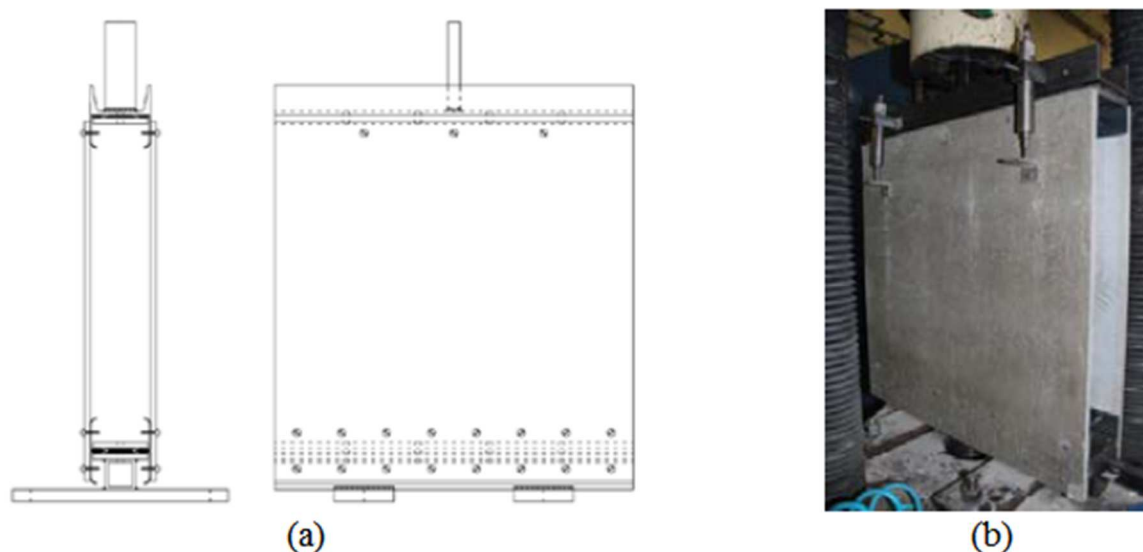


Figura 2.19– (a) Vistas frontal e lateral do projeto dos modelos ensaiados e a (b) configuração real do ensaio (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014)

Tabela 2.10 - Resultados dos ensaios de cisalhamento do conjunto placa, parafuso e PFF (Fonte: Baldassino *et al.*, 2014 - Adaptado)

Tipo de Revestimento	n. Ensaios	$k_{40\%}$ N/mm	$k_{40\%,min}$ N/mm	$k_{40\%,max}$ N/mm	F_u N	$F_{u,min}$ N	$F_{u,max}$ N
A	8	2575	732	4112	5266	4280	6520
B	4	2848	2603	3052	7530	7350	7710
E	6	2370	1055	4239	8760	7130	10400
F	7	1410	818	1963	7935	6080	9275
G	6	1928	1152	2728	4671	3400	5900
H	6	2054	1432	2564	6503	4820	7140

2.5.4. Pesquisa Realizada por Accorti *et al* (2016)

A pesquisa realizada por Accorti *et al* (2016) esta relacionada com a pesquisa realizada por Baldassino *et al* (2014). Desta forma, faz-se necessária a leitura anterior do item 2.5.3, uma vez que a nomenclatura utilizada nos tipos de painéis, nos revestimentos e nos painéis revestidos é a mesma conforme Figura 2.13, Tabela 2.8 e Tabela 2.9.

2.5.4.1. Ensaios das paredes como shear wall

A Figura 2.20 ilustra a configuração do ensaio das paredes de cisalhamento com a aplicação de forças horizontais e verticais. A força vertical aplicada foi de 17,07 kN/m, o que

representaria o fator de carregamento de um edifício de dois andares. O máximo deslocamento horizontal permitido pelo sistema foi de 200mm e de ± 100 mm para o carregamento monotômico e cíclico, respectivamente. Em alguns testes, essa limitação não permitiu atingir o deslocamento máximo do corpo de prova ensaiado.

Para a construção dos modelos, os perfis utilizados foram perfis com alma de 100 mm e mesa de 50 mm e fitas de aço com 85mm de largura. Todos os elementos tinham espessura de 1,20 mm. A Figura 2.21 mostra a ligação de uma fita de aço com os perfis da borda.

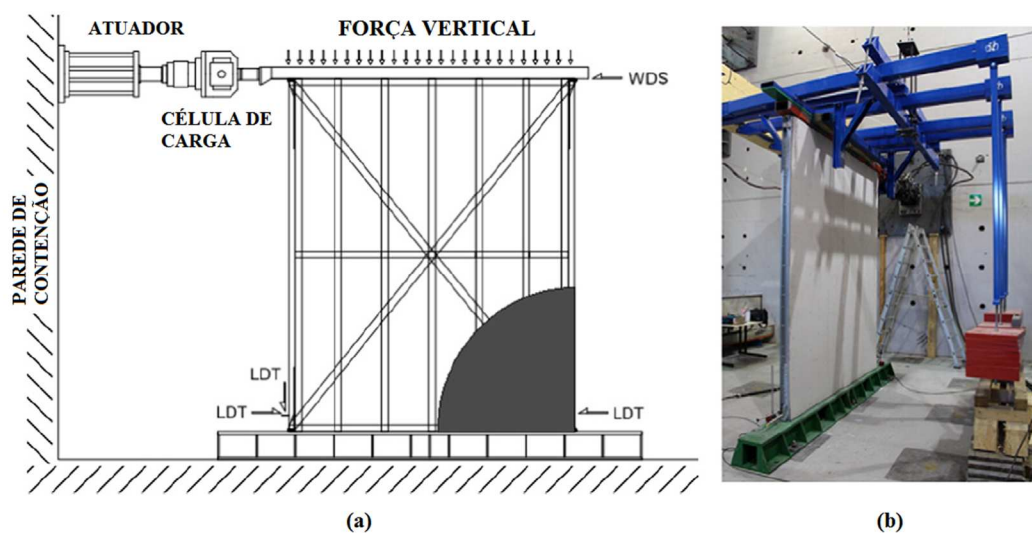


Figura 2.20–(a)Esquema ilustrativo do sistema de ensaio e (b) configuração do ensaio no laboratório (Fonte: Accorti *et al*, 2016 - Adaptado)

revestimento, respectivamente. Ambas as figuras com carregamento cíclico em linha cheia e monotômico em linha tracejada.

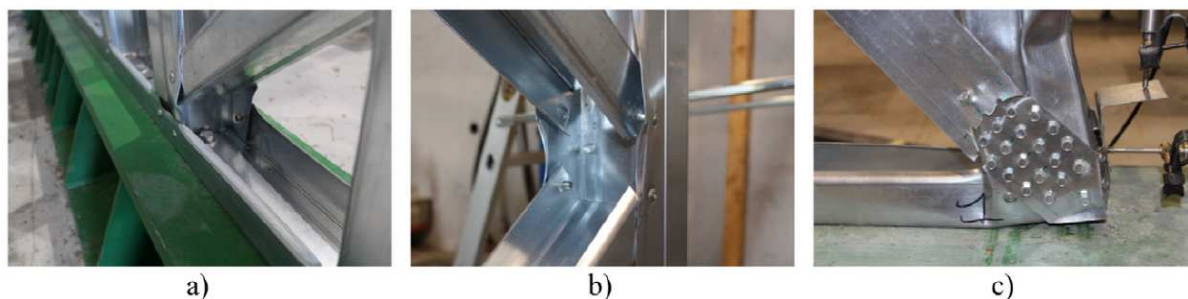


Figura 2.22 - Exemplos de modos de colapso para painéis sem revestimento (Fonte: Accorti *et al*, 2016)

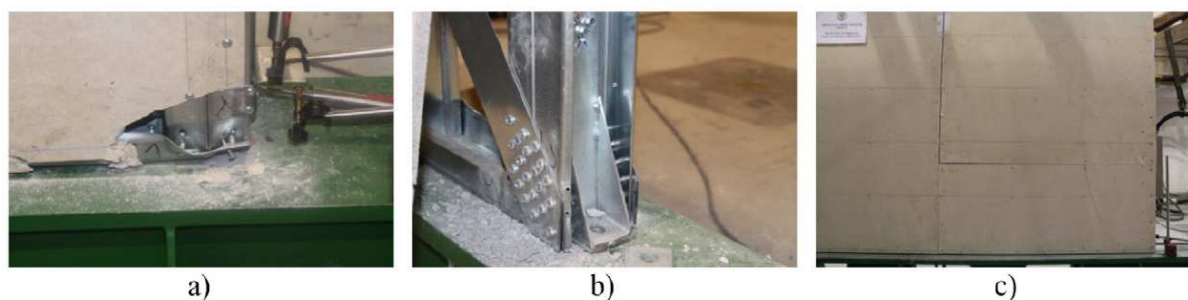


Figura 2.23 - Exemplos de modos de colapso para painéis com revestimento (Fonte: Accorti *et al*, 2016)

Tabela 2.12 - Resultados dos modelos sem revestimento (Fonte: Accorti *et al*, 2016-Adaptado)

Modelo	Tipo de Carregamento	Força Positiva			Força Negativa		
		Rigidez	Resistência última	Rotação na	Rigidez	Resistência última	Rotação na
		kN/m	F_{ult} kN	F_{ult} mrad	kN/m	F_{ult} kN	F_{ult} mrad
G6 100 400 XX-1	Monotômico	251	12.560	36.4	-	-	-
G6 100 400 XX-2	Cíclico	280	14.920	36.5	317	-14.960	-36.6
G7 100 400 XX-1	Cíclico	429	14.240	28.4	606	-14.880	-24.3
G9 100 400 XX-1	Monotômico	2361	35.920	40.9	-	-	-
G9 100 400 XX-2	Cíclico	2356	35.840	31.5	2388	-39.520	-25.6

Tabela 2.13 - Resultados dos modelos com revestimento (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)

Modelo	Tipo de Carregamento	Força Positiva			Força Negativa		
		Rigidez	Resistência última	Rotação na	Rigidez	Resistência última	Rotação na
		kN/m	F_{ult} kN	F_{ult} mrad	kN/m	F_{ult} kN	F_{ult} mrad
G5 100 400 BB-1	Monotônico	6760	64.200	9,7	-	-	-
G5 100 400 BB-2	Cíclico	5639	62.720	10,3	5535	-60.600	-10,1
G8 100 400 EF-1	Monotônico	6044	70.040	17,3	-	-	-
G8 100 400 EF-2	Cíclico	5463	66.800	10,8	5254	-68.880	-10,6
G9 100 400 GH-1	Monotônico	5320	76.920	13,3	-	-	-
G9 100 400 GH-2	Cíclico	3824	70.760	18,0	2769	-67.120	-14,1

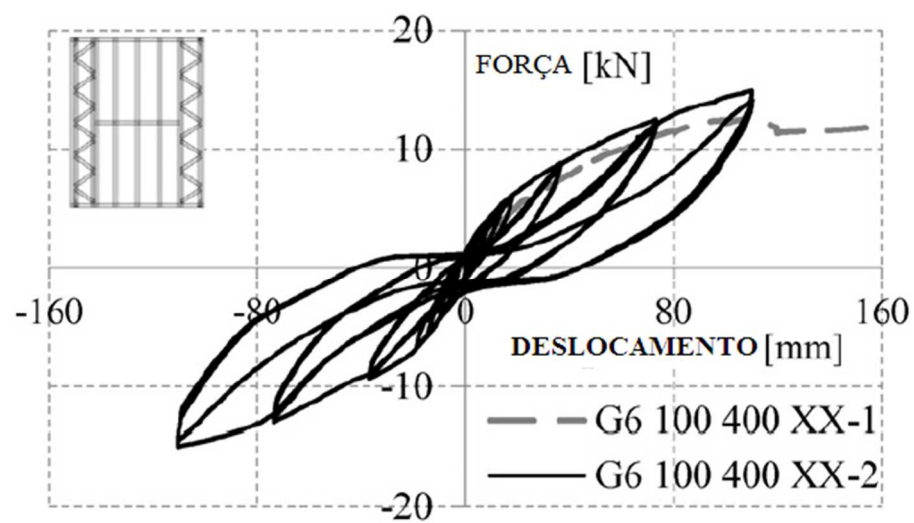


Figura 2.24 - Gráfico força x deslocamento dos ensaios com o painel G6 sem revestimento (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)

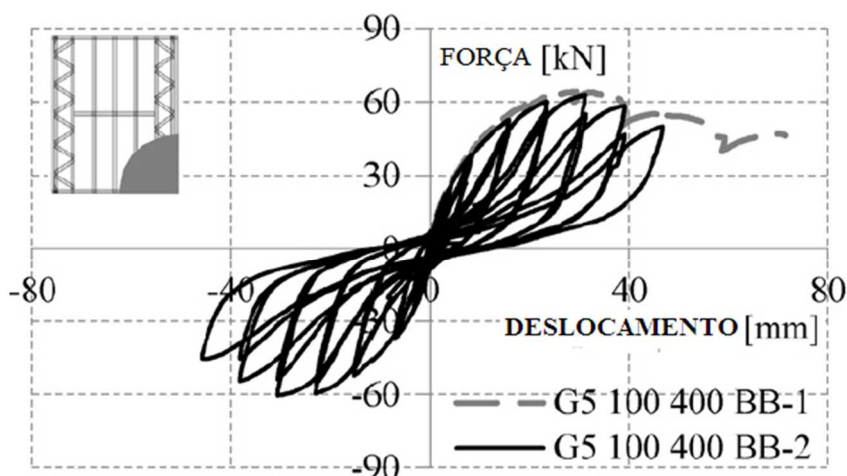


Figura 2.25 - Gráfico força x deslocamento dos ensaios com o painel G5 com revestimento (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)

Segundo Accorti *et al*(2016), “a presença de revestimento nos painéis proporciona um diferente e mais eficiente mecanismo de transmissão de forças entre os perfis de aço se comparados com os painéis não revestidos. As placas de revestimento e as conexões entre placa e perfil redistribuem as forças entre os perfis e previnem ou retardam o fenômeno da instabilidade dos montantes simples e duplos. Entretanto, os parafusos entre os perfis e os *hold-downs*, e a ancoragem dos *hold-downs* são mais severamente tencionados. A combinação destes fatores leva a um incremento da resistência e da rigidez, mas ao custo de reduzir a capacidade última de deformação.”

2.5.4.2. Testes de cisalhamento da ligação do reticulado com placa de revestimento

Nestes testes foram ensaiados modelos com placas de revestimentos com dimensões nominais de 600 x 600 mm com três perfis (um no topo e dois na base) conforme Figura 2.26. Com a intenção de induzir que a falha ocorresse nas conexões do topo do CP um número adicional de parafusos foi colocado na parte inferior do modelo.

As forças e os deslocamentos foram registrados durante a realização dos testes. A Figura 2.27 apresenta um gráfico com a configuração de força versus deslocamento encontrado neste tipo de ensaio e o modo de colapso do modelo.

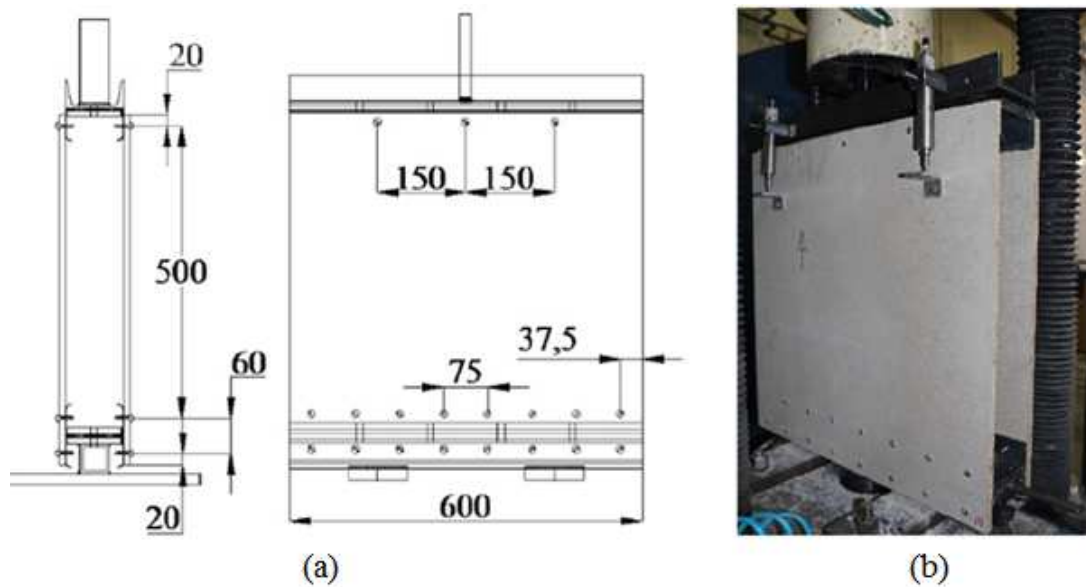


Figura 2.26 - (a) Vistas frontal e lateral do projeto dos modelos ensaiados e a (b) configuração real do ensaio(cotas em mm) (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)

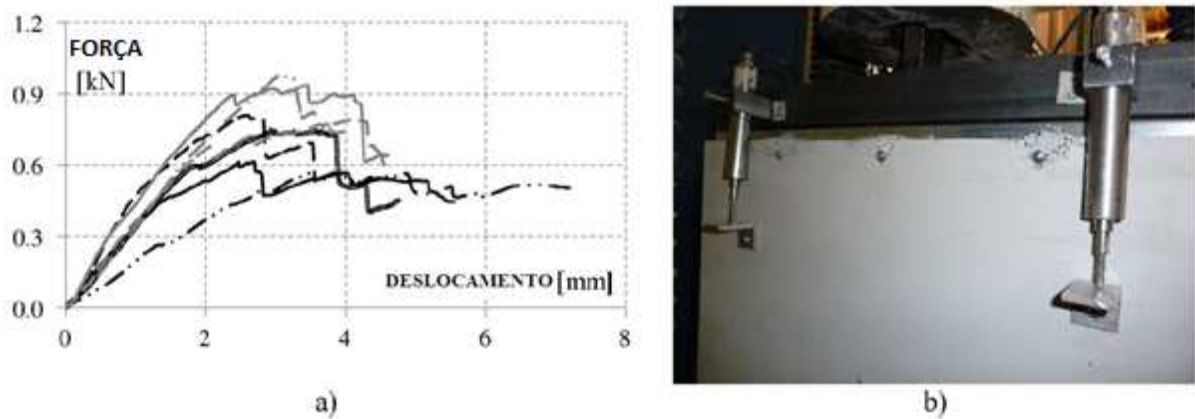


Figura 2.27 - Teste de cisalhamento da ligação: a) Gráfico com resultados típicos b) modo de colapso(Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)

A Tabela 2.14 representa os valores médios da rigidez (k_{mean}) e da força de escoamento médio ($f_{u,mean}$) obtidas com as medições, relacionados à ligação de um único parafuso. Finalmente, o valor da rigidez, k_{mean} , é a média dos valores de k_i obtidos.

A Figura 2.28 apresenta o gráfico força *versus* deslocamento obtido em um ensaio e ilustra a condição, área 1 (A1) igual a área 2 (A2), para o correto posicionamento da reta cuja tangente do ângulo α é igual a rigidez da ligação (k_i). $f_{u,k}$ é a da força de escoamento do modelo ensaiado.

Tabela 2.14 - Resultados dos ensaios de cisalhamento das ligações (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)

Revestimento	Número de testes	k_{mean} (N/mm)	$F_{u,mean}$ (N)
B	4	582	1260
E	7	398	1460
F	7	337	1322
G	7	354	780
H	6	424	1083

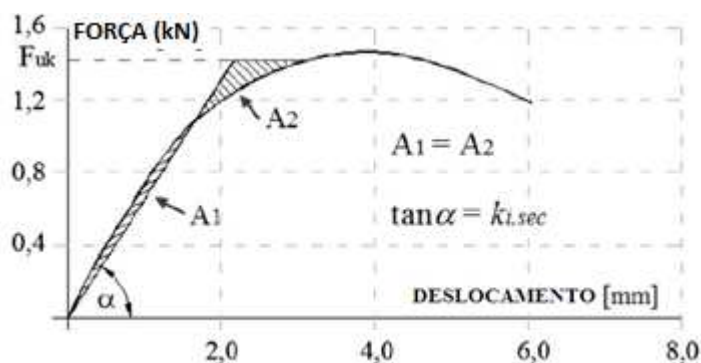


Figura 2.28 - Gráfico com as igualdades para a obtenção da rigidez da ligação (Fonte: Accorti et al, 2016 - Adaptado)

2.5.5. Pesquisa Realizada por Shahi *et al* (2014)

Nesta pesquisa foram feitos estudos experimentais com dois modelos de painéis revestidos em apenas um dos lados ou nos dois lados por placas cimentícias análogas entre si com espessura de 5 mm, conforme Tabela 2.15. As placas cimentícias foram conectadas aos montantes com parafusos espaçados em 100 mm ao longo de seu perímetro e 150 mm no interior da placa.

Os montantes utilizados tinham espessura de 0,75 mm, largura nominal de alma de 90 mm e foram espaçados de acordo com o apresentado pela referida tabela. Foram aplicados carregamentos monotômicos e cíclicos com deslocamentos controlados a uma taxa de 2 a 4mm/min e 4 a 16mm/min, respectivamente.

Tabela 2.15 - Caracterização dos modelos de painéis ensaiados (Fonte: Shahi *et al*, 2014 - Adaptado)

Modelo	Carregamento	Largura (L)	Altura (H)	Espaçamento Montante	H/L	Número de placas
FCB-Mon-A	Monotômico	2400 mm	2400 mm	600 mm	1,0	2
FCB-Mon-B	Monotômico	90 mm	2400 mm	450 mm	2,7	1
FCB-Cic-A	Cíclico	2400 mm	2400 mm	600 mm	1,0	2
FCB-Cic-B	Cíclico	90 mm	2400 mm	450 mm	2,7	1

2.5.5.1. Resultados ensaios monotômicos

Após os ensaios foram elaborados os gráficos da Figura 2.29 e os valores máximos dos resultados de deslocamento e de força foram anotados na Tabela 2.16. Observou-se que o painel FCB Mon-A é cerca de 30% mais rígido que o painel FCBMon-B. E a fase inelástica em A começou por volta de 60% da força última, ao passo que no painel B a fase inelástica teve seu início quando foi atingida 40% da força última.

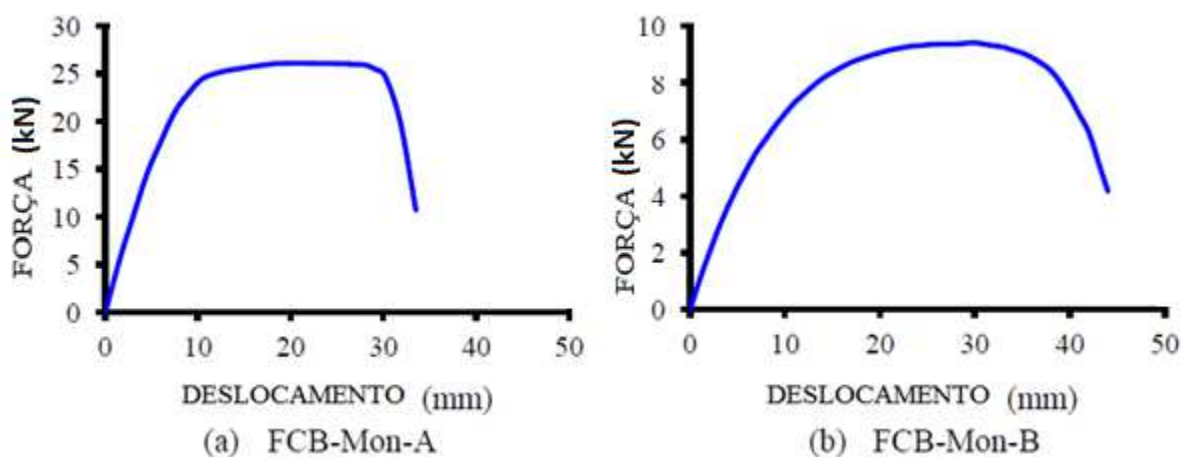


Figura 2.29 – Gráfico do comportamento dos painéis A e B no ensaio monotômico (Fonte: Shahi *et al*, 2014 - Adaptado)

Tabela 2.16 - Resultado dos ensaios monotômicos (Fonte: Shahi *et al*, 2014 - Adaptado)

Modelo	Força Máxima (kN)	Deslocamento associado à Força Máxima (mm)
FCB-Mon-A	26,1	23,4
FCB-Mon-B	9,4	27,9

2.5.5.2. Avaliação de Parâmetros de Parede

A determinação de parâmetros importantes como a rigidez, a ductilidade, a fase inelástica e o deslocamento último, podem ser obtidos por meio de várias metodologias. Shahi *et al* (2014) apresentam quatro delas. Entretanto, nesta revisão bibliográfica optou-se por apresentar apenas o método descrito pela norma americana American Iron and Steel Institute AISI S213-07/S1-09 (2012). A Figura 2.30 apresenta o gráfico força deslocamento, onde acima da curva tracejada obtida por um ensaio convencional, aplica-se a condição de área 1 igual a área 2 para o correto posicionamento do patamar EEEP (*Equivalent Energy Elastic-Plastic*), o qual define a força de escoamento.

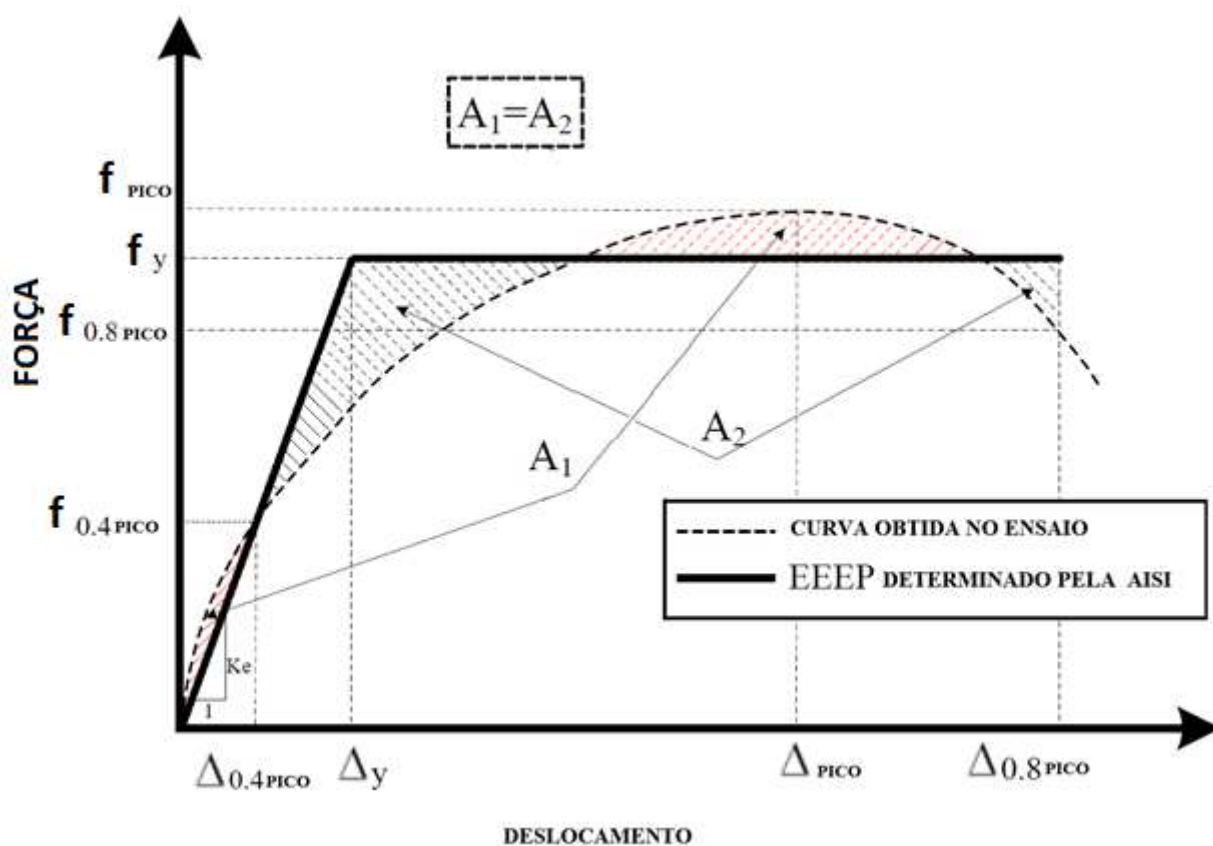


Figura 2.30 - Gráfico de força *versus* deslocamento com EEEP segundo a norma AISI (Fonte: Shahi et al, 2014 - Adaptado)

2.5.6. Pesquisa Realizada por Mohebbi, *et al*(2016)

Na pesquisa realizada por Mohebbi, *et al* (2016) foram considerados seis tipos de painéis de PFF revestidos com placas de gesso acartonado (*Gypsum board*) e placas cimentícias (*Fiber cement board*), com reforço ou não de uma chapa de aço (*Steel sheet*) conforme a Figura 2.31 e Tabela 2.17. As placas de gesso acartonado e as placas cimentícias tinham espessuras de 15mm e 10mm, respectivamente. Os perfis de aço utilizados tinham espessura 1,25mm e resistência ao escoamento (f_y) de 325MPa, ao passo que o revestimento de aço tinha espessura de 0,50mm de espessura e f_y igual a 273MPa. As seções e as dimensões dos painéis estão especificadas na Figura 2.32. Na Figura 2.33, pode-se visualizar os equipamentos de ensaio e a instrumentação “LVDT” para medição dos deslocamentos posicionada. Os painéis foram fixados no aparato de ensaio por meio dos “*hold downs*”, dois na guia inferior e dois na guia superior.

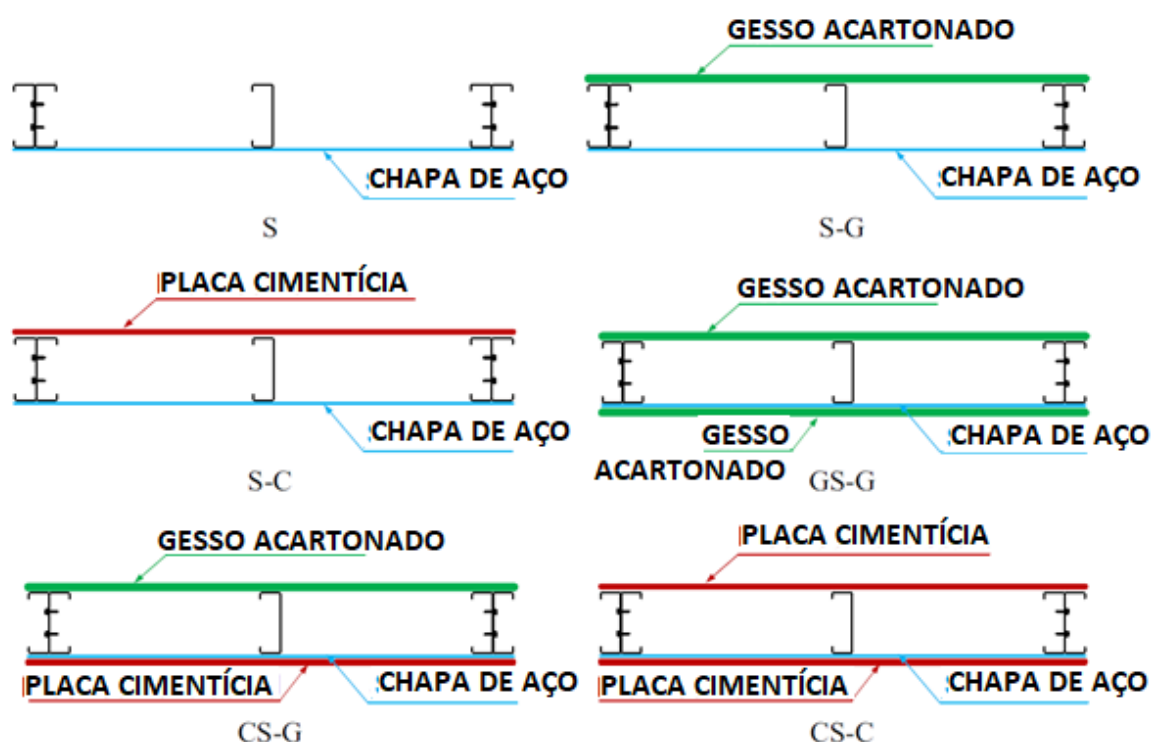


Figura 2.31 – Configuração e nomenclatura dos painéis revestidos com as placas cimentícias, gesso acartonado e com chapas de aço. (Fonte: Mohebbi *et al.*, 2016)

Tabela 2.17 - Nomenclatura dos modelos de painéis. (Fonte: Mohebbi *et al.*, 2016)

Modelo	Lado 1	Lado 2
S	Chapa de aço	Sem
S-G	Chapa de aço	Placa de gesso acartonado
S-C	Chapa de aço	Placa cimentícia
GS-G	Placa de gesso acartonado + Chapa de aço	Placa de gesso acartonado
CS-G	Placa cimentícia + Chapa de aço	Placa de gesso acartonado
CS-C	Placa cimentícia + Chapa de aço	Placa cimentícia

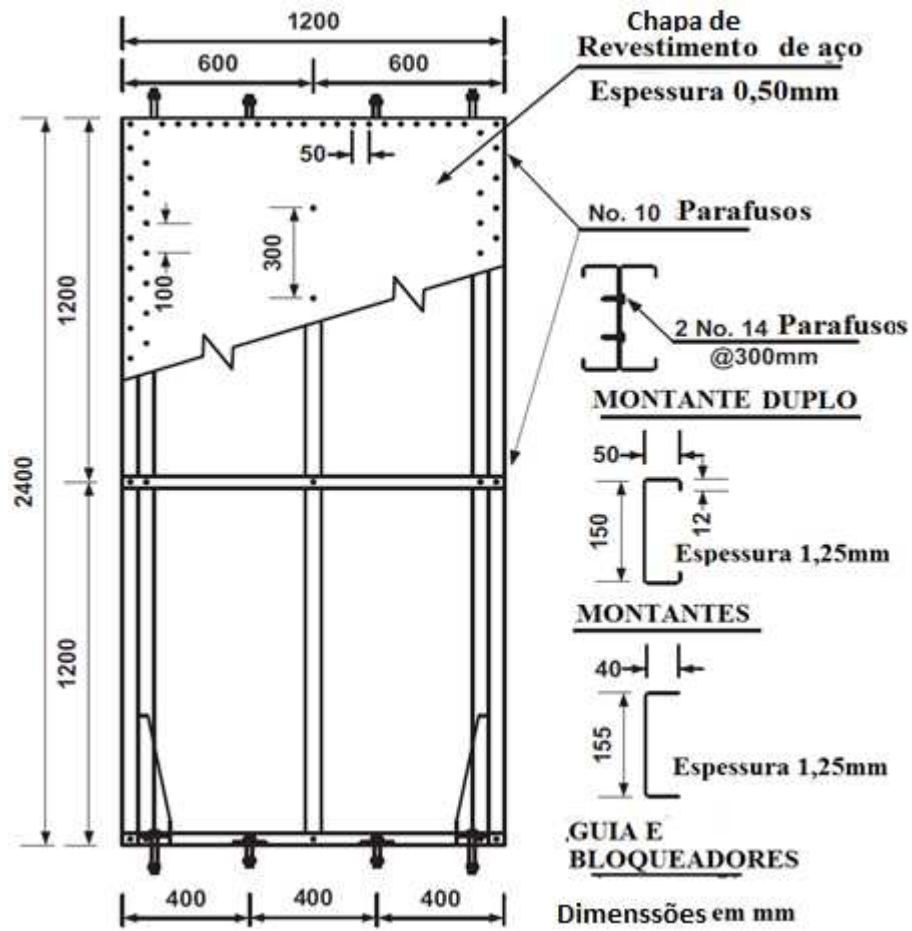


Figura 2.32 - Configuração dos painéis ensaiados e seção dos perfis utilizados. (Fonte: Mohebbi et al., 2016)

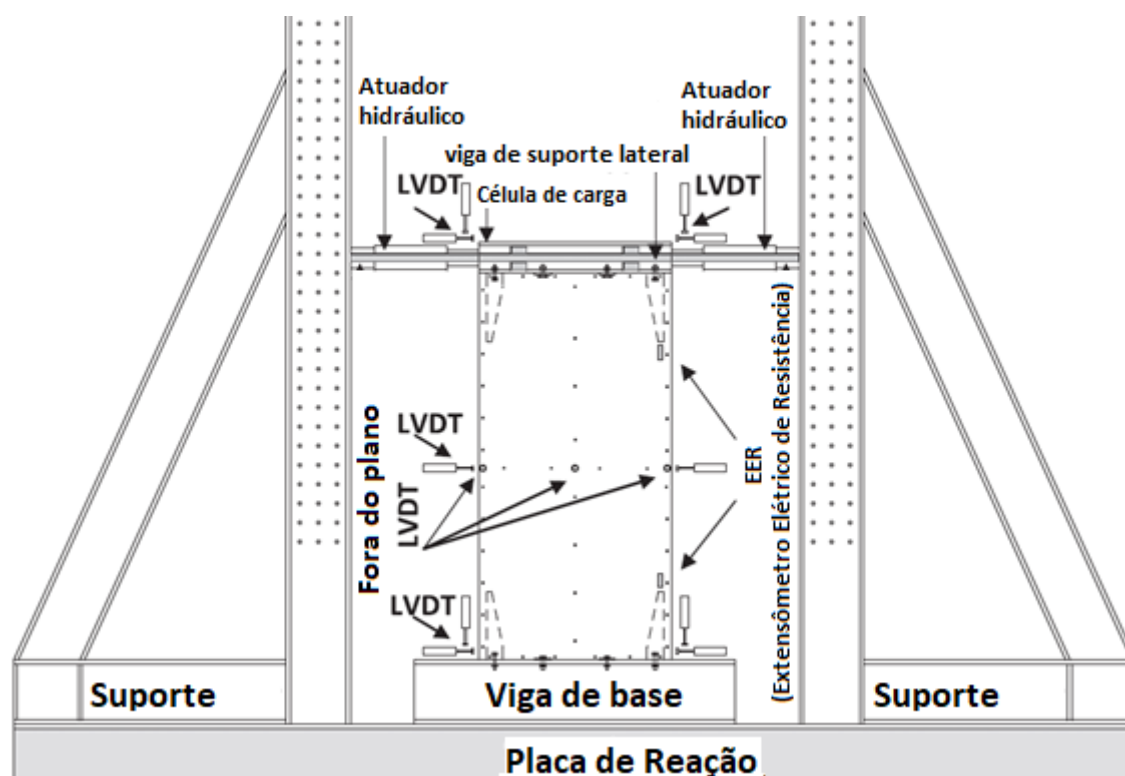


Figura 2.33 - Configuração do ensaio com a posição de toda a instrumentação utilizada. (Fonte: Mohebbi et al., 2016)

A Figura 2.34 apresenta os modelos após ensaio. Além disso, é possível visualizar os detalhes dos modos de ruptura das placas de aço, das placas de gesso acartonado e das placas cimentícias.

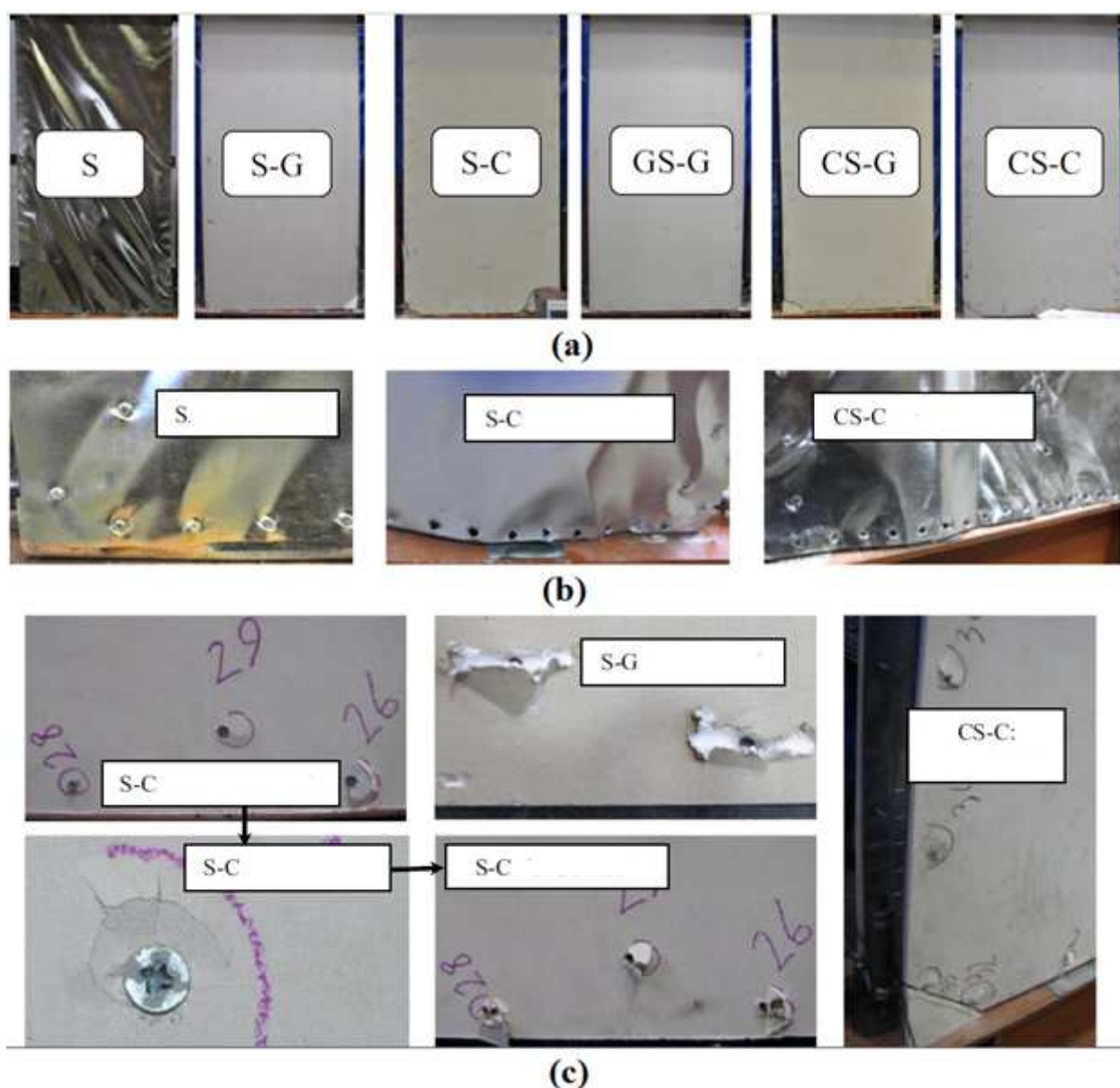


Figura 2.34 - Painéis após ensaio. (a) Vista frontal de todos os painéis; (b) Detalhe do revestimento de aço (S); (c) Detalhe dos modos de ruptura das placas de gesso(G) e cimentícias (C). (Fonte: Mohebbi *et al.*, 2016)

A Tabela 2.18 apresenta os resultados numéricos médios dos referidos ensaios de força máxima para cada modelo. O valor normalizado é o valor do modelo em questão dividido pelo valor do modelo S.

Na Tabela 2.19 têm-se os resultados encontrados após a elaboração das curvas teóricas de energia equipotencial - EEEP (ver Figura 2.30). Destaca-se que k_e é a rigidez do painel, A é a energia dissipada durante o ensaio e μ é a ductilidade da ligação. Ademais, f_y e Δy

representam a força e o deslocamento associados ao início do escoamento no patamar da curva teórica do EEEP. Analogamente, f_u e Δu representam a força e o deslocamento associados ao ponto último considerado no gráfico de energia equipotencial.

Tabela 2.18 - Resultado dos ensaios. (Fonte: MOHEBBI, et al., 2016)

Modelo	Força máxima	
	(kN/m)	Normalizado
S	21,3	1,00
S-G	25,2	1,18
S-C	27,9	1,31
GS-G	30,9	1,45
CS-G	35,0	1,64
CS-C	38,2	1,80

Tabela 2.19- Resultado dos ensaios após a elaboração da curva EEEP. (Fonte: Mohebbi et al, 2016)

Modelo	f_y (kN/m)	Δy (mm)	k_e (kN/m/mm)	f_u (kN/m)	Δu (mm)	A (N.m)	μ
S	19,4	17,2	1,13	17,0	56,2	924	3,3
S-G	21,9	11,4	1,92	20,1	50,5	979	4,4
S-C	24,2	13,1	1,86	22,3	49,5	1043	3,8
GS-G	27,2	15,9	1,71	24,7	66,1	1583	4,2
CS-G	30,3	18,1	1,67	28,0	65,3	1705	3,6
CS-C	35,8	22,6	1,59	30,6	55,2	1573	2,4

Segundo as conclusões de Mohebbi *et al.*, (2016), destaca-se que "o uso de revestimentos em um ou ambos os lados da parede, resulta em aumento da rigidez, da força de cisalhamento suportada e aumento da energia dissipada no ensaio em até 67%, 80% e 76%, respectivamente."

3. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

3.1. Materiais e Métodos

As placas cimentícias de 10mm e 12mm de espessura foram ensaiadas à flexão de acordo com as prescrições da norma brasileira NBR 15.498 (ABNT, 2016). Foram seguidos os procedimentos da seção 9.1.1 que trata dos ensaios de aceitação que são ensaios para verificar a conformidade do lote com os requisitos desta norma.

Além dos testes recomendados pela referida norma, foram realizados ensaios de flexão adaptados com a placa na posição vertical conforme Datchoua (2018). Estes ensaios foram idealizados a partir da análise da posição das placas de revestimento nas paredes de cisalhamento.

No total, têm-se vinte e quatro corpos de prova (CP's) retangulares, sendo doze de cada espessura, conforme quadro resumo da Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Quadro resumo: Ensaio de Resistência à Tração na Flexão.

Esp. Placa (t_p)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Posição da placa	Direção da placa	Total de CP's
10mm	(300*+40)	100	Horizontal (H)	Longitudinal (L)	3
				Transversal (T)	3
			Vertical (V)	Longitudinal (L)	3
				Transversal (T)	3
12mm			Horizontal (H)	Longitudinal (L)	3
				Transversal (T)	3
			Vertical (V)	Longitudinal (L)	3
				Transversal (T)	3
Total de ensaios					24
*Segundo a ASTM D3043-00, o vão do corpo de prova não deve ser menor que três vezes a largura da placa.					

A Figura 3.1 ilustra a configuração do ensaio em relação à posição horizontal ou vertical da placa em cima dos apoios. A distância entre os eixos dos suportes do aparato de ensaio (L_s) é de 300 mm para as duas espessuras consideradas. Esta distância obedece ao mínimo de 18 vezes a espessura da placa tanto para 10 mm quanto para 12 mm estabelecida pela norma

brasileira e ainda se adequa a norma americana que diz que “o vão do corpo de prova não deve ser menor que três vezes a largura da placa” (ASTM D3043-00, 2011).

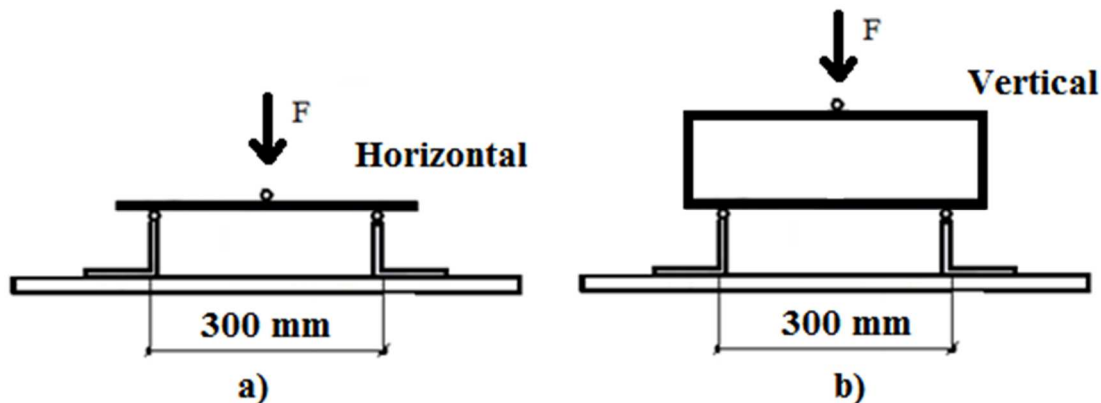


Figura 3.1 - Ensaio de Flexão: a) Esquema de ensaio horizontal e b) Vertical. (Fonte: NBR 15498:2016 (Adaptado))

Os corpos de prova (CP's) foram nomeados segundo a expressão:

EF (H ou V)(10 ou 12)(L ou T) CP(1 a3)

Onde H indica CP com placa na posição horizontal; V indica CP com placa na posição vertical; 10 e 12 indicam as espessuras das placas (em mm); L indica que o CP foi retirado na direção do comprimento original (2400mm) e T indica que o CP foi retirado na direção transversal da placa original, isto é, na direção da sua largura de 1200mm.

3.2. Procedimentos e Ensaio

Para executar os ensaios de resistência à tração na flexão, foram utilizados dois sistemas de aquisição de dados. Em um destes foi utilizado o software Tesc versão 3.04, responsável pelo comando da máquina universal de ensaios: EMIC DL-30.000 com capacidade máxima de 300 kN e com a célula de força Trd 29 ligada ao cutelo de carregamento. O outro sistema de aquisição, externo à máquina de ensaio, dispunha do software Catman versão 4.5 e Spider8 600 Hz, da Hotting Baldwin Measurements - HBM, a medição da flecha do corpo de prova foi realizada por meio do transdutor de deslocamento – Displacement Transducer (DT 02 DT-100A, marca KYOWA com curso de 100 mm e precisão de 0,005 mm). A Figura 3.2 ilustra as duas aquisições de dados lado a lado.

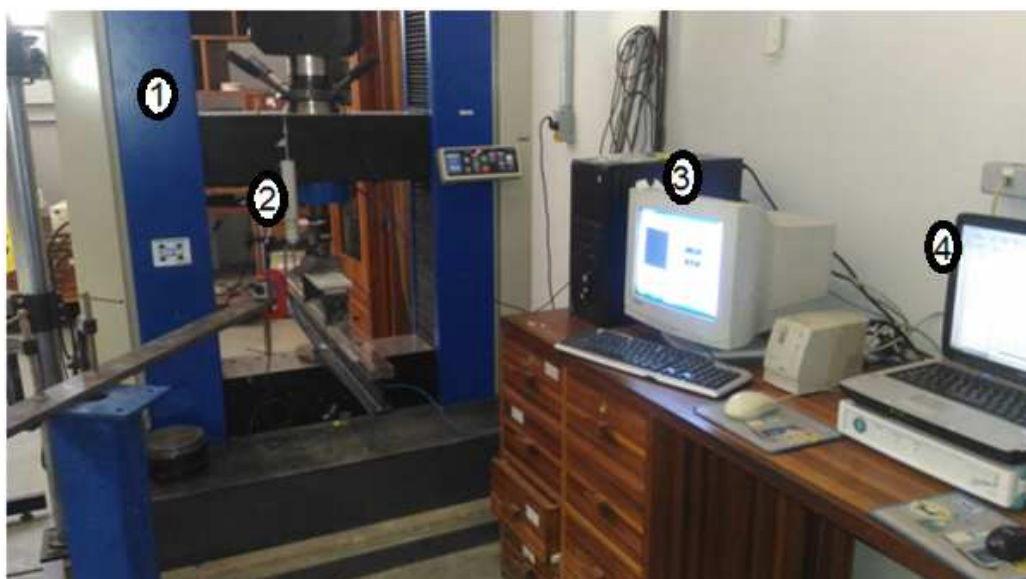


Figura 3.2 - Montagem do ensaio com os dois sistemas de aquisição de dados: (1) Máquina universal de ensaios: EMIC DL-30.000; (2) Transdutor de deslocamento (DT 02 DT-100A); (3) Sistema de aquisição de dados Tesc; (4) Sistema de aquisição de dados externa com Catman e Spider 8.

Os ensaios foram realizados com as respectivas forças e deslocamentos medidos e exportados para o Software Microsoft Excel. Todos os dados analisados foram coletados e analisados por meio do segundo sistema de aquisição de dados externo à máquina de ensaio por registrar deslocamentos mais confiáveis.

As Figura 3.3 à Figura 3.7 apresentam um dos corpos de prova ensaiados na posição horizontal, sendo que a Figura 3.3 mostra o detalhe da montagem do ensaio com a viga inferior com dois apoios rotulados e o dispositivo de aplicação de força à meio vão conectado à célula de força na forma de “S”. Na Figura 3.4 observa-se a deformação plástica do corpo de prova após o ensaio. Nesta, o critério de parada havia sido atingido e o equipamento já tinha retornado à posição inicial. As Figura 3.5 e Figura 3.6 trazem o detalhe das fissuras do corpo de prova ensaiado, ao passo que, a Figura 3.7 traz o detalhe da placa totalmente rompida. É importante destacar que a Figura 3.7 só foi possível após um esforço adicional no sentido de separar as duas metades do corpo de prova, uma vez que isto não ocorria durante os ensaios como comprova a já citada Figura 3.4.



Figura 3.3 - Montagem do ensaio de resistência à tração na flexão.



Figura 3.4 - Placa cimentícia com deformação plástica adquirida após o ensaio.



Figura 3.5 - Vista inferior da placa cimentícia rompida após o ensaio de flexão três pontos na posição horizontal.



Figura 3.6 - Vista lateral da placa cimentícia rompida após o ensaio de flexão três pontos na posição horizontal.



Figura 3.7 - Detalhe da seção da placa cimentícia rompida na seção central do vão.

Na sequência, foram realizados ensaios de resistência a tração na flexão com o CP na posição vertical. As Figura 3.8 à Figura 3.11 apresentam detalhes da execução destes ensaios. A montagem destes é análoga a montagem anterior e pode ser observada na Figura 3.8. Destaca-se a necessidade de apoios nas laterais dos CP's visando evitar a torção das seções externas durante os ensaios (Figura 3.9). Por fim, a Figura 3.10 e Figura 3.11 apresentam os modos de ruptura com fissuras na seção central e esmagamento no local de introdução da carga.

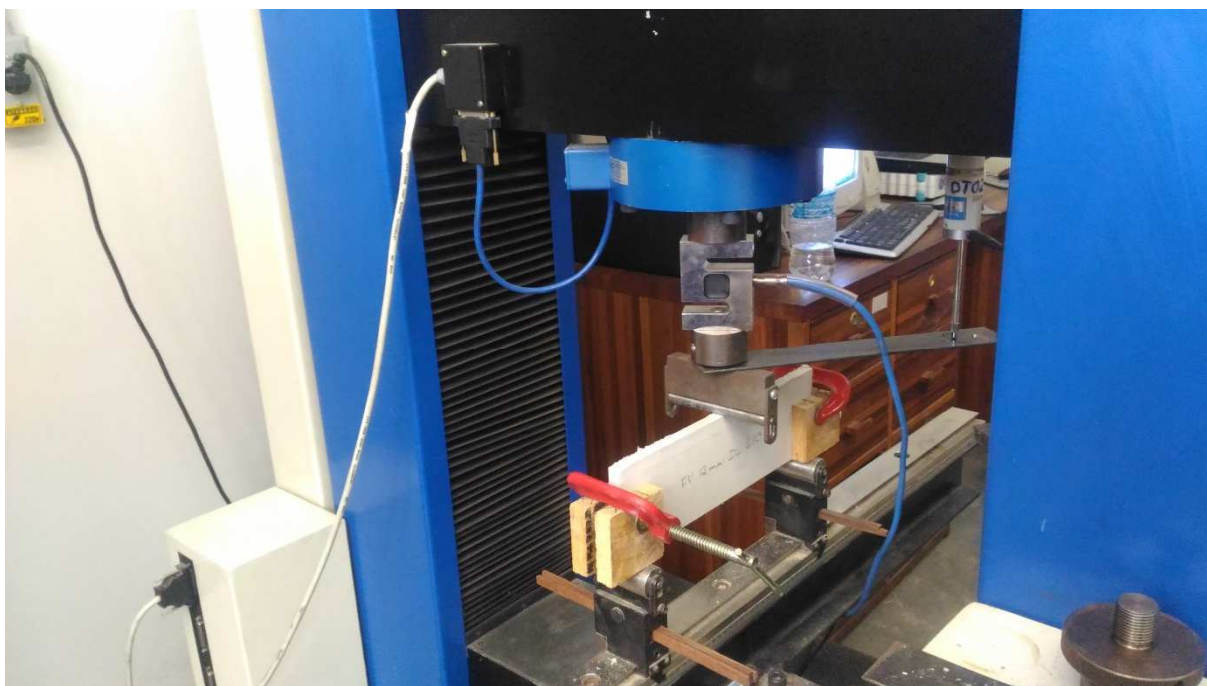


Figura 3.8 - Montagem do ensaio de resistência à tração na flexão na posição vertical.



Figura 3.9 - Detalhe dos apoios utilizados para evitar a torção das seções de extremidade dos corpos de prova.



Figura 3.10 - Vista lateral da placa cimentícia rompida após o ensaio de resistência a tração na flexão na posição vertical.



Figura 3.11 - Vista superior da placa cimentícia rompida após o ensaio de flexão três pontos na posição vertical. Detalhe do esmagamento ocorrido na seção central.

Em ambas as posições de ensaios, horizontal e vertical, os rompimentos dos corpos de prova foram suaves com o aparecimento gradual de fissuras. Não houve dispersão nos modos de

ruptura. Portanto, as fotos de um corpo de prova são representativas para os demais corpos de prova ensaiados, independentemente da sua espessura.

3.2.1. Tratamento de dados

A norma brasileira não estabelece qual deve ser a velocidade de aplicação da força, ela apenas determina que esta velocidade seja constante. Neste sentido, a velocidade adotada foi aquela fornecida pelo método A (Equação 3.1) da norma americana, ASTM D3043-00(2011).

$$V = zL_s^2 / 6t_p$$

Equação 3.1

Onde:

V é a velocidade de aplicação de força, expressa em milímetro por minuto (mm/min);

L_s é a distância entre os apoios, expressa em milímetros (mm);

z é a taxa unitária de deformação de fibra, uma constante igual a 0,0015, expressa em milímetros por milímetro vezes minuto (mm / mm · min);

t_p é a espessura da placa, expressa em milímetros (mm).

Portanto, para os ensaios com a placa na posição horizontal, têm-se as seguintes velocidades de ensaio:

$$V_{H\ tp=10mm} = 2,250\ mm/min$$

$$V_{H\ tp=12mm} = 1,875\ mm/min$$

Para o ensaio com a placa na vertical, tem-se a velocidade única para as duas espessuras de placa cimentícia:

$$V_{V\ tp=10mm} = 0,225\ mm/min$$

Segundo a norma NBR 15.498 (ABNT, 2016), que é análoga à norma da ASTM, D3043-00: 2011, a resistência a tração na flexão máxima, $\sigma_{m\acute{a}x}$, é calculada de acordo com a Equação 3.2, sendo que o valor final é obtido pela média aritmética dos resultados dos CP's.

$$\sigma_{m\acute{a}x_H} = \frac{3P_{m\acute{a}x} \cdot L_s}{2l \cdot t_p^2}$$

Equação 3.2

Onde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ é a resistência a tração na flexão máxima, expressa em megapascals (MPa);

$P_{m\acute{a}x}$ é a força máxima obtida no ensaio, expressa em newtons (N);

l é a largura do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

É importante observar que $\sigma_{m\acute{a}x}$ depende do momento de inércia do CP ensaiado. Portanto, quando o corpo de prova é rotacionado e ensaiado na vertical a equação anterior não pode ser usada, sendo necessária a utilização da Equação 3.3.

$$\sigma_{m\acute{a}x_V} = \frac{3P_{m\acute{a}x} \cdot L_s}{2 t_p l^2}$$

Equação 3.3

Para o cálculo do módulo de elasticidade dos ensaios na horizontal e na vertical utilizaram-se a Equação 3.4 e a Equação 3.5, respectivamente, conforme a norma ASTM D3043-00: 2011, aplicando os dados obtidos através dos ensaios de flexão em três pontos das placas cimentícias.

$$E_H = \frac{L_s^3}{4l \cdot t_p^3} \left(\frac{P}{\Delta} \right)$$

Equação 3.4

$$E_v = \frac{L_s^3}{4 \cdot t_p l^3} \left(\frac{P}{\Delta} \right)$$

Equação 3.5

Onde:

E_H é o módulo de elasticidade dos ensaios com placas na posição horizontal, expresso em megapascals (MPa);

E_v é o módulo de elasticidade dos ensaios com placas na posição vertical, expresso em megapascals (MPa);

P/Δ é a rigidez elástica, expressa em Newtons por milímetros (N/mm);

Os demais parâmetros seguem a descrição da Equação 3.1 e Equação 3.2.

A rigidez elástica pode ser entendida como a inclinação da curva na região elástica do gráfico força deslocamento. Esta pode ser expressa como mostra a Equação 3.6, sendo que $P_{40\%}$ e $P_{20\%}$ são valores de forças iguais a 40% e 20% da força máxima ($P_{máx}$) do corpo de prova, respectivamente, e $\delta_{40\%}$ e $\delta_{20\%}$ são os deslocamentos associados a estas forças.

$$P/\Delta = \frac{P_{40\%} - P_{20\%}}{\delta_{40\%} - \delta_{20\%}}$$

Equação 3.6

Foram determinados os valores da variância (Var), do desvio padrão (DP) e do coeficiente de variação (Cv) dos resultados dos ensaios realizados. A variância (Equação 3.7) é a medida da dispersão estatística que indica quão distantes os valores estão da média (X_m). O desvio padrão (Equação 3.8) é a medida que mostra o quanto de variação existe em relação à média. Assim sendo, um baixo valor de DP significa que os resultados tendem a estar próximos da média, enquanto que um alto valor do DP significa que esses resultados estão dispersos. Por

fim, o coeficiente de variação (Equação 3.9) é uma forma de expressar a variabilidade dos dados excluindo-se a ordem de grandeza da variável.

De um modo geral, tem-se resultados homogêneos (baixa dispersão) para $C_v \leq 15\%$, média dispersão para $15\% < C_v < 30\%$ e resultados heterogêneos (alta dispersão) para $C_v \geq 30\%$.

$$Var = \frac{\sum_{i=1}^n (CP_i - x_m)^2}{(n - 1)}$$

Equação 3.7

$$DP = \sqrt{Var}$$

Equação 3.8

$$C_v = \frac{DP}{x_m} \cdot 100$$

Equação 3.9

3.3. Resultados obtidos

Os resultados obtidos nos ensaios de flexão foram agrupados conforme os três corpos de prova ensaiados sob os mesmos parâmetros de espessura e de direção de corte da placa cimentícia. Além disso, os dados dos ensaios na posição horizontal e na posição vertical foram organizados em separado.

3.3.1. Ensaio de Flexão – Posição Horizontal

Após os ensaios foram obtidos os gráficos conforme Figura 3.12 e Figura 3.13.

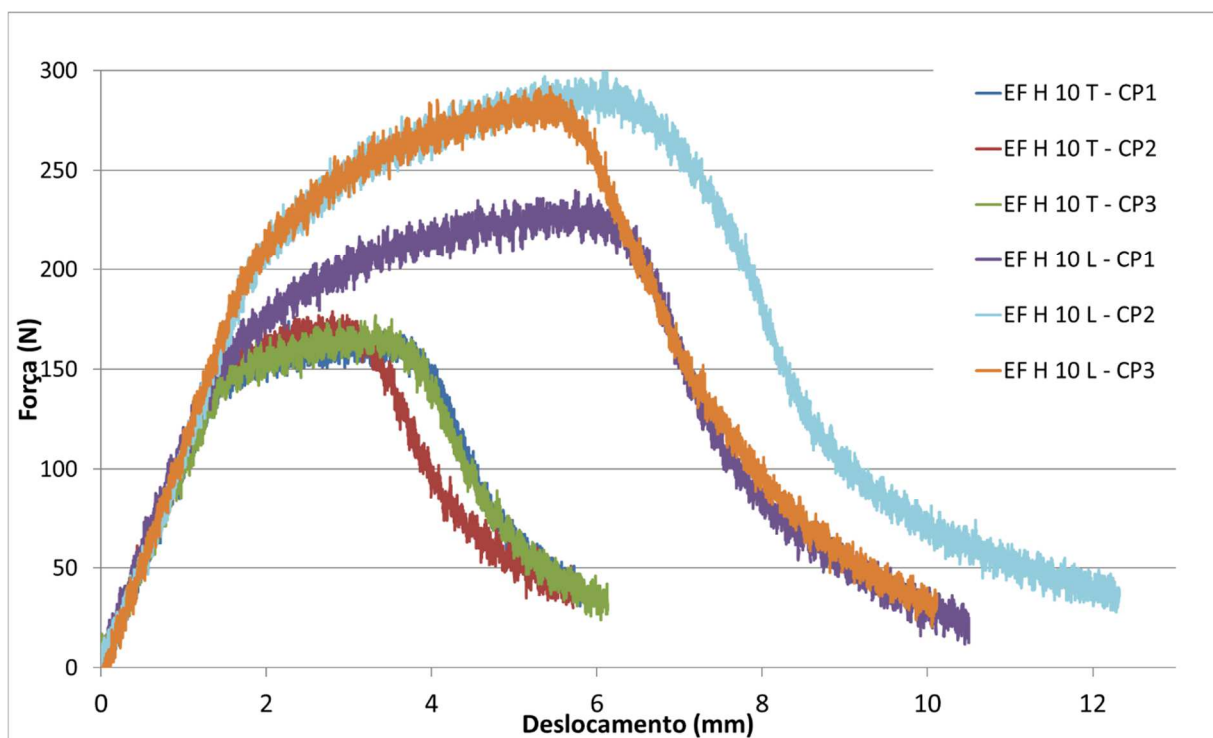


Figura 3.12 - Gráfico força por deslocamento dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal realizados com PLC de espessura nominal de 10mm.

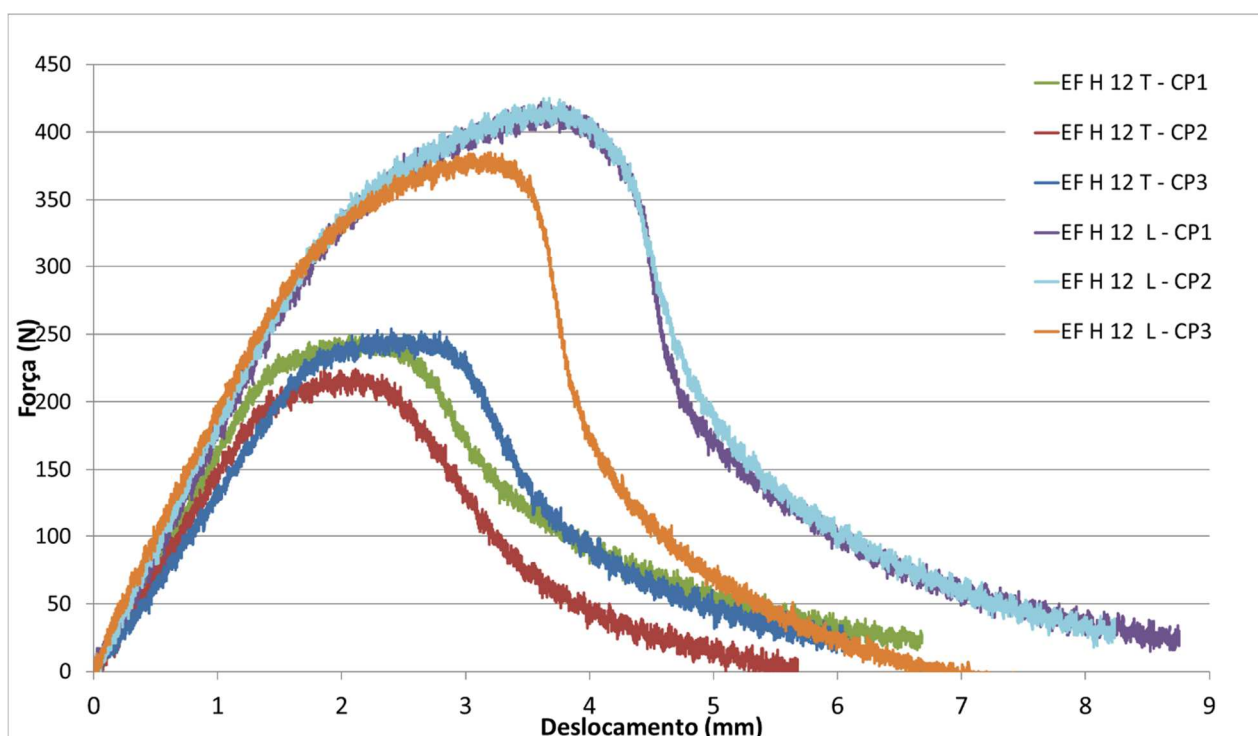


Figura 3.13 - Gráfico força por deslocamento dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal realizados com PLC de espessura nominal de 12mm.

As tabelas a seguir, Tabela 3.2 a Tabela 3.5, apresentam os resultados obtidos conforme equações apresentadas no item 3.2.1 deste trabalho. Para os cálculos das resistências à tração na flexão máximas e dos módulos de elasticidade foram utilizadas as médias das larguras e espessuras reais dos corpos de prova. Conforme pode-se observar nas tabelas as placas cimentícias apresentaram resultados homogêneos, ou seja, com baixa dispersão ($C_v \leq 15\%$).

Além disto, é possível constatar que os valores médios de resistência a tração na flexão tensão máxima obtidos das PLC's vão de 9,07MPa (para placas de 10mm na direção transversal) até 16,01MPa (para placas de 12mm na direção longitudinal). Analogamente, os valores de módulos de elasticidade vão de 7.238 MPa (para placas de 12mm na direção transversal) até 9.094 MPa (para placas de 12mm na direção longitudinal).

Tabela 3.2 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 10mm na direção longitudinal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFH 10 L - CP1	264,87	12,69	121,14	8891,71
EFH 10 L - CP2	303,85	14,56	120,95	8878,04
EFH 10 L - CP3	299,85	14,37	115,10	8448,32
X _m	289,52	13,87	119,07	8739,36
C _v	7,41%	7,41%	2,89%	2,89%

Tabela 3.3 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 10mm na direção transversal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFH 10 T - CP1	193,90	9,29	104,20	7648,55
EFH 10 T - CP2	186,91	8,95	118,17	8673,61
EFH 10 T - CP3	186,91	8,95	111,60	8191,74
X _m	189,24	9,07	111,33	8171,30
C _v	2,13%	2,13%	6,28%	6,28%

Tabela 3.4 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 12mm na direção longitudinal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFH 12 L - CP1	444,78	15,78	191,22	8894,75
EFH 12 L - CP2	456,77	16,20	192,53	8955,50
EFH 12 L - CP3	452,78	16,06	202,77	9431,93
X _m	451,44	16,01	195,50	9094,06
C _v	1,35%	1,35%	3,23%	3,23%

Tabela 3.5 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão horizontal para placas cimentícias de 12mm na direção transversal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFH 12 T - CP1	277,86	9,86	181,00	8419,27
EFH 12 T - CP2	268,87	9,54	135,46	6300,97
EFH 12 T - CP3	272,86	9,68	150,40	6995,87
X _m	273,20	9,69	155,62	7238,70
C _v	1,65%	1,65%	14,92%	14,92%

3.3.2. Ensaio de Flexão – Posição Vertical

Os ensaios foram realizados e como resultados foram gerados os gráficos conforme Figura 3.14 e Figura 3.15.

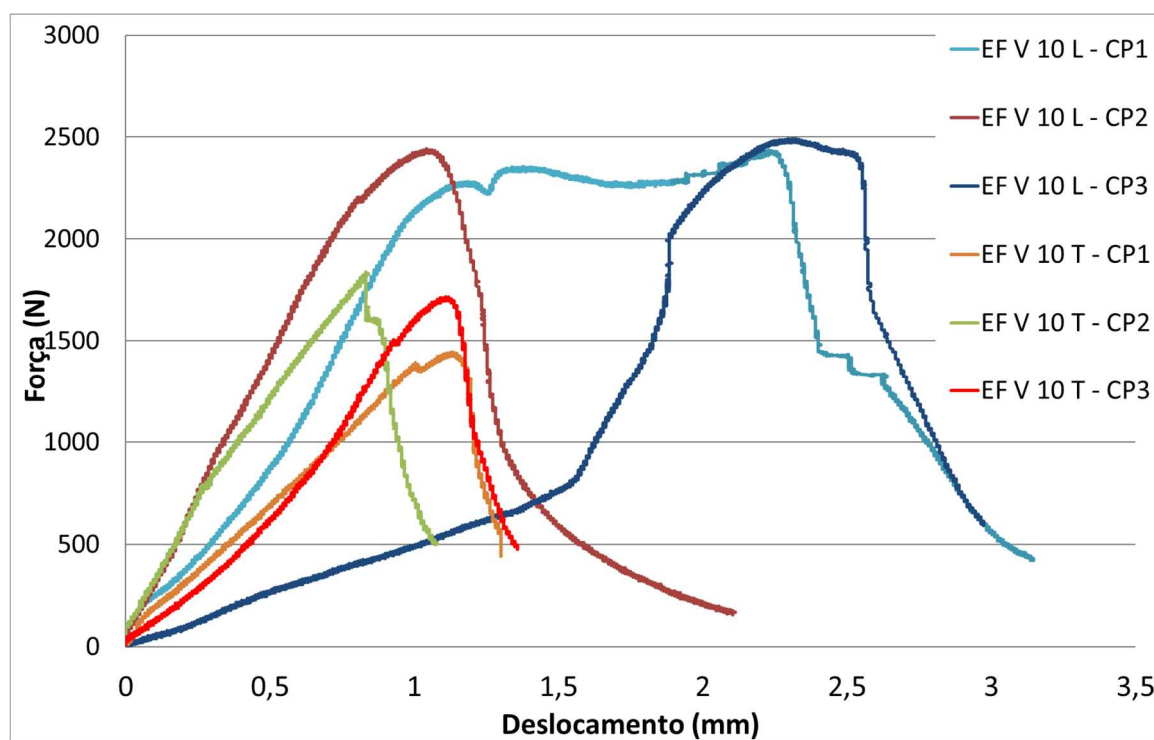


Figura 3.14 - Gráfico dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical realizados com PLC de espessura nominal de 10mm.

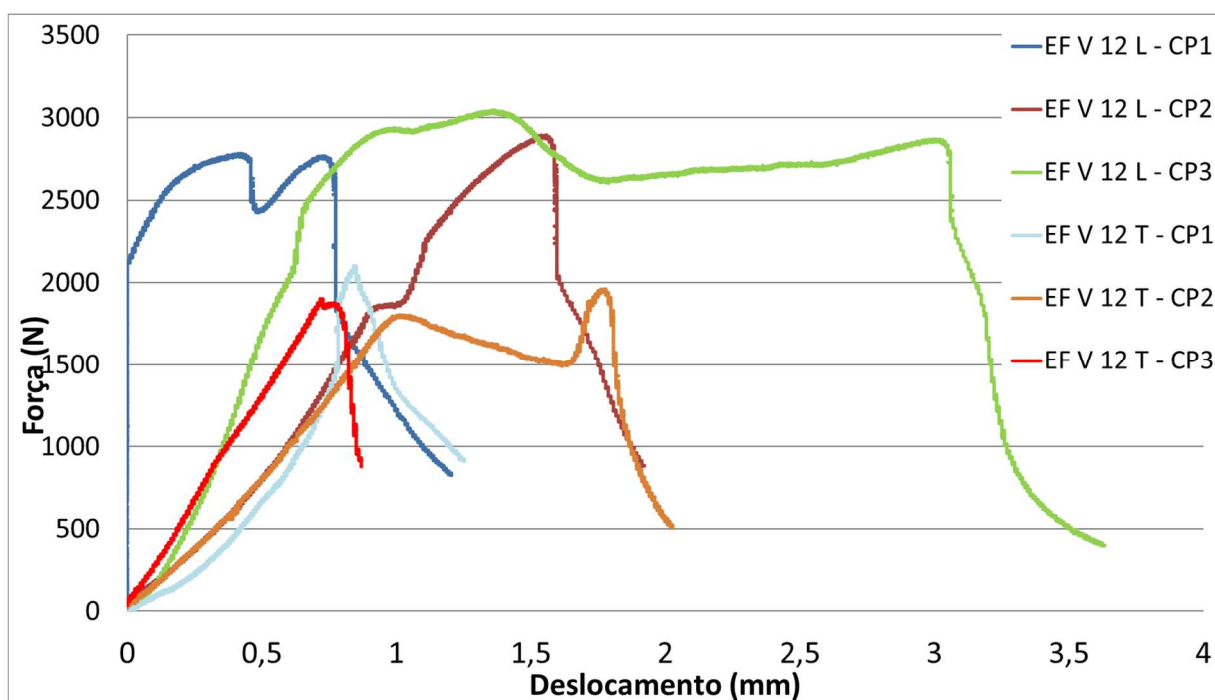


Figura 3.15 - Gráfico dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical realizados com PLC de espessura nominal de 12mm.

As Tabela 3.6 à Tabela 3.9, apresentam os resultados obtidos conforme equações apresentadas no item 3.2.1 deste trabalho. Para os cálculos das resistências à tração na flexão máximas e módulos de elasticidade obtidos foram utilizadas as médias das larguras e espessuras reais dos corpos de prova.

Conforme pode-se observar nas tabelas, as placas cimentícias apresentaram resultados homogêneos para os parâmetros força máxima e resistência à tração na flexão máxima o que valida os ensaios. Entretanto, os valores obtidos não apresentaram uma fase elástica bem definida (conforme a Figura 3.12 e a Figura 3.13). Tal característica explica as altas dispersões dos valores da rigidez elástica e do módulo de elasticidade.

Constata-se ainda que os valores médios de resistência à tração na flexão máxima obtidos das PLC's vão de 7,87MPa (para placas de 10mm na direção transversal) até 13,73MPa (para placas de 12mm na direção longitudinal). Analogamente, os valores de módulos de elasticidade vão de 1.286 MPa (para placas de 10mm na direção transversal) até 2,208 MPa (para placas de 12mm na direção longitudinal).

Tabela 3.6 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 10mm na direção longitudinal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFV 10 L - CP1	2435,79	11,50	1819,88	1303,91
EFV 10 L - CP2	2442,79	11,54	3193,94	2288,39
EFV 10 L - CP3	2492,76	11,77	802,29	574,82
X _m	2457,11	11,60	1938,71	1389,04
C _v	1,26%	1,26%	61,91%	61,91%

Tabela 3.7 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 10mm na direção transversal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFV 10 T - CP1	1444,28	6,82	1258,93	902,00
EFV 10 T - CP2	1838,09	8,68	2746,63	1967,90
EFV 10 T - CP3	1716,15	8,10	1380,84	989,34
X _m	1666,17	7,87	1795,47	1286,41
C _v	12,10%	12,10%	46,00%	46,00%

Tabela 3.8 - Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 12mm na direção longitudinal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFV 12 L - CP1	2782,62	13,14	2910,62	2085,39
EFV 12 L - CP2	2894,56	13,67	2088,08	1496,06
EFV 12 L - CP3	3045,49	14,38	4247,44	3043,20
X _m	2907,56	13,73	3082,05	2208,22
C _v	4,54%	4,54%	35,36%	35,36%

Tabela 3.9- Resultados dos ensaios de resistência a tração na flexão vertical para placas cimentícias de 12mm na direção transversal.

Nome CP	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFV 12 T - CP1	2103,96	9,94	2200,74	1576,78
EFV 12 T - CP2	1961,03	9,26	1864,76	1336,06
EFV 12 T - CP3	1903,06	8,99	2843,71	2037,45
X _m	1989,35	9,40	2303,07	1650,10
C _v	5,20%	5,20%	21,60%	21,60%

A Tabela 3.10 apresenta o resumo dos resultados obtidos na seção por meio dos valores médios calculados, bem como os coeficientes de variação associados a cada parâmetro.

Tabela 3.10 – Quadro resumo: Resultados dos ensaios de resistência a tração na Flexão (valores médios).

Nome CP	$\sigma_{\text{máx}}$ (MPa)	Cv (%)	E (MPa)	Cv (%)
EFH 10L	13,87	7,41%	8739,36	2,89%
EFH 10T	9,07	2,13%	8171,30	6,28%
EFH 12L	16,01	1,35%	9094,97	3,23%
EFH 12T	9,69	1,65%	7238,70	14,92%
EFV 10L	11,60	1,26%	1389,04	61,91%
EFV 10T	7,87	12,10%	1286,41	46,00%
EFV 12L	13,73	4,54%	2208,22	35,36%
EFV 12T	9,40	5,20%	1650,10	21,60%

É importante salientar que os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão na posição vertical tratam de uma adaptação das prescrições da norma brasileira NBR 15.498 (ABNT, 2016) para ensaios na posição horizontal. Além disso, ocorreram esmagamentos do material na seção central do corpo de prova, com isso as leituras das flechas sofreram perturbações.

A técnica utilizada não foi adequada pois não foram respeitadas as proporções dos corpos de prova estabelecidas pela norma brasileira NBR 15.498 (ABNT, 2016). conforme ensaio horizontal. As proporções não foram atendidas por uma limitação da máquina de ensaio que deveria ter um trilho muito grande para um vão de aproximadamente 1800mm. Logo, os resultados apresentados para estes ensaios não são conclusivos.

3.4. Análise dos Resultados Obtidos

A análise da influência das variáveis nos resultados obtidos durante os ensaios foi realizada com base nas tabelas apresentadas anteriormente. Foram analisadas a influência da direção de retirada dos corpos de prova (direção transversal e direção longitudinal), a influência da espessura das placas (10mm e 12mm) e a influência da posição de ensaio (horizontal e vertical) dos corpos de prova.

3.4.1. Influência da direção dos corpos de prova – Longitudinal x Transversal

Analisando a influência da direção de retirada dos corpos de prova constatamos que os corpos de prova retirados na direção longitudinal da placa original alcançam forças máximas maiores, maiores resistências à tração na flexão e maiores de módulo de elasticidade que na direção transversal. Na Tabela 3.10, fica evidente que todos os CP's nomeados ao final com a letra L (longitudinal) apresentaram resistências à tração na flexão e módulos de elasticidade, em valores médios, maiores que os correspondentes valores dos CP's retirados na direção transversal (CP's nomeados ao final com a letra T).

Visando quantificar essa diferença percentual foi gerada a Tabela 3.11 onde os valores médios longitudinais, foram divididos por valores médios transversais. Em todos os ensaios o acréscimo percentual foi mais expressivo nas forças máximas e nas resistências à tração na flexão máximas. Em nenhum dos casos observou-se valores inferiores a 100%, ou seja, em nenhum dos casos os corpos de provas extraídos na direção transversal apresentaram resultados superiores aos obtidos na direção longitudinal.

Tabela 3.11 - Tabela resumo dos valores dos CP's extraídos na longitudinal divididos pelos valores na transversal (valores médios).

Xm (L/T)	P _{máx} (N)	$\sigma_{máx}$ (MPa)	P/ Δ (N/mm)	E (MPa)
EFH 10	153%	153%	107%	107%
EFH 12	165%	165%	126%	126%
EFV 10	147%	147%	108%	108%
EFV 12	146%	146%	134%	134%

3.4.2. Influência da espessura dos corpos de prova

De maneira geral, quando é feita uma análise da Tabela 3.10 em relação à espessura nominal das chapas, observa-se que a resistência a tração na flexão máxima aumenta de acordo com o aumento da espessura. E na maioria dos casos para o módulo de elasticidade (E), observa-se que o aumento do valor de E está diretamente relacionado ao aumento da espessura.

Em relação à média dos valores obtidos para as condições L e T encontrados com a PLC de 10mm na posição horizontal tem-se a resistência a tração na flexão máxima de 11,47 MPa e E de 8455,18MPa. Para as placas com espessura de 12mm tem-se $\sigma_{\text{máx}}$ de 12,85 MPa e E de 8166,84MPa. Em relação aos ensaios na posição vertical foram encontrados os seguintes valores médios para PLC de 10mm $\sigma_{\text{máx}}$ de 9,74 MPa e E de 1337,73 MPa. Para as placas com espessura de 12mm tem-se $\sigma_{\text{máx}}$ de 11,57 MPa e E de 1929,16 MPa.

A partir dos valores médios para as condições L e T foi possível reduzir a variável de direção de extração do CP para analisar então os valores médios das espessuras. Com estes valores confirmou-se a tendência encontrada na Tabela 3.10, onde de maneira geral, quanto maior a espessura, maiores os valores da resistência à tração na flexão e do módulo de elasticidade.

3.4.3. Influência da posição dos corpos de prova

Analisando a influência da posição dos CP's em relação a aplicação de carga central no ensaio de flexão obtivemos valores de tensão resistência à tração na flexão maiores para a posição horizontal. A Tabela 3.10 ilustra esta afirmação já que os valores nas quatro últimas linhas são superiores aos valores encontrados nas quatro primeiras linhas referentes aos ensaios na horizontal (EFH) no que tange a resistência a tração na flexão.

Conforme dito no item 3.3.2, é importante salientar que os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão na posição vertical tratam de uma adaptação das prescrições da norma brasileira NBR 15.498 (ABNT, 2016) para ensaios na posição horizontal. Além disso, ocorreram esmagamentos do material na seção central do corpo de prova, com isso as leituras das flechas sofreram perturbações. Logo os resultados apresentados para estes ensaios não são conclusivos.

3.4.4. Comparação entre os Resultados da Presente Pesquisa com os Resultados das revisões bibliográficas

Ao tomarmos os valores obtidos nesta pesquisa e compilados na Tabela 3.10, apenas com relação aos CP's ensaiados na horizontal, observamos uma média geral de 12,16 MPa para todos os ensaios de flexão na posição horizontal. Este valor mostra-se aproximadamente 200% maior que o valor fornecido comercialmente pela placa cimentícia da marca Bricka (Tabela 2.7).

Ademais, quando comparados o valor das placas cimentícias desta pesquisa (resistência média à tração na flexão 12,16 MPa) e as novas placas propostas por MOURA e MATOS (2015) e por AZEVEDO (2018), a diferença de resistência a flexão é ainda maior. O incremento de resistência chega a sete vezes o valor da maior resistência determinada por MOURA e MATOS (2015) e de aproximadamente nove vezes o valor da maior resistência obtida pelas placas desenvolvidas por AZEVEDO (2018).

Os valores obtidos nos ensaios de flexão na posição vertical não foram comparados. Por se tratar de um ensaio adaptado, não foram encontrados dados de placas cimentícias ensaiadas nesta posição. Porém, observa-se que mesmo o menor valor de resistência à tração na flexão (7,87MPa) obtido nestes ensaios ainda é muito superior ao valor das pesquisas acima referenciadas.

4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO

4.1. Materiais e Métodos

Materiais cimentícios, de maneira geral, tem na resistência à compressão o seu melhor desempenho. Para comprovar tal característica da PLC, se faz necessário submetê-las a ensaios de compressão. A NBR 15.498 (ABNT, 2016) não estabelece um modelo de ensaio de compressão, portanto, fez-se necessário um ensaio adaptado com corpo de prova definido a partir da NBR 5738 (ABNT, 2003). Esta norma define as dimensões de corpo de prova prismáticos de seção transversal quadrada. A Tabela 4.1 trás um resumo dos detalhes dos CP's ensaiados.

A Figura 4.1 ilustra as dimensões dos CP's e a posição dos pontos de travamento. Foram utilizados um par de grampos para a unir as placas conforme pode ser visualizado na Figura 4.2. Nesta mesma figura é possível visualizar as lâminas de Neoprene utilizadas nas extremidades do corpo de prova para uniformizar a aplicação/distribuição de força em toda a seção das placas.

Tabela 4.1 - Quadro resumo: Ensaio de Compressão

Esp. Placa (t_p)	Formato do CP	Lado l (mm)	Dimensões (mm)	Direção da placa	Número de CP's
10 mm	Prismático com Seção transversal quadrada com lado l	(5 placas) x ($t_p = 10$)=50mm	50x50x200	Longitudinal (L)	3
		(5 placas) x ($t_p = 10$)=50mm		Transversal (T)	3
12 mm		(4 placas) x ($t_p = 12$)=48mm	48x48x200	Longitudinal (L)	3
		(4 placas) x ($t_p = 12$)=48mm		Transversal (T)	3
Total de ensaios					12

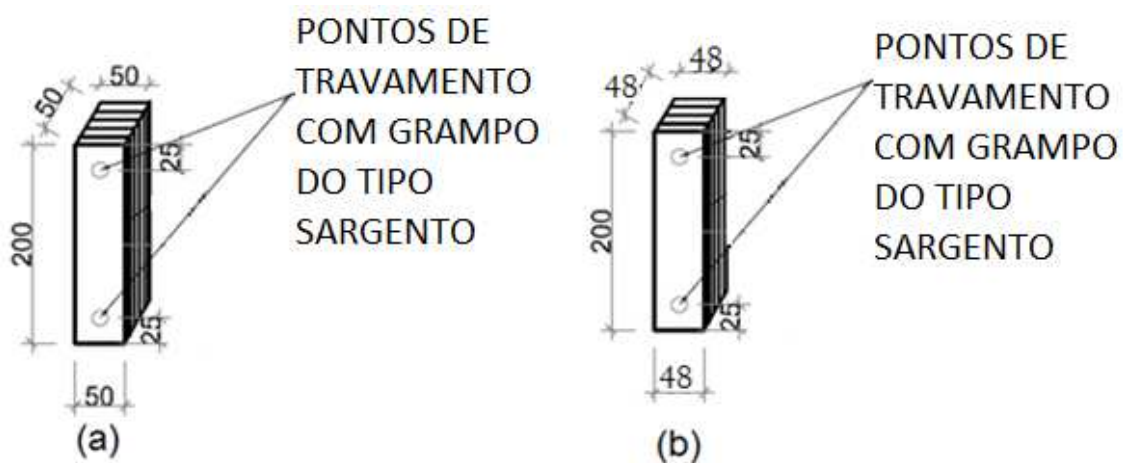


Figura 4.1 - Dimensão dos CP's submetidos ao ensaio de compressão: (a) Conjunto de placas com espessura de 10mm e (b) Conjunto de placas com espessura de 12mm.

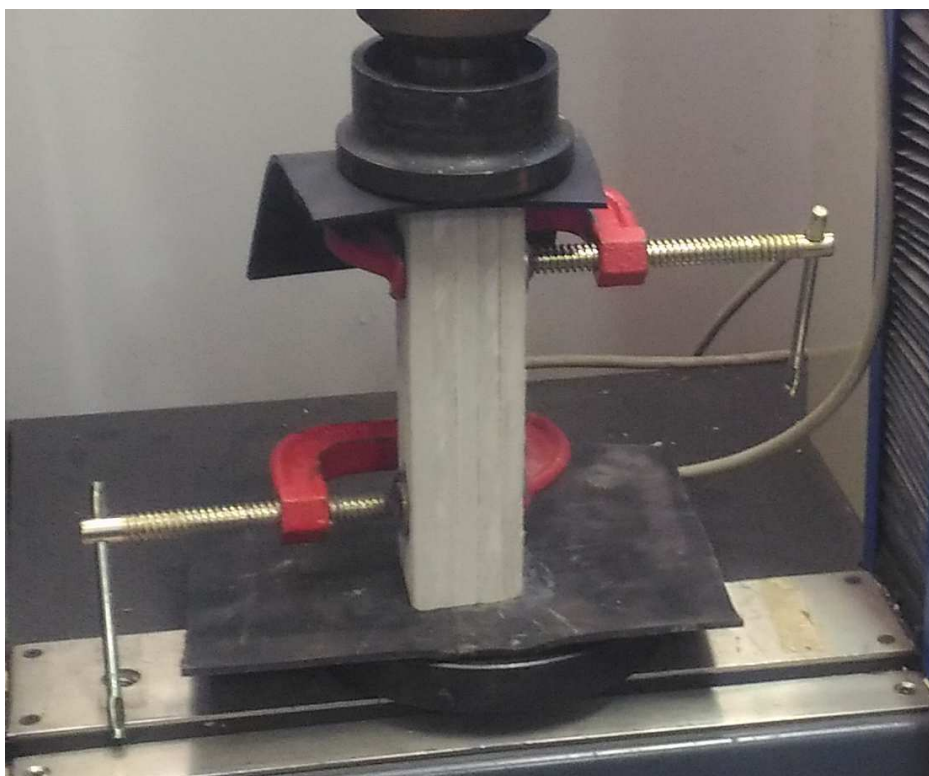


Figura 4.2 Corpo de prova montado e em posição de ensaio.

4.2. Procedimentos e Ensaio

Para executar os ensaios de compressão foi utilizada a aquisição de dados com o *software Tesc versão 3.04*, responsável pelo controle da máquina universal de ensaios: EMIC DL-3.000. A Figura 4.3 ilustra o equipamento e a montagem do ensaio.



Figura 4.3 - Montagem do ensaio de compressão com aquisição de dados.

Os corpos de prova ensaiados se comportaram de maneira uniforme. As rupturas foram marcadas por um abrupto decaimento de resistência, o que fazia com que o equipamento parasse automaticamente com o incremento de força. Todas as placas que compõem os espécimes ensaiados rompiam quase simultaneamente, não sendo possível determinar a olho nu qual placa principiou o rompimento do CP.

A Figura 4.4 apresenta dois corpos de prova após a ruptura. Observa-se que as seções do rompimento das placas de um mesmo CP foram a mesma altura. Além disso, para corpos de prova diferentes observou-se que as rupturas sempre ocorriam nas proximidades do grampo superior ou grampo inferior. Não houve distinção das rupturas nas placas com espessura de 10mm ou 12mm.

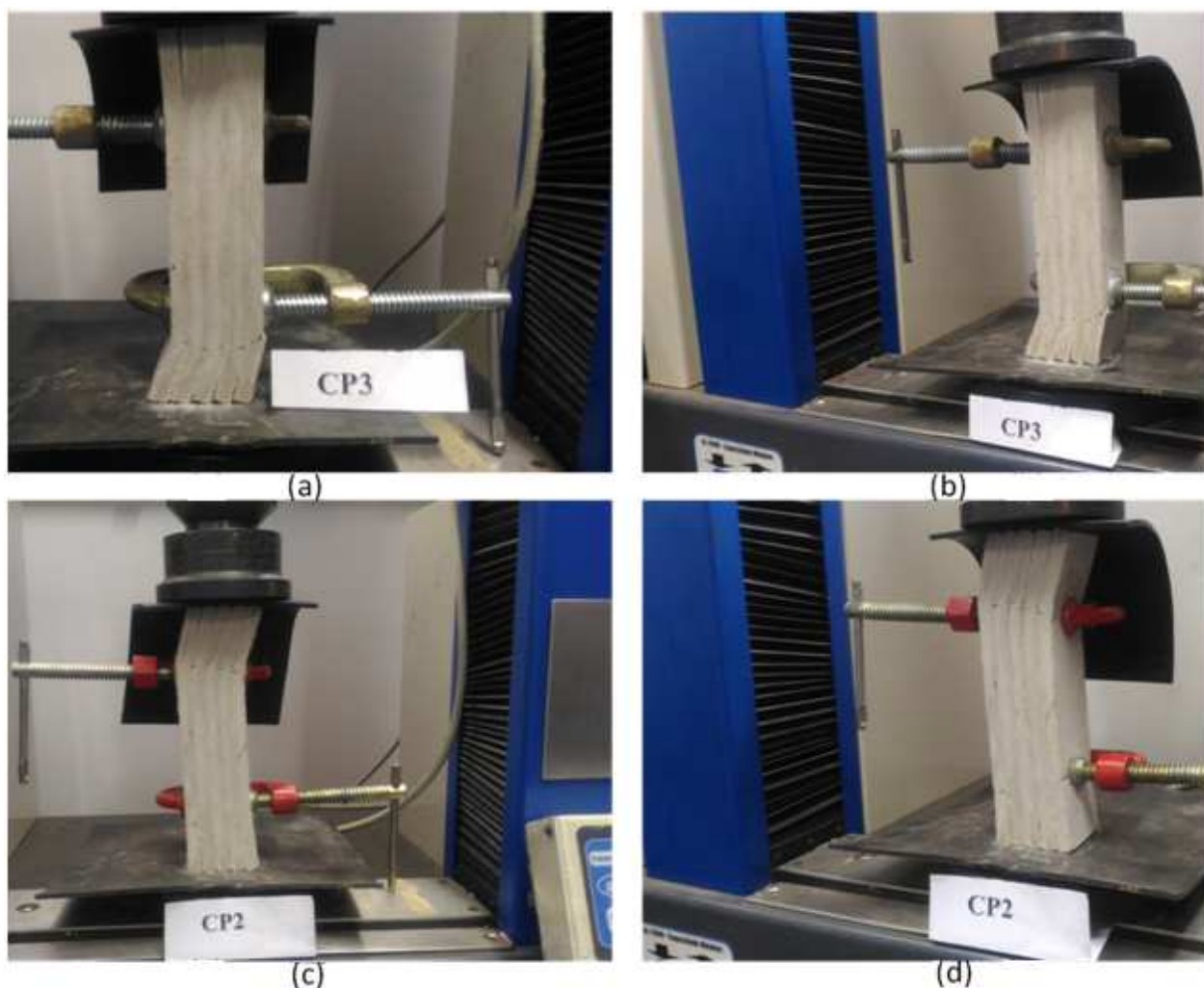


Figura 4.4 Ruptura dos corpos de prova, após ensaio. (a) e (b) Ruptura na parte inferior do CP e (c) e (d) Ruptura no terço superior do CP.

A norma brasileira da NBR 5738 (ABNT, 2003) não estabelece qual deve ser a velocidade de aplicação da força, ela apenas determina que esta velocidade seja constante. Neste sentido, a velocidade adotada foi de 0,25 MPa/s estabelecida pela NBR 7.215 (ABNT, 1996), ainda segundo ela, a resistência individual deve ser calculada em "megapascals, de cada corpo-de-prova, dividindo a carga de ruptura pela área da seção do corpo-de-prova".

Conforme realizado nos ensaios de flexão, foram determinados os valores médios de resistência à compressão e os coeficientes de variação (Cv) dos ensaios.

4.3. Resultados Obtidos

Os resultados obtidos para os ensaios de compressão foram agrupados conforme os três corpos de prova ensaiados sob os mesmos parâmetros de espessura e de direção de corte da placa cimentícia. Na Tabela 4.2 pode-se observar a força de ruptura ($F_{m\acute{a}x}$) alcançada em cada ensaio bem como as dimensões reais médias medidas em cada CP. A resistência máxima à compressão foi calculada dividindo-se a força máxima pela área real dos CP's. A coluna com X_m apresenta os valores médios da resistência máxima à compressão e a coluna com C_v apresenta o coeficiente de variação dos resultados obtidos por cada série de três corpos de prova. A última linha da tabela apresenta a média de todos os corpos de prova (independente da série) e o coeficiente de dispersão de todos dos os resultados obtidos.

Conforme os dados da tabela, observa-se que o maior valor de resistência à compressão obtida foi de 10,82 MPa no CP 3 da série 10mm, direção longitudinal. Ao passo que a menor resistência máxima à compressão foi obtida pela série com espessura de 12mm na direção transversal com 6,77 MPa.

O C_v das séries de espessura 10mm com direção longitudinal, espessura 10mm com direção transversal e espessura 12mm com direção longitudinal apresentaram baixa dispersão com C_v menor que 15%. E a série de espessura 12mm com direção transversal apresentou uma dispersão média (C_v entre 15% e 30%). O coeficiente de variação de todos os valores foi de 9,21%, ou seja, baixa dispersão.

Tabela 4.2 - Resultados obtidos nos ensaios de compressão das placas de 10mm e 12mm de espessura.

Variáveis		Dimensões reais		Fmáx (N)	Resistência máxima à compressão (MPa)	Xm	Cv (%)	
Série		CP	l1 médio					l2 médio
10mm	Direção Longitudinal	1	48,42	46,76	24.265,71	10,72	10,50	4,42%
		2	47,78	47,06	22.414,93	9,97		
		3	47,93	46,53	24.126,90	10,82		
10mm	Direção Transversal	1	48,73	47,47	23.016,43	9,95	9,55	7,31%
		2	48,92	46,46	22.625,71	9,96		
		3	49,11	46,71	20.053,48	8,74		
12mm	Direção Longitudinal	1	45,95	57,30	27.040,15	10,27	9,60	7,13%
		2	45,64	56,51	22.959,88	8,90		
		3	46,43	57,18	25.595,52	9,64		
12mm	Direção Transversal	1	45,83	56,81	25.590,38	9,83	8,03	19,87%
		2	46,12	55,72	19.272,04	7,50		
		3	46,36	57,02	17.902,81	6,77		
					Xm	9.42	9,21%	

4.4. Análise dos Resultados Obtidos

A análise da influência das variáveis nos resultados obtidos durante os ensaios foi realizada com base nas tabelas apresentadas anteriormente. Portanto, foram analisados a influência da direção de retirada dos corpos de prova (direção transversal e direção longitudinal) e a influência da espessura das placas (10mm e 12mm).

4.4.1. Análise da influência da direção do corte das placas cimentícias nas séries de espécimes (direção longitudinal e direção transversal)

Na análise feita acerca do ensaio de compressão percebeu-se que as séries com placas cimentícias com corte na direção longitudinal apresentaram em média 10% a mais de

resistência máxima à compressão em relação às placas com corte na direção transversal para as PLC com espessuras de 10mm. Em relação às PLC com espessura de 12mm a série com direção longitudinal apresentou 20% a mais de resistência máxima, conforme mostra a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Análise da influência da direção do corte das placas no ensaio de compressão.

Série	Resistência Máxima à Compressão (MPa) - Média	Cv (%)	L/T
Espessura 10mm com direção Longitudinal	10.50	4,42%	1.10
Espessura 10mm com direção Transversal	9.55	7,31%	
Espessura 12mm com direção Longitudinal	9.60	7,13%	1.20
Espessura 12mm com direção Transversal	8.03	19,87%	

4.4.2. Análise da influência da espessura das PLC

Em relação espessura das PLC's pode-se perceber que as séries com placas cimentícias de 10mm apresentaram 9% a mais de resistência máxima à compressão em relação às placas de 12mm para as séries com direção longitudinal. Ao passo que, nas séries com direção longitudinal, as placas cimentícias de 10mm apresentaram 19% a mais de resistência máxima à compressão em relação às placas de 12mm, segundo mostra a Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no ensaio de compressão.

Série	Resistência Máxima à Compressão (MPa) - Média	Cv (%)	Espessura da PLC 10/12
Espessura 10mm com direção Longitudinal	10.50	4,42%	1.09
Espessura 10mm com direção Transversal	9.60	7,13%	
Espessura 12mm com direção Longitudinal	9.55	7,31%	1.19
Espessura 12mm com direção Transversal	8.03	19,87%	

4.4.3. Análise comparativa entre os resultados dos ensaios de flexão e os ensaios de compressão

Conforme as características de materiais cimentícios, esperava-se que a resistência a compressão fosse superior à resistência a tração na flexão. Para comprovar tal característica da PLC, se faz necessário submetê-las a ensaios de compressão. Entretanto, os resultados obtidos não foram condizentes com o esperado. Os ensaios de resistência à tração na flexão na posição horizontal obtiveram um valor médio de 12,16 MPa, ao passo que o valor médio de resistência à compressão obtido foi de 9,42 MPa.

Conforme destaca AZEVEDO (2018), o ensaio normatizado e mais apropriado para determinação da resistência a compressão é o ensaio tecnológico de argamassa em estado endurecido. A produção do traço não fez parte do escopo desta pesquisa. Portanto, o referido ensaio de corpos de prova moldados durante a fabricação das placas cimentícias não foi possível. O ensaio de resistência à compressão realizado no item 4 foi um ensaio adaptado com quatro ou cinco placas unidas por grampos tipo sargento.

Segundo SILVA et al.(2014), ao fazer uma avaliação da influência na regularização da base com retifica, Neoprene, ou enxofre. Estes dois últimos apresentaram melhores resultados. Todavia, mesmo utilizando as lâminas de Neoprene para a regularização da base dos CPs, estes ainda apresentavam uma irregularidade visível a olho nu. Tal fator se deve ao processo artesanal de corte das chapas que foi feito com esmerilhadeira e posteriormente lixada manualmente. Portanto, o que pode justificar a baixa resistência máxima de compressão encontrada no referido ensaio é a falta de paralelismo entre as bases dos corpos de prova e entre o equipamento de compressão e os CP's.

Ademais, por se tratarem de ensaios de resistência à compressão com corpos de prova construídos de forma adaptada em relação as prescrições da norma brasileira NBR 5738 (ABNT, 2003) e com interferência na aplicação de força, os resultados apresentados para estes ensaios não são conclusivos e a técnica de ensaio utilizada foi considerada não adequada para encontrar a resistência máxima à compressão das placas.

5. ENSAIOS DE DESLIZAMENTO

5.1. Materiais e Métodos

Para o ensaio das ligações entre as placas de revestimento e os perfis de aço galvanizado foi utilizado o ensaio de deslizamento. Este ensaio é uma adaptação dos ensaios do tipo *Standard Push Test*, preconizado pelo Eurocode 4 (EN 1994-1-1, 2004). Foram projetados três modelos distintos, conforme Figura 5.2 a Figura 5.7. As variáveis de cada modelo ensaiado foram:

- Espessura dos perfis de aço: 0,80 mm e 0,95 mm;
- Espessura das placas cimentícias: 10 mm e 12 mm;
- Direção de retirada da amostra da placa: L (Longitudinal) e T (Transversal);
- Espaçamento dos parafusos (com aletas laterais): 150 mm e 300 mm;

Para cada modelo e para cada conjunto de variáveis iguais entre si foram fabricados três espécimes, também iguais entre si.

Os espécimes foram fabricados com parafusos autobrochantes aço-aço da marca Bullfor especificação cabeça Oval #10-16x3/4", ponta 3 e parafusos autobrochantes com aletas laterais (ligação aço-placa) especificação 4,2x32 da marca Ciser conforme Figura 5.1. O aço utilizado para a fabricação dos perfis produzido pela Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) foi ZAR 280 com revestimento de zinco de 275 g/m² (Z275) para a espessura de 0,95mm de espessura e aço ZC, com revestimento de zinco de 110 g/m² (Z100) para a espessura de 0,80 mm de espessura. A seção utilizada em ambos os casos foi U enrijecido (Ue) com especificação: Ue 140 x 40 x 10 mm.

Foram utilizadas placas Suberboard fabricadas pela Etex Brasil com 10mm e 12mm de espessura. Os materiais empregados são cimento Portland, Sílica e Fibra de celulose. A chapa é feita em camadas de 1mm de espessura na mesa de formação.



Figura 5.1- Parafusos autobrocantes: (a) Ligação aço-aço e (b) Ligação Placa cimentícia-aço.

As séries de espécimes ensaios foram nomeadas de acordo com alguns parâmetros, sendo eles: a espessura nominal da chapa de aço e da PLC; direção da extração do espécime na placa original (L, Longitudinal e T, Transversal); espaçamento entre os eixos dos parafusos. Para cada série foram fabricados três espécimes idênticos. Os números dos espécimes de cada série variam de 1 a 3 (E1 a E3). Portanto tem-se:

Série: M(1 a 3) (0,80 ou 0,95) C(10 ou 12) (L ou T) (150 ou 300) - E(1 a 3)

Lê-se: Modelo 1, 2 ou 3, espessura do perfil de aço igual a 0,80 ou 0,95mm, placa cimentícia de 10 ou 12mm de espessura, direção de extração do espécime Longitudinal ou Transversal, espaçamento axial entre parafusos 150 ou 300mm – Espécime 1, 2 ou 3.

No total foram fabricados 48 espécimes de cada modelo, totalizando 144 espécimes. Na Tabela 5.1 pode-se observar a nomenclatura das 16 séries.

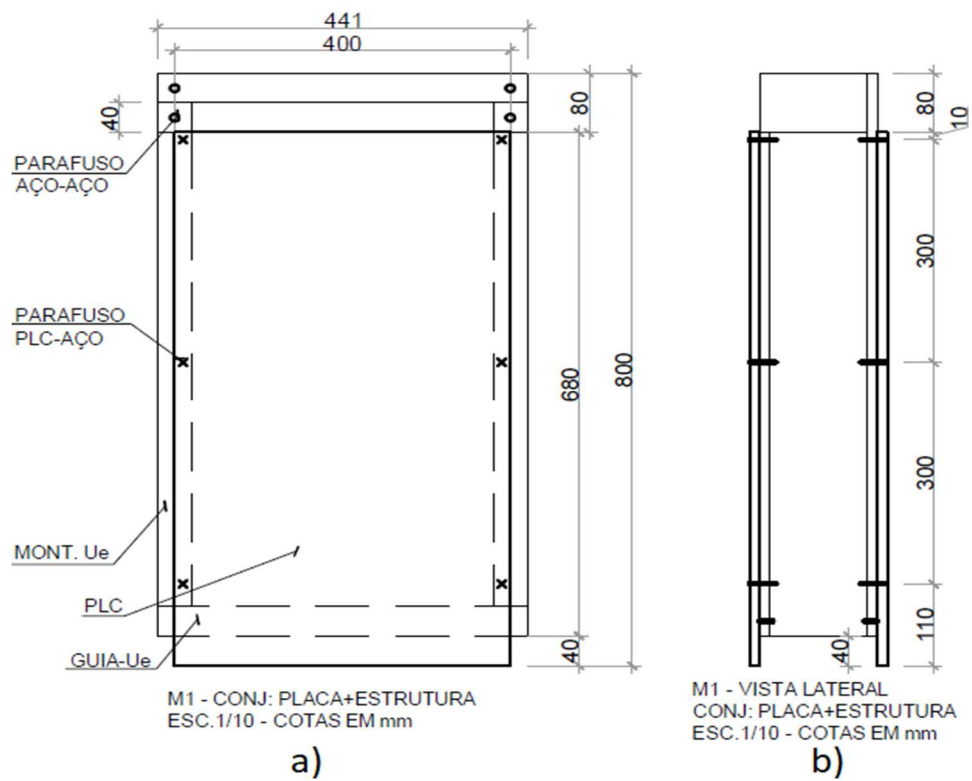


Figura 5.2 - Modelo de ensaio M1: a) vista frontal e b) vista lateral.



Figura 5.3 - Modelo M1 pronto para ensaio.

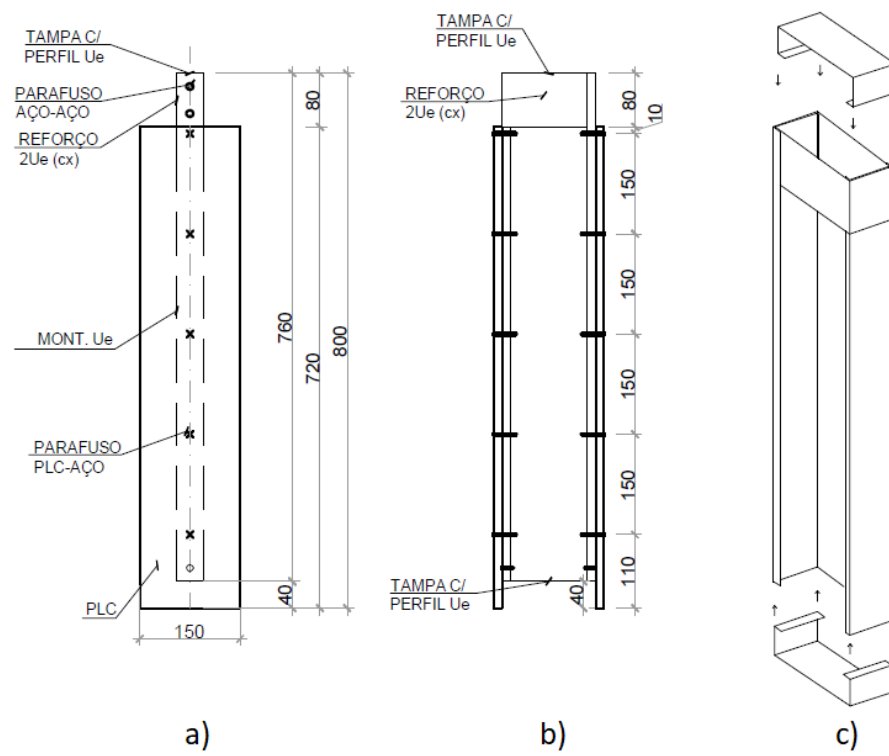


Figura 5.4 - Modelo de ensaio M2: a) vista frontal e b) vista lateral.



Figura 5.5 - Modelo M2 pronto para ensaio.

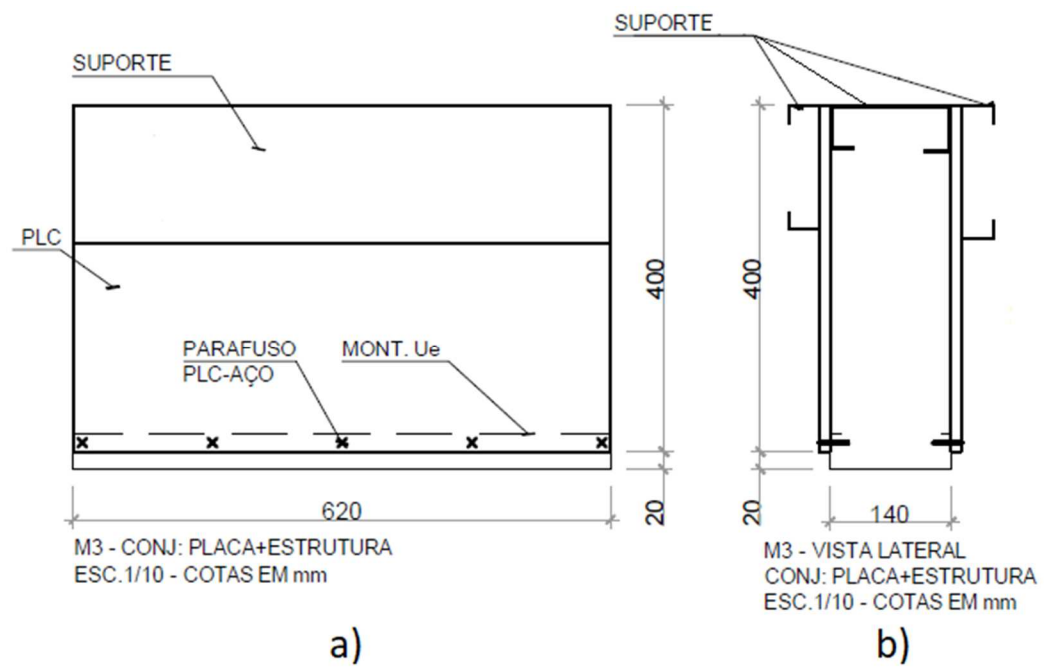


Figura 5.6 - Modelo de ensaio M3: a) vista frontal e b) vista lateral.



Figura 5.7 - Modelo M3 instalado no suporte de ensaio.

Tabela 5.1 - Configuração dos ensaios das ligações para cada modelo

Característica	Espessura Chapa Aço		Espessura PLC		Direção da Amostra		Espaçamento Parafusos	
Série	0,80mm	0,95mm	10mm	12mm	Long.	Trans.	150mm	300mm
M(1, 2 ou 3) 0,80 C10 L150	x		x		x		x	
M(1, 2 ou 3) 0,80 C12 L150	x			x	x		x	
M(1, 2 ou 3) 0,80 C10 T150	x		x			x	x	
M(1, 2 ou 3) 0,80 C12 T150	x			x		x	x	
M(1, 2 ou 3) 0,80 C10 L300	x		x		x			x
M(1, 2 ou 3) 0,80 C10 L300	x			x	x			x
M(1, 2 ou 3) 0,80 C10 T300	x		x			x		x
M(1, 2 ou 3) 0,80 C12 T300	x			x		x		x
M(1, 2 ou 3) 0,95 C10 L150		x	x		x		x	
M(1, 2 ou 3) 0,95 C12 L150		x		x	x		x	
M(1, 2 ou 3) 0,95 C10 T150		x	x			x	x	
M(1, 2 ou 3) 0,95 C12 T150		x		x		x	x	
M(1, 2 ou 3) 0,95 C10 L300		x	x		x			x
M(1, 2 ou 3) 0,95 C12 L300		x		x	x			x
M(1, 2 ou 3) 0,95 C10 T300		x	x			x		x
M(1, 2 ou 3) 0,95 C12 T300		x		x		x		x

A fabricação dos espécimes foi feita na fábrica da empresa Flasan, em Oliveira - MG. Os espécimes foram transportados para Belo Horizonte - MG onde foram realizados os ensaios no Laboratório de Análise Experimental de Estruturas – LAEES, da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG.

5.2. Procedimentos e Ensaios

Para executar os ensaios de deslizamento foi utilizado o sistema de aquisição de dados Lynx, um anel dinamométrico (marca CONTENCO modelo I-1068-N com capacidade de 50.000 kgf), uma bomba hidráulica manual (marca TORVEL, dupla ação, modelo PT-464) com um transdutor de pressão (DP) da marca TRANSTEC com capacidade de 700 bar acoplados à bomba hidráulica e dois ou quatro transdutores de deslocamento – *Displacement Transducer* (DT-100A, marca KYOWA com curso de 100 mm e precisão de 0,005 mm). Foi utilizado um pórtico de reação com um cilindro hidráulico de dupla ação, da ENERPAC, modelo RR-506, capacidade de 50 toneladas, onde foi instalado o anel dinamométrico (ver Figura 5.8).

Foram usados o DT02 com número de série FF2790017, o DT03 com número de série FK2830002, o DT04 com número de série FK2830001 e o DT02 com número de série

FF2790018. Estes mediram o deslocamento vertical relativo entre o reticulado metálico e as placas cimentícias. Os deslocamentos devem todos eles serem entendidos como deslocamentos relativos entre as placas e os perfis de aço, doravante denominados “deslocamentos”.

Os ensaios foram executados em etapas de incremento de carregamento, em intervalos regulares. Cada etapa de aplicação de força era precedida de um intervalo de um minuto para a estabilização do sistema. Novos incrementos eram impostos até a ruptura das ligações do espécime. O ensaio foi monitorado durante toda a sua duração, observando principalmente a movimentação dos parafusos e o comportamento das ligações até atingirem a ruptura da placa ou o colapso do parafuso.

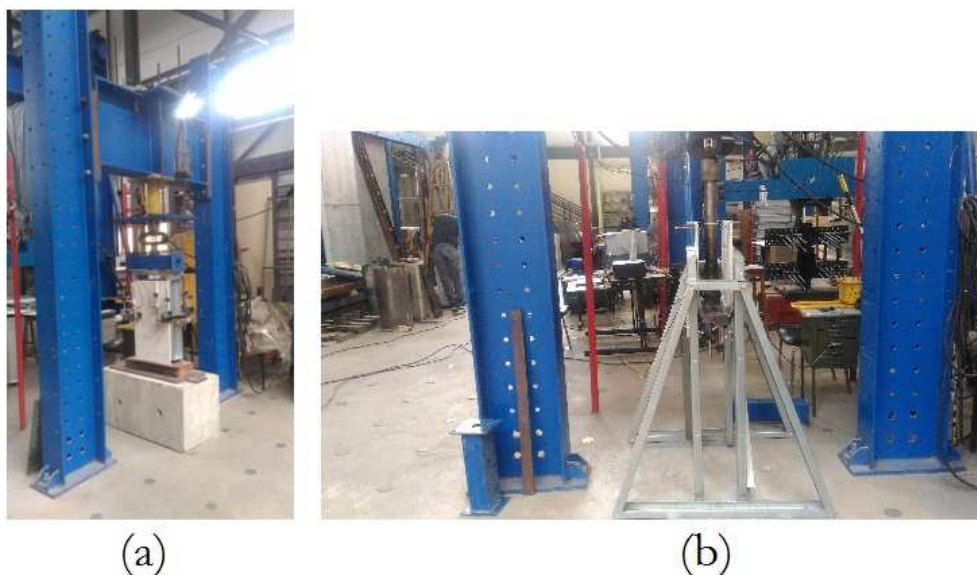


Figura 5.8 - Configuração geral dos ensaios: (a) Modelo M1 e M2 e (b) Modelo M3.

Os modos de ruptura obtidos nos ensaios foram do tipo *pull-over* (placa cimentícia é arrancada do parafuso de ligação), rasgamento da placa e esmagamento local da placa cimentícia. Todos estes modos de ruptura foram precedidos pela rotação dos parafusos conforme ilustra a Figura 5.12. Observa-se ainda, nesta figura, que os parafusos das ligações aço-aço não sofreram qualquer tipo de dano ou rotação. Os ensaios procederam-se de forma suave. Apenas pequenos ruídos podiam ser ouvidos quando do esmagamento local das placas cimentícias.

Distinguindo estes modos de ruptura por modelo ensaiado pode-se dizer que: o *pull-over* ocorreu nos modelos M1, conforme Figura 5.9; o rasgamento da placa cimentícia ocorreu em todos os ensaios do modelo M3 (ver Figura 5.11) e em alguns parafusos das ligações superiores do modelo M1 (ver Figura 5.9); o esmagamento local da PLC ocorreu nos ensaios do modelo M2 como pode ser observado na Figura 5.10.



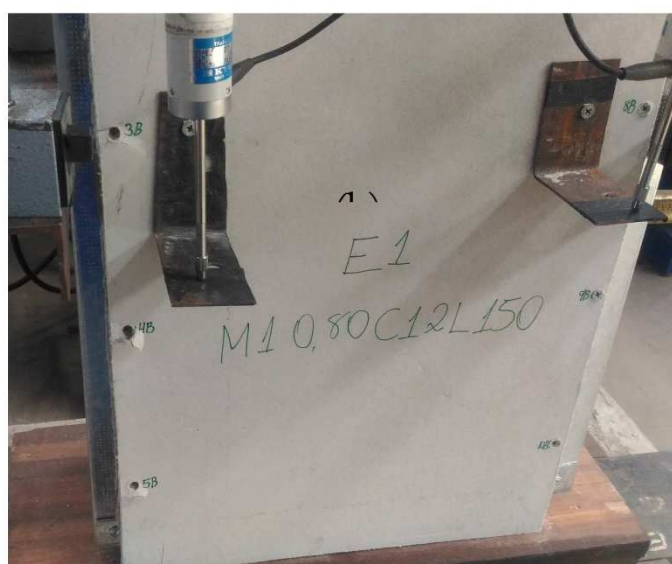
(a)



(b)



(c)



(d)

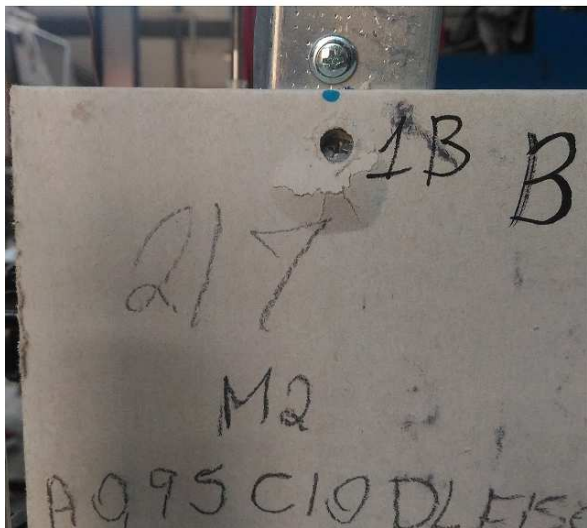
Figura 5.9 - Ensaio do Modelo M1: (a) Antes do ensaio (b) Depois do ensaio; (c) Detalhe da ruptura por rasgamento da placa na ligação 1B e *Pull-over* para na ligação em 2B; (d) Detalhe da ruptura por *Pull-over* na ligação 3B, 4B e 5B.



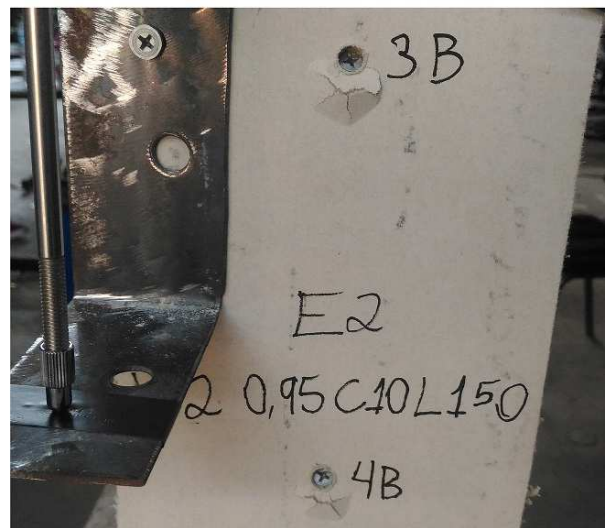
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.10 - Ensaio do Modelo M2: (a) Antes do ensaio (b) Depois do ensaio; (c) Detalhe da ruptura por esmagamento da PLC na ligação 1B; (d) Detalhe da ruptura por esmagamento da PLC na ligação 3B e 4B.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5.11- Ensaio do Modelo M3: (a) Antes do ensaio (b) Depois do ensaio; (c) Detalhe da ruptura por rasgamento da PLC na ligação 1B e 2B; (d) Detalhe da ruptura por rasgamento da PLC na ligação 3B e 4B.



Figura 5.12 - Detalhe da rotação dos parafusos durante e após ensaio.

5.2.1. Tratamento de dados

Segundo a norma do *American Iron and Steel Institute* (AISI) S213-07/S1-09: 2012 com os gráficos de força versus deslocamento obtidos nos ensaios pode-se determinar graficamente os parâmetros de rigidez elástica (k_e), energia dissipada (A) e ductilidade (μ). O princípio é o de que a energia dissipada durante o ensaio monotômico do espécime é equivalente à energia dissipada pela curva bilinear, cuja inclinação da primeira linha representa a rigidez da ligação (comportamento elástico) e a segunda linha representa o patamar de escoamento (comportamento plástico) até a ruptura.

A rigidez será obtida com base no gráfico e com a Equação 3.6. A energia dissipada é obtida pelo cálculo da área do gráfico obtido no ensaio. O patamar de Energia Equivalente Elasto-Plástica (EEEP) é obtida através da Equação 5.1. A Figura 5.13 ilustra o gráfico com a EEEP e a Figura 5.14 exemplifica a curva teórica a partir de uma curva real de ensaio realizado com o espécime “M1 0,95 C12 T150–E2”. Onde P_e é o ponto com 40% de $P_{máx}$, é também o

ponto de intercessão da curva do gráfico e da curva teórica. P_y é a força equivalente ao patamar de escoamento.

Por fim, a ductilidade é obtida através do gráfico EEEP e da Equação 2.3.

$$A1=A2$$

Equação 5.1

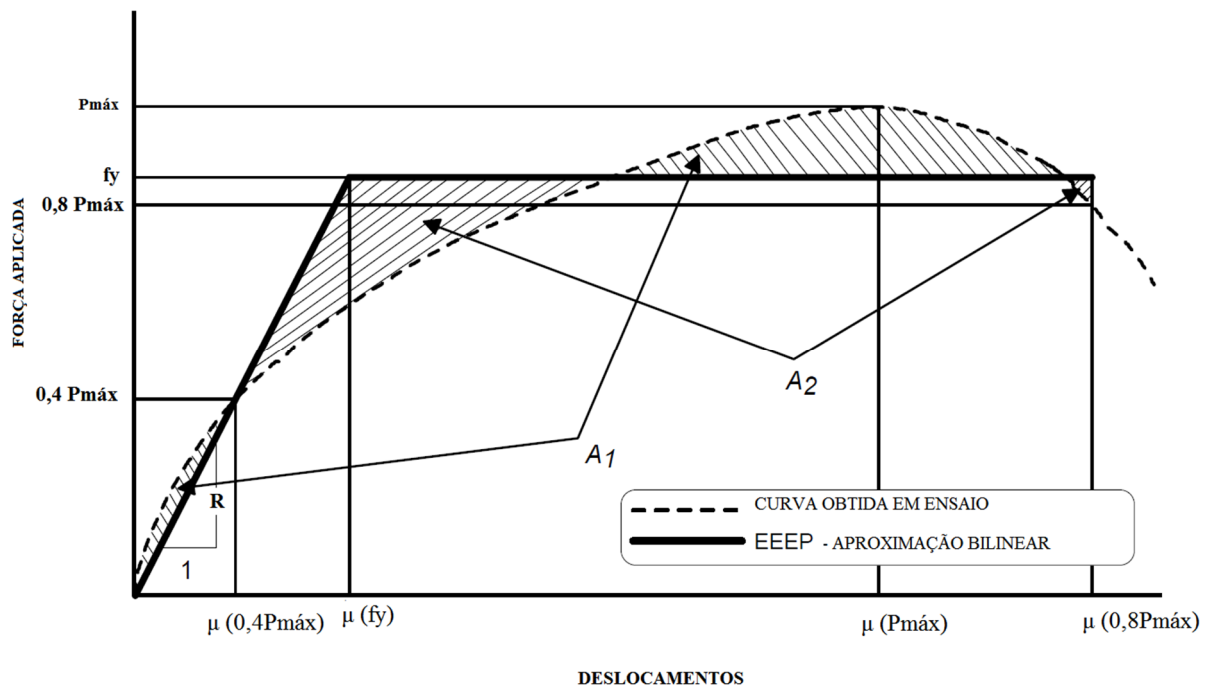


Figura 5.13 - Gráfico com a aproximação bilinear de EEEP. (Fonte: AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, 2012 - Traduzido)

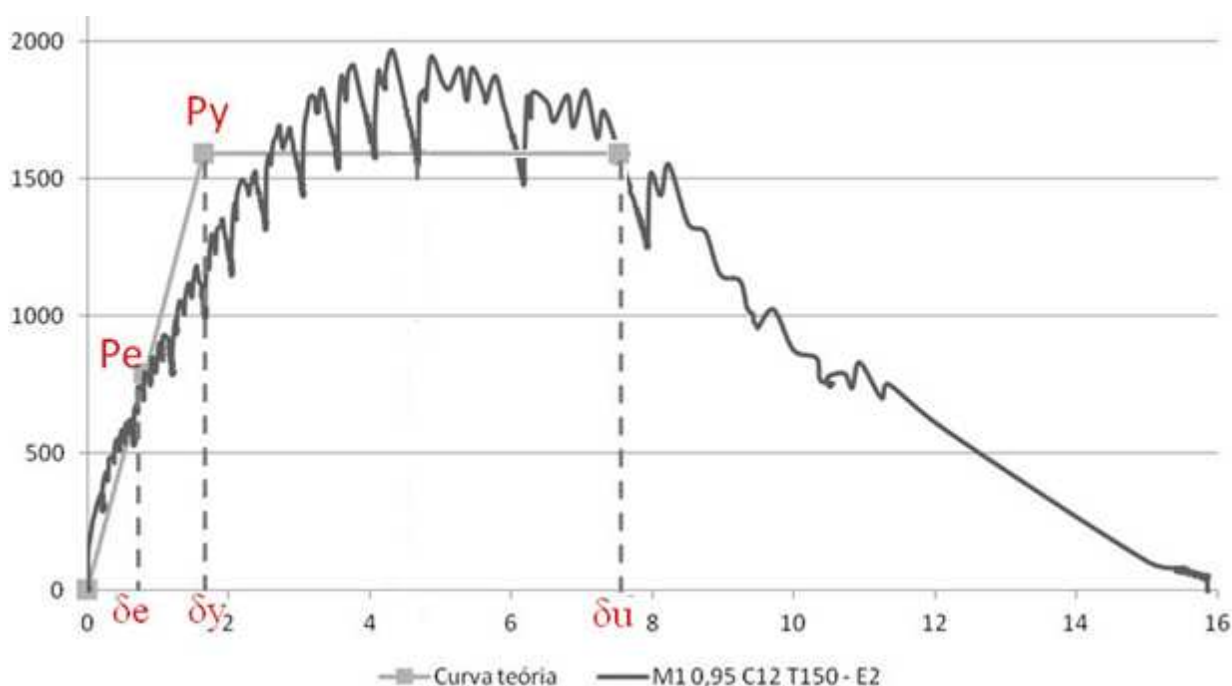


Figura 5.14 - Exemplo de gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 T150–E2” e curva teórica (EEEEP)

5.3. Apresentação dos Resultados Obtidos

Os resultados obtidos para os ensaios de deslizamento foram agrupados conforme cada série com três espécimes ensaiados iguais entre si, isto é sob os mesmos parâmetros e características. Tais como: mesmo modelo, mesma espessura de aço, mesma espessura de PLC e mesmo espaçamento entre os parafusos. Em uma mesma tabela e gráfico de força *versus* deslocamento foram agrupados os espécimes com diferentes direções de cortes (longitudinal e transversal). A força considerada no gráfico foi a máxima atingida por cada parafuso em cada espécime. Portanto, são apresentados a seguir, para cada modelo oito gráficos e oito tabelas, com os resultados de seis ensaios cada um, totalizando os 144 ensaios de deslizamento realizados.

Adicionalmente, no apêndice A encontram-se compilados todos os gráficos individualizados (um gráfico por espécime) gerados a partir dos ensaios de deslizamento. Nos gráficos do apêndice tem-se três curvas: a curva gerada a partir dos dados fornecidos pelo software de aquisição de dados com o nome do espécime, curva teórica com aproximação bilinear calculada por meio dos conceitos apresentados no item 5.2.1 desta pesquisa nomeada curva

teórica e uma terceira curva, a curva suavizada, gerada a partir de uma tabela programada para redução dos pontos e suavização do gráfico.

Ademais, no apêndice apresentam-se tabelas com os valores de rigidez (k_e), de energia dissipada (A) e de ductilidade (μ) encontrados por meio das curvas suavizadas. Além disso, para cada série são apresentados os valores médios (X_m) e os coeficientes de variação de cada parâmetro.

5.3.1. Modelo M1

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com os 48 espécimes do modelo M1 ensaiados conforme Tabela 5.2 a Tabela 5.9 e Figura 5.15 a Figura 5.22.

A Tabela 5.2 mostra os resultados obtidos para os espécimes nomeados de “M1 0,80 C10 (T e L) 150”. A Figura 5.15 traz os gráficos força (por parafuso) deslocamento médio das séries nomeadas como “M1 0,80 C10 (T e L) 150”. Nesses gráficos os espécimes com corte de placa longitudinal e aqueles com corte na transversal apresentam comportamentos similares. Observa-se ainda trechos com oscilações ao longo de todo ensaio, com aumento de força e posterior diminuição de força para novamente aumentar a força até atingir o pico e na sequência decaimento de força, com aumento crescente dos deslocamentos. Cada uma destas oscilações representam uma fase de carregamento e posterior decaimento de força com a espera de um minuto entre etapas de carregamento.

Conforme os valores da Tabela 5.2, o espécime “M1 0,80 C10 T150 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 1.692,21N e o “M1 0,80 C10 L150 – E2” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 1.663,94N. Ainda na Tabela 5.2 o valor médio da força máxima por parafuso ($P_{\text{máx por Paraf.}}$) é igual a 1.570,64N para os espécimes com corte longitudinal e 1.616,82N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de aproximadamente 2,9% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme a força máximas por parafuso de ambos os espécimes.

Tabela 5.2 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M1 0,80 C10 L150 - E1	1.580,53
M1 0,80 C10 L150 - E2	1.663,94
M1 0,80 C10 L150 - E3	1.467,43
X_m	1.570,64
C_v (%)	6,28%
M1 0,80 C10 T150 - E1	1.516,91
M1 0,80 C10 T150 - E2	1.692,21
M1 0,80 C10 T150 - E3	1.641,32
X_m	1.616,82
C_v (%)	5,58%

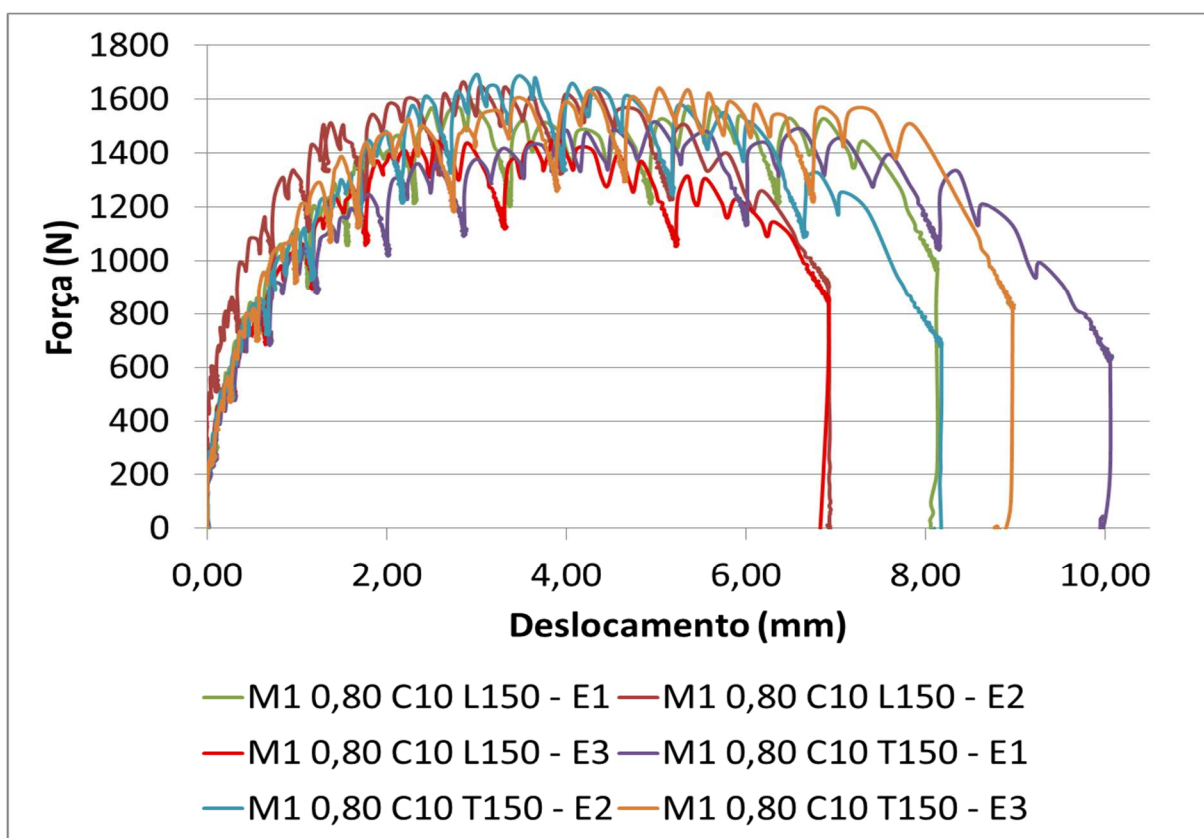


Figura 5.15 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 150”.

A Tabela 5.3 mostra os resultados obtidos para os espécimes nomeados de “M1 0,80 C10 (T e L) 300”. A Figura 5.16 traz o gráfico força (por parafuso) deslocamento médio dos destes

mesmos espécimes. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento também fica evidente no gráfico em questão.

Conforme os valores da Tabela 5.3, o espécime “M1 0,80 C10 T300 – E3” atingiu a maior força máxima por parafuso com 1,720,02N e o “M1 0,80 C10 L300 – E2” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 1.691,74N. Ainda na Tabela 5.3 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 1.657,19 N para os espécimes com corte longitudinal e de 1.642,26 N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 0,9% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme a força máxima por parafuso.

Tabela 5.3 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx por Paraf. (N)}}$
M1 0,80 C10 L300 - E1	1.649,33
M1 0,80 C10 L300 - E2	1.691,74
M1 0,80 C10 L300 - E3	1.630,48
$\bar{X}_m$	1.657,19
C_v (%)	1,89%
M1 0,80 C10 T300 - E1	1.649,33
M1 0,80 C10 T300 - E2	1.557,44
M1 0,80 C10 T300 - E3	1.720,02
$\bar{X}_m$	1.642,26
C_v (%)	4,96%

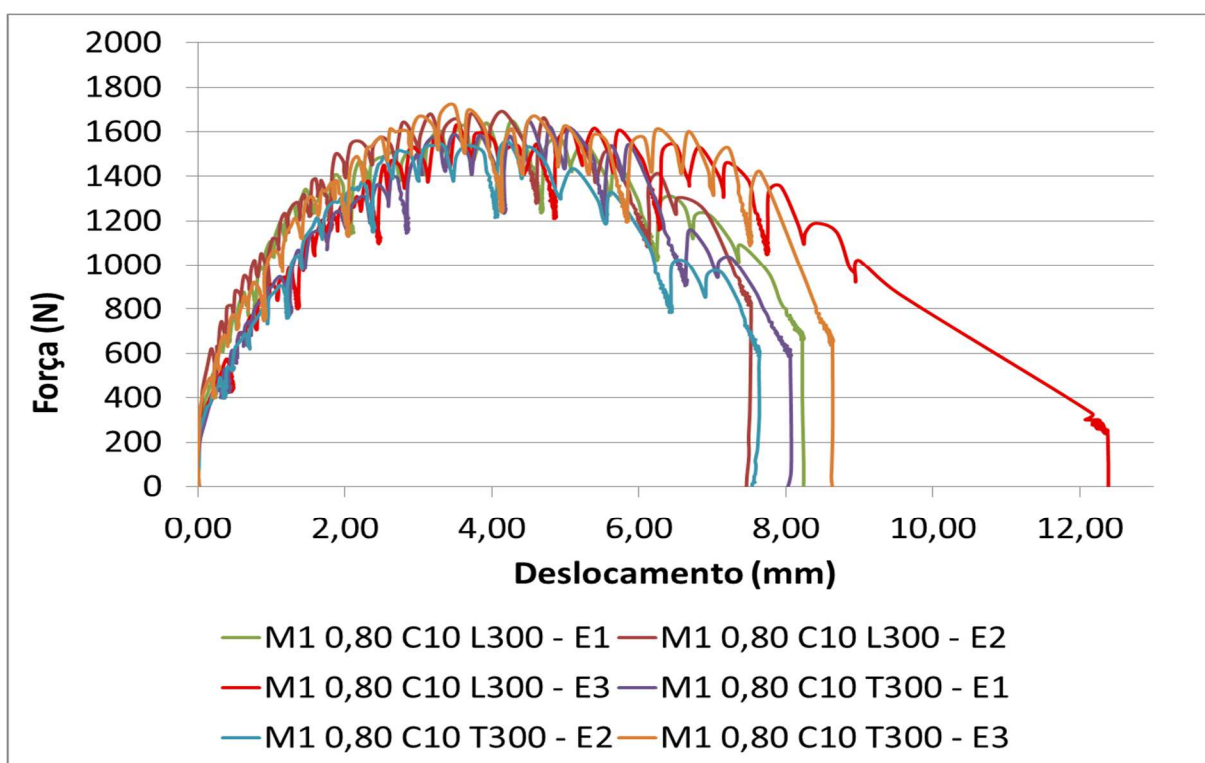


Figura 5.16 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C10 (T e L) 300”.

A Tabela 5.4 mostra os resultados obtidos para as séries nomeadas de “M1 0,80 C12 (T e L) 150”. A Figura 5.17 traz o gráfico força (por parafuso) deslocamento médio dos destes mesmos espécimes. Conforme observado nos gráficos anteriores, nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares. E conforme visto anteriormente, as etapas de incremento de cargas ficam evidentes nos gráficos.

Conforme os valores da Tabela 5.4, o espécime “M1 0,80 C12 T150 – E2” atingiu a maior força por parafuso com 1.987,68N e o “M1 0,80 C12 L150 – E2” atingiu o segundo pico máximo por ensaios com 1.943,86N. Ainda na Tabela 5.4 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 1.857,62N para os espécimes com corte longitudinal e de 1.820,39N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 2,0% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme a força máxima por parafuso.

Tabela 5.4 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M1 0,80 C12 L150 - E1	1.883,07
M1 0,80 C12 L150 - E2	1.943,86
M1 0,80 C12 L150 - E3	1.745,94
X_m	1.857,62
C_v (%)	5,46%
M1 0,80 C12 T150 - E1	1.678,08
M1 0,80 C12 T150 - E2	1.987,68
M1 0,80 C12 T150 - E3	1.795,42
X_m	1.820,39
C_v (%)	8,59%

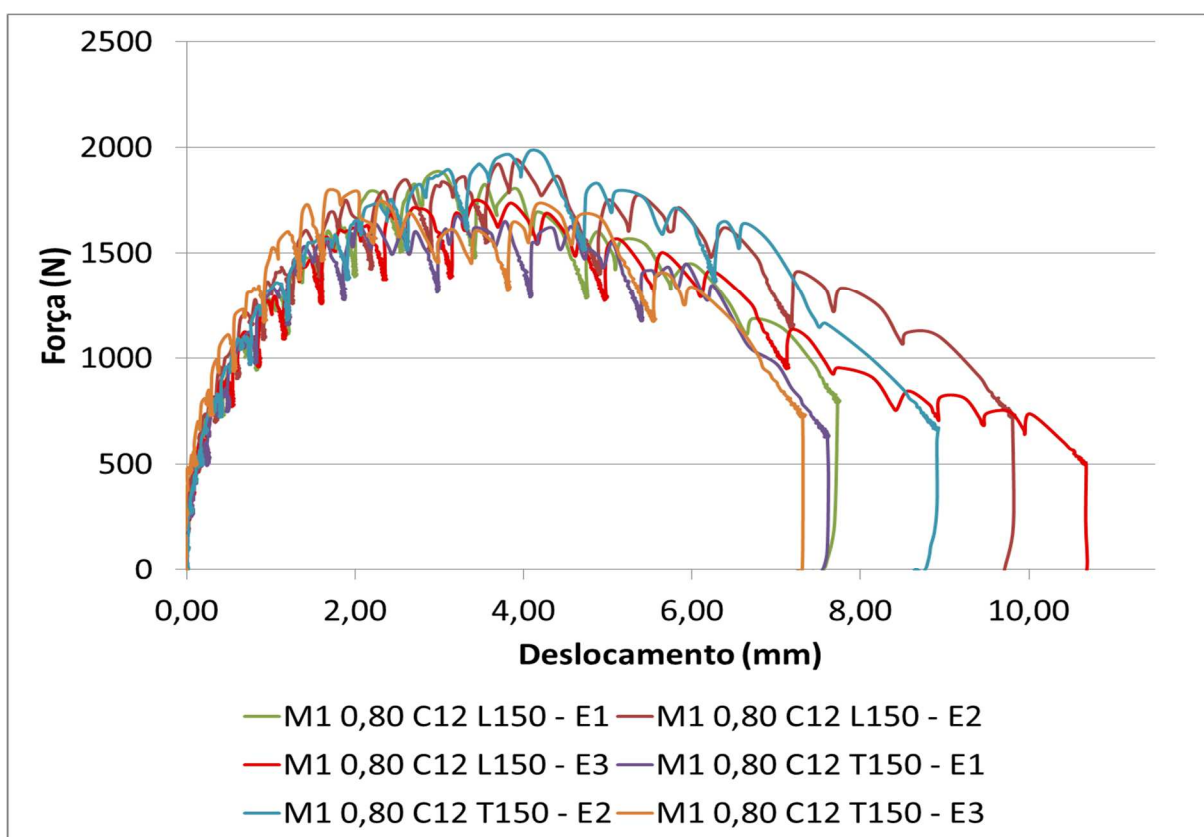


Figura 5.17- Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.

Conforme os valores da Tabela 5.5, o espécime “M1 0,80 C12 T300 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.129,99N e o “M1 0,95 C12 L300 – E1” atingiu o segundo pico máximo por ensaios com 2.066,38N. Ainda na Tabela 5.5 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso (P_{máx} Parafuso) foi de 1.941,50N para os espécimes com

corte longitudinal e de 1.908,51N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 1,7% (v diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de Cv menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme a força máxima por parafuso.

Tabela 5.5 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M1 0,80 C12 L300 - E1	2.066,38
M1 0,80 C12 L300 - E2	1.854,32
M1 0,80 C12 L300 - E3	1.903,80
X_m	1.941,50
C_v (%)	5,71%
M1 0,80 C12 T300 - E1	1.755,36
M1 0,80 C12 T300 - E2	2.129,99
M1 0,80 C12 T300 - E3	1.840,18
X_m	1.908,51
C_v (%)	10,29%

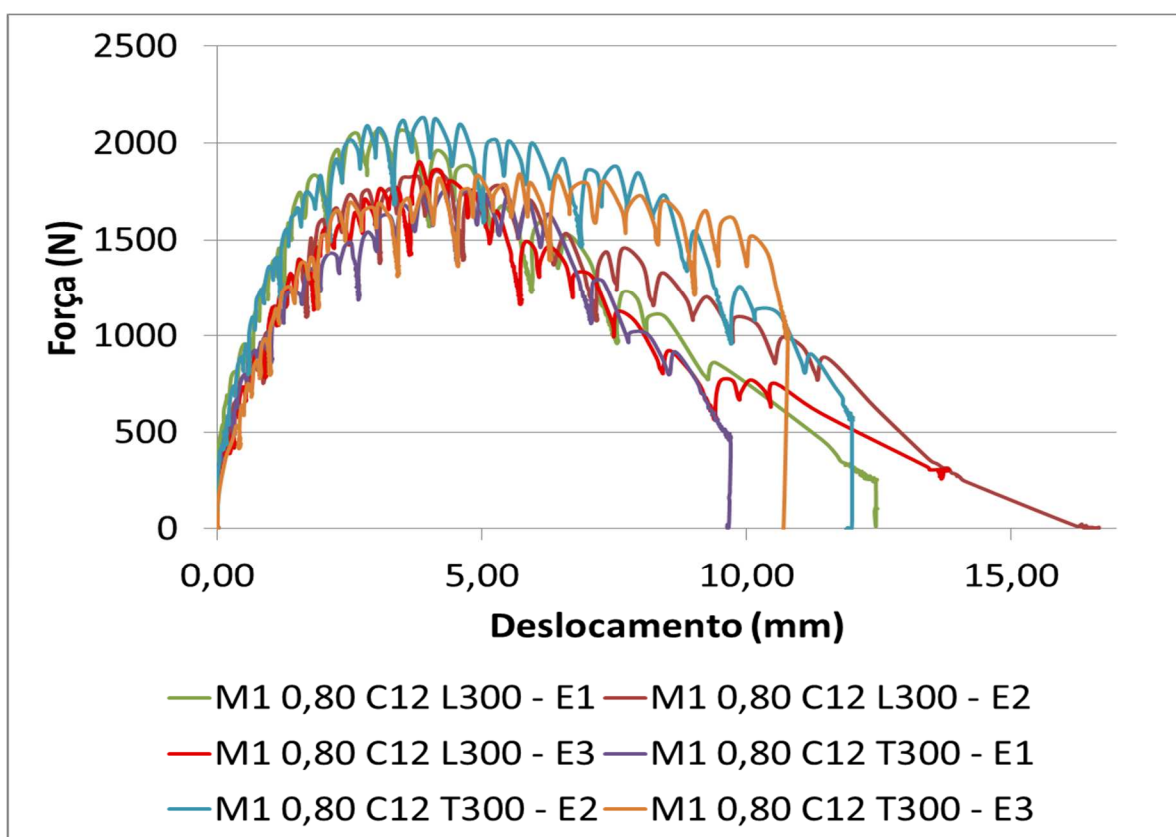


Figura 5.18- Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,80 C12 (T e L) 150”.

A Tabela 5.6 mostra os resultados obtidos pela série de espécimes nomeados de “M1 0,95 C10 (T e L) 150”. A Figura 5.19 traz o gráfico força (por parafuso) versus deslocamento médio dos destes mesmos espécimes. Conforme observado nos gráficos anteriores, nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares. E conforme visto anteriormente, as etapas de incremento de cargas ficam evidentes nos gráficos.

Conforme os valores da Tabela 5.6, o espécime “M1 0,95 C10 L150 – E1” atingiu a maior força máxima por parafuso com 1.891,55N e o “M1 0,95 C10 L150 – E3” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 1.857,62N. Ainda na Tabela 5.6 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 1.828,40N para os espécimes com corte longitudinal e de 1.711,54N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 6,4% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que

15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.6 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M1 0,95 C10 L150 - E1	1.891,55
M1 0,95 C10 L150 - E2	1.736,04
M1 0,95 C10 L150 - E3	1.857,62
X_m	1.828,40
C_v (%)	4,47%
M1 0,95 C10 L150 - E1	1.671,01
M1 0,95 C10 L150 - E2	1.734,63
M1 0,95 C10 L150 - E3	1.728,97
X_m	1.711,54
C_v (%)	2,06%

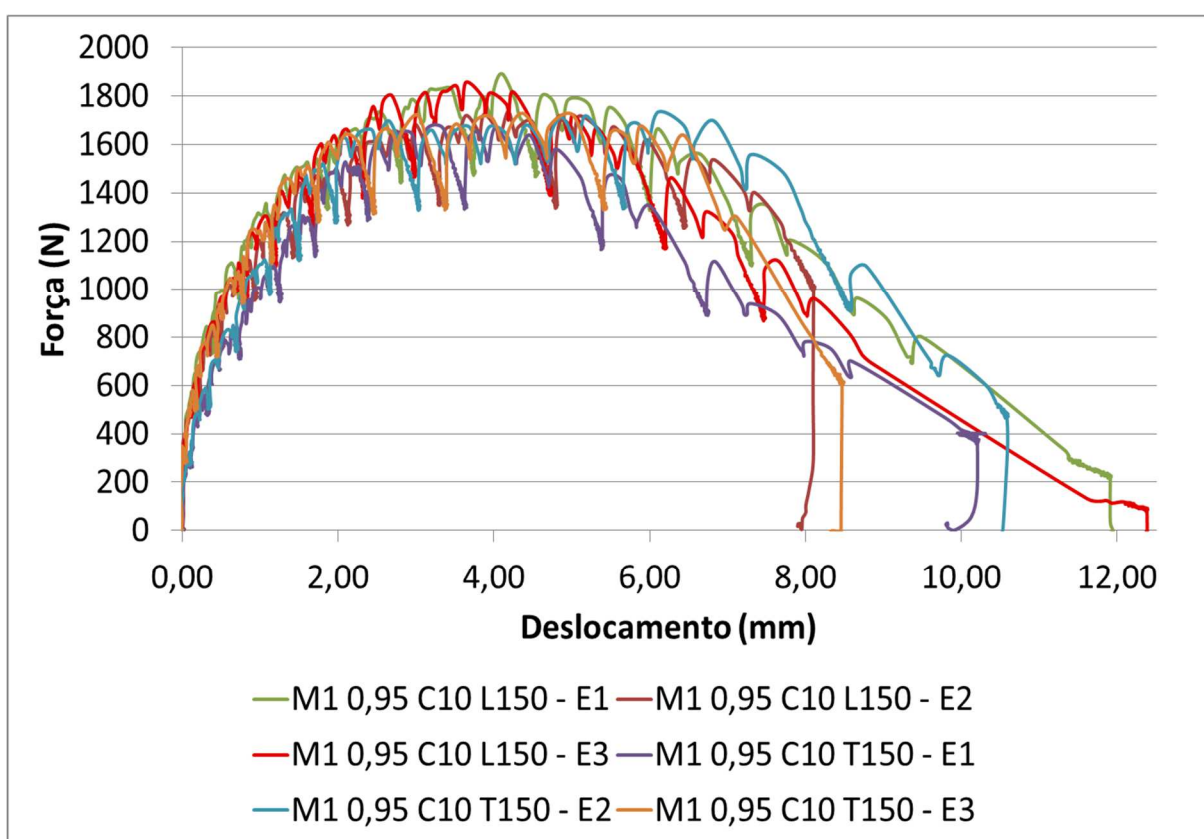


Figura 5.19 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 150”.

A Tabela 5.7 mostra os resultados obtidos para as séries dos espécimes nomeados de “M1 0,95 C10 (T e L) 300”. A Figura 5.20 traz o gráfico força (por parafuso) deslocamento médio dos destes mesmos espécimes. Conforme observado nos gráficos anteriores, nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares. E conforme visto anteriormente, as etapas de incremento de cargas ficam evidentes nos gráficos.

Conforme os valores da Tabela 5.7, o espécime “M1 0,95 C10 L300 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 1.993,34N e o “M1 0,95 C10 T300 – E2” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 1.835,47N. Ainda na Tabela 5.7, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 1.829,97N para os espécimes com corte longitudinal e de 1.749,86N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 4,4% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de Cv menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.7 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx por Paraf. (N)}}$
M1 0,95 C10 L300 - E1	1.778,92
M1 0,95 C10 L300 - E2	1.993,34
M1 0,95 C10 L300 - E3	1.717,66
$\bar{X}_m$	1.829,97
Cv (%)	7,91%
M1 0,95 C10 T300 - E1	1.665,82
M1 0,95 C10 T300 - E2	1.835,47
M1 0,95 C10 T300 - E3	1.748,29
$\bar{X}_m$	1.749,86
Cv (%)	4,85%

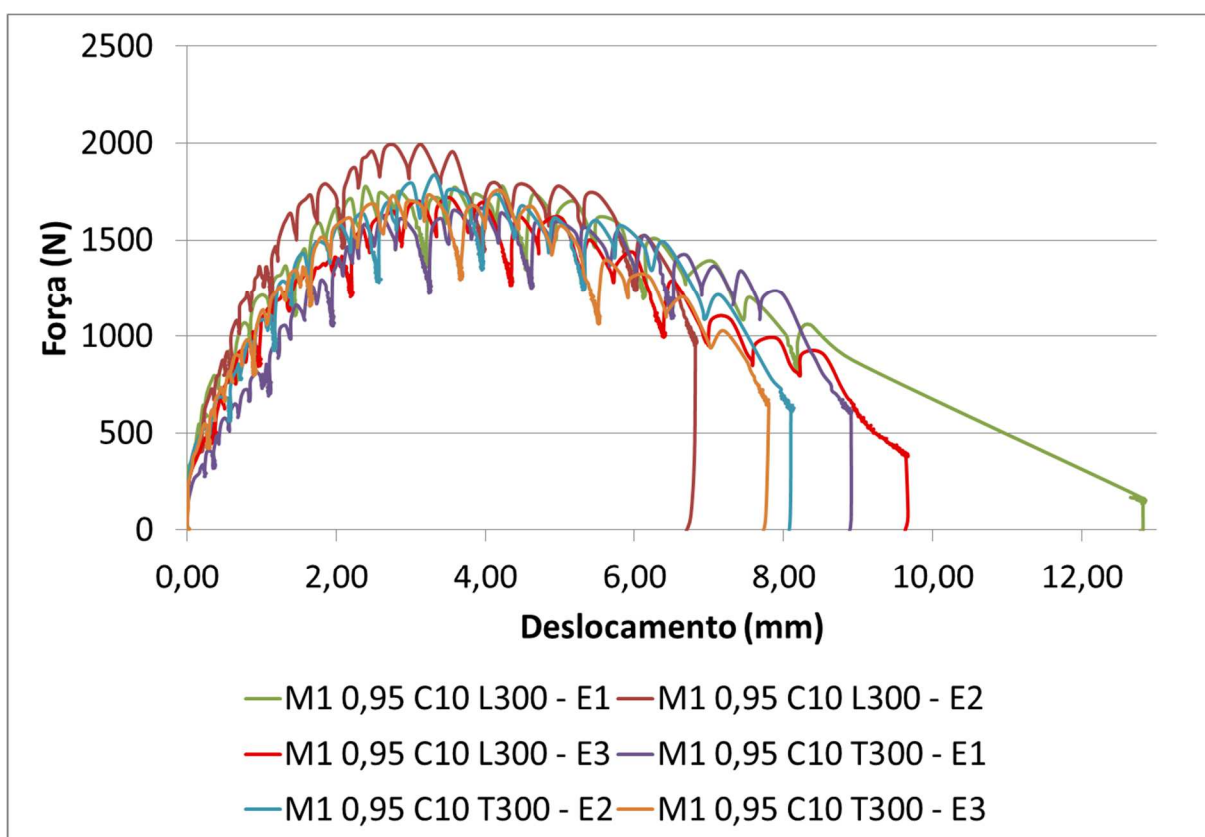


Figura 5.20 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C10 (T e L) 300”.

A Tabela 5.8 mostra os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M1 0,95 C12 (T e L) 150”. A Figura 5.21 traz o gráfico força (por parafuso) deslocamento médio dos espécimes nomeados como “M1 0,95 C12 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentam comportamentos similares. Observa-se ainda trechos cíclicos ao longo de todo ensaio de ganho de força e posterior queda de força para novamente ganhar força com pico e na sequência decaimento de força, com aumento crescente dos deslocamentos. Cada um destes trechos representa uma fase de carregamento e posterior decaimento de carga com a espera de um minuto entre etapas de carregamento.

Conforme os valores da Tabela 5.8, o espécime “M1 0,95 C12 L150 – E3” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.154,50N e o “M1 0,95 C12 T150 – E3” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 2.105,02N. Ainda na Tabela 5.8 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{m\acute{a}x}$ Parafuso) é igual a 2.103,13 N para os espécimes com corte longitudinal e de 2.003,70 N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de aproximadamente 4,7% (diferença entre os valores médios na direção T e os

valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.8 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M1 0,95 C12 L150 - E1	2.076,74
M1 0,95 C12 L150 - E2	2.078,16
M1 0,95 C12 L150 - E3	2.154,50
X_m	2.103,13
C_v (%)	2,12%
M1 0,95 C12 T150 - E1	1.939,61
M1 0,95 C12 T150 - E2	1.966,47
M1 0,95 C12 T150 - E3	2.105,02
X_m	2.003,70
C_v (%)	4,43%

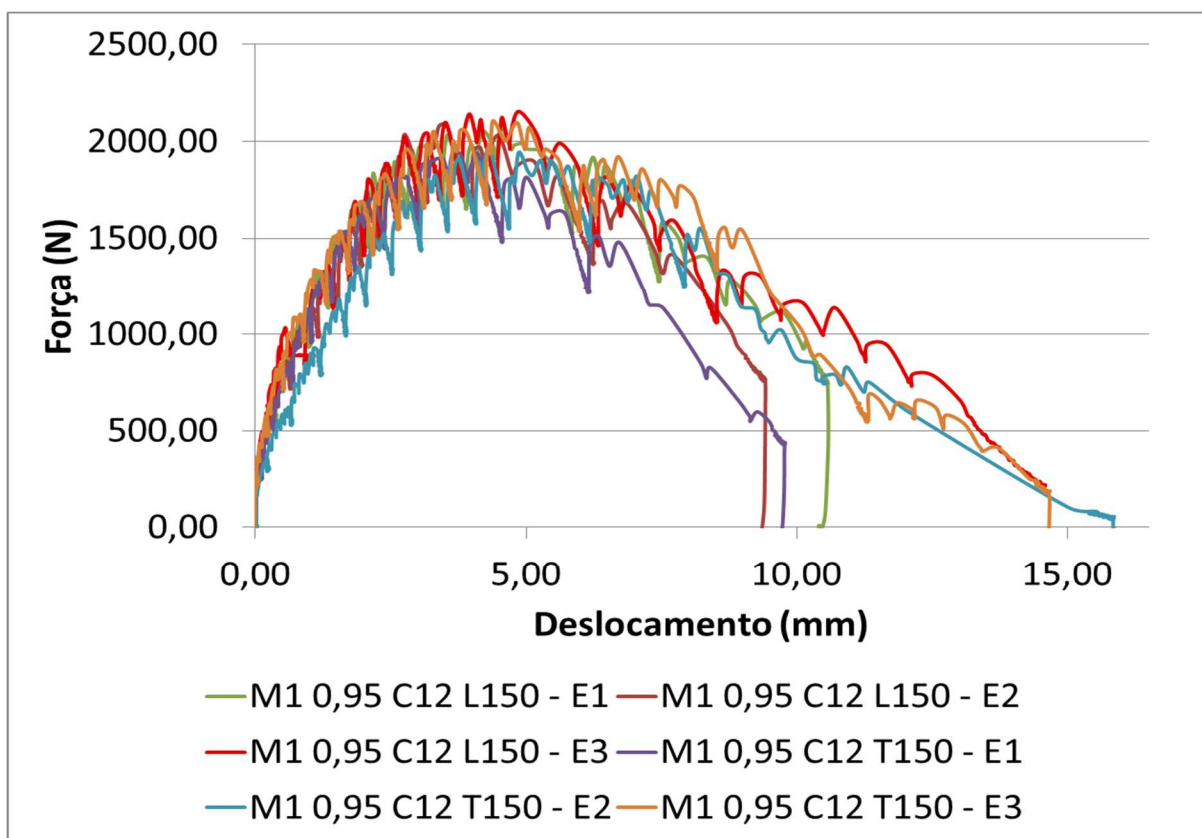


Figura 5.21 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 150”.

A Tabela 5.9 mostra os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M1 0,95 C12 (T e L) 300”. A Figura 5.22 traz o gráfico força (por parafuso) versus deslocamento médio das séries nomeadas como “M1 0,95 C12 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento também fica evidente no gráfico em questão.

Conforme os valores da Tabela 5.9, o espécime “M1 0,95 C12 L300 – E3” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.172,41N e o “M1 0,95 C12 T300 – E3” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 2.075,80N. Ainda na Tabela 5.9 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 2.065,59 N para os espécimes com corte longitudinal e de 2.067,16 N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de menor que 0,1% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.9 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx por Paraf. (N)}}$
M1 0,95 C12 L300 - E1	1.983,91
M1 0,95 C12 L300 - E2	2.040,46
M1 0,95 C12 L300 - E3	2.172,41
$\bar{X}_m$	2.065,59
$C_v (\%)$	4,68%
M1 0,95 C12 T300 - E1	2.052,24
M1 0,95 C12 T300 - E2	2.073,45
M1 0,95 C12 T300 - E3	2.075,80
$\bar{X}_m$	2.067,16
$C_v (\%)$	0,63%

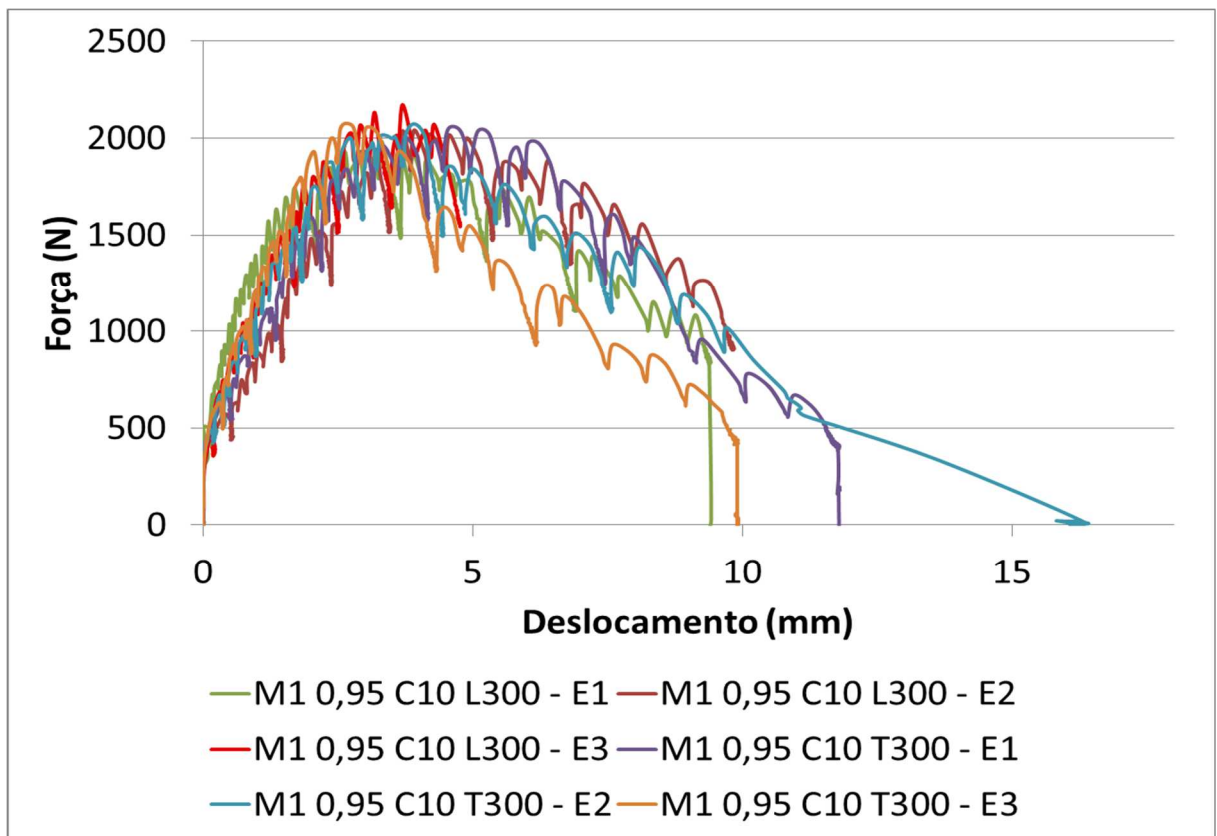


Figura 5.22 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M1 0,95 C12 (T e L) 150”.

Na

Tabela 5.10 estão compilados a média dos valores obtidos em cada série do modelo M1 a fim de facilitar a leitura dos dados encontrados.

Tabela 5.10 - Compilação de valores médios encontrados nas séries do modelo M1.

Série	P _{máx} Parafuso (N)	Cv (%)	Ke (N/mm)	Cv (%)	A (N.mm)	Cv (%)	μ	Cv (%)
M1 0,80 C10 L 150	1.570,64	6,28%	6.219,54	102,77%	9.263,07	15,29%	29,49	95,41%
M1 0,80 C10 T 150	1.616,82	5,58%	2.454,19	20,75%	11.002,11	10,62%	14,33	14,40%
M1 0,80 C10 L 300	1.657,19	1,89%	1.947,90	32,51%	9.982,61	14,39%	9,98	22,34%
M1 0,80 C10 T 300	1.642,26	4,96%	1.519,88	32,11%	9.411,34	17,47%	8,52	23,71%
M1 0,95 C10 L 150	1.828,40	4,47%	2.731,04	8,67%	10.687,58	8,51%	12,39	18,39%
M1 0,95 C10 T 150	1.711,54	2,06%	2.315,24	41,79%	10.488,74	11,31%	11,27	34,09%
M1 0,95 C10 L 300	1.829,97	7,91%	1.839,30	17,07%	9.283,85	4,14%	6,69	17,78%
M1 0,95 C10 T 300	1.749,86	4,85%	1.579,16	21,65%	9.145,65	11,44%	6,43	7,20%
M1 0,80 C12 L 150	1.857,62	5,46%	3.340,61	20,76%	10.623,00	15,01%	19,43	15,14%
M1 0,80 C12 T 150	1.820,39	8,59%	3.606,30	42,54%	9.920,02	12,81%	14,86	30,11%
M1 0,80 C12 L 300	1.941,50	5,71%	2.017,51	21,48%	9.888,38	17,53%	8,49	21,02%
M1 0,80 C12 T 300	1.908,51	10,29%	1.640,84	19,91%	14.180,03	27,34%	9,11	21,02%
M1 0,95 C12 L 150	2.103,13	2,12%	2.049,64	27,39%	12.137,25	8,97%	8,92	45,55%
M1 0,95 C12 T 150	2.003,70	4,43%	1.349,64	23,84%	13.175,63	21,54%	6,49	28,97%
M1 0,95 C12 L 300	2.065,59	4,68%	1.777,53	43,20%	11.646,97	12,02%	8,01	55,36%
M1 0,95 C12 T 300	2.067,16	0,63%	1.532,37	15,68%	9.954,90	30,87%	5,94	43,35%

A análise geral dos resultados apresentados será apresentada no item 5.4 desta dissertação.

5.3.2. Modelo M2

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com os 48 espécimes do modelo M2 ensaiados conforme Tabela 5.11 a Tabela 5.18 e Figura 5.22 a Figura 5.30.

A Tabela 5.11 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,80 C10 (T e L) 150”. A Figura 5.22 apresenta os gráficos força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M2 0,80 C10 (T e L) 150”. Nesses gráficos os espécimes com corte de placa longitudinal e os de corte transversal também apresentaram comportamentos similares. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto de espera) entre as etapas de carregamento também ficam evidentes nos gráficos em questão. Por fim, observa-se o trecho final de descarregamento do ensaio após a observância do modo de ruptura de cada espécime.

Conforme os valores da Tabela 5.11, o espécime “M2 0,80 C10 T150 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 1.942,44N e o “M2 0,80 C10 T150 – E3” atingiu o segundo

pico máximo por parafuso com 1.914,17N. Ainda na Tabela 5.11 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) foi de 1.817,09N para os espécimes com corte longitudinal e de 1.896,26N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 4,3% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de Cv menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados (conforme as forças máximas por parafuso).

Tabela 5.11 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx por Paraf. (N)}}$
M2 0,80 C10 L150 - E1	1.908,51
M2 0,80 C10 L150 - E2	1.894,38
M2 0,80 C10 L150 - E3	1.648,39
Xm	1.817,09
Cv (%)	8,05%
M2 0,80 C10 T150 - E1	1.832,17
M2 0,80 C10 T150 - E2	1.942,44
M2 0,80 C10 T150 - E3	1.914,17
Xm	1.896,26
Cv (%)	3,02%

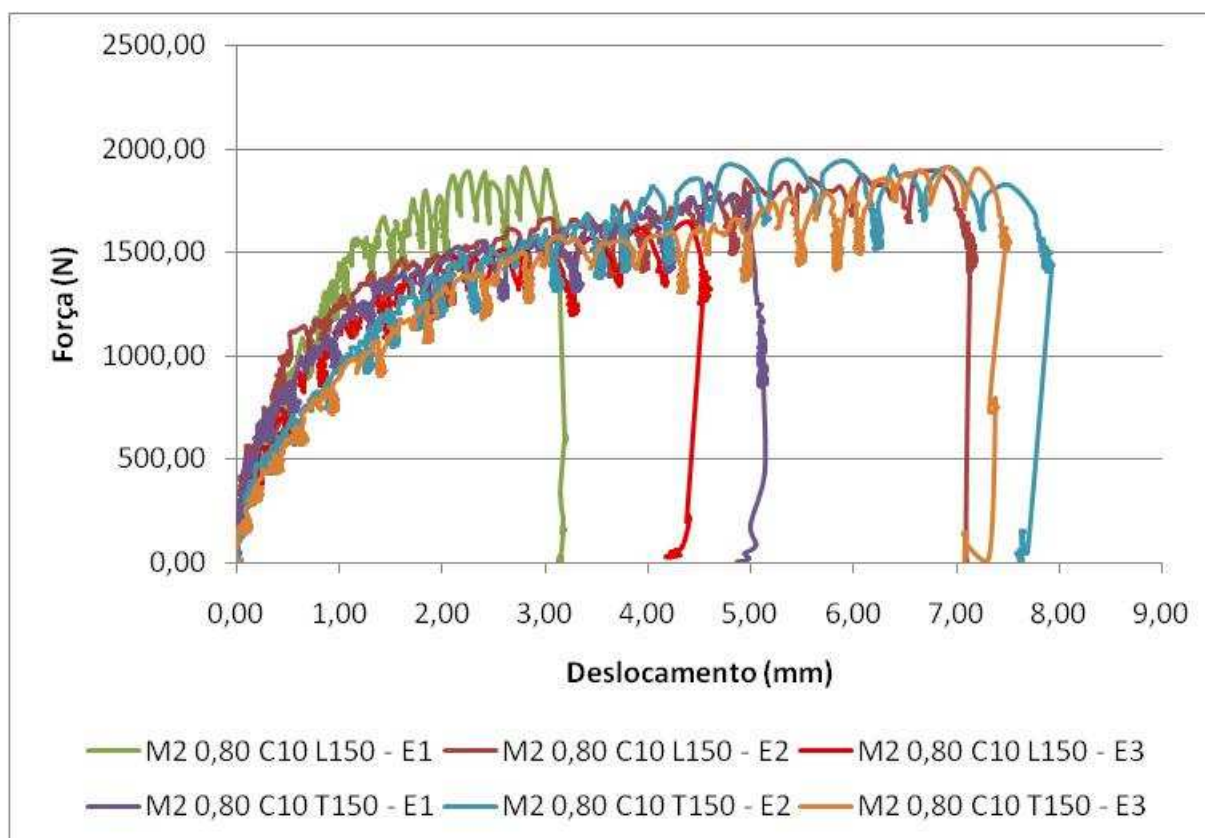


Figura 5.23 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 150”.

A Tabela 5.12 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,80 C10 (T e L) 300”. A Figura 5.24 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M2 0,80 C10 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento também fica evidente no gráfico em questão com trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme os valores da Tabela 5.12, o espécime “M2 0,80 C10 L300 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.327,92N e o “M2 0,80 C10 L300 – E3” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 2.177,12N. Ainda na Tabela 5.12 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 2.145,70N para os espécimes com corte longitudinal e de 1.919,51N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 10,5% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que

15% representam uma baixa dispersão dos resultados (conforme as forças máximas por parafuso).

Tabela 5.12 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M2 0,80 C10 L300 - E1	1.932,07
M2 0,80 C10 L300 - E2	2.327,92
M2 0,80 C10 L300 - E3	2.177,12
X_m	2.145,70
C_v (%)	9,31%
M2 0,80 C10 T300 - E1	1.969,77
M2 0,80 C10 T300 - E2	1.941,50
M2 0,80 C10 T300 - E3	1.847,25
X_m	1.919,51
C_v (%)	3,34%

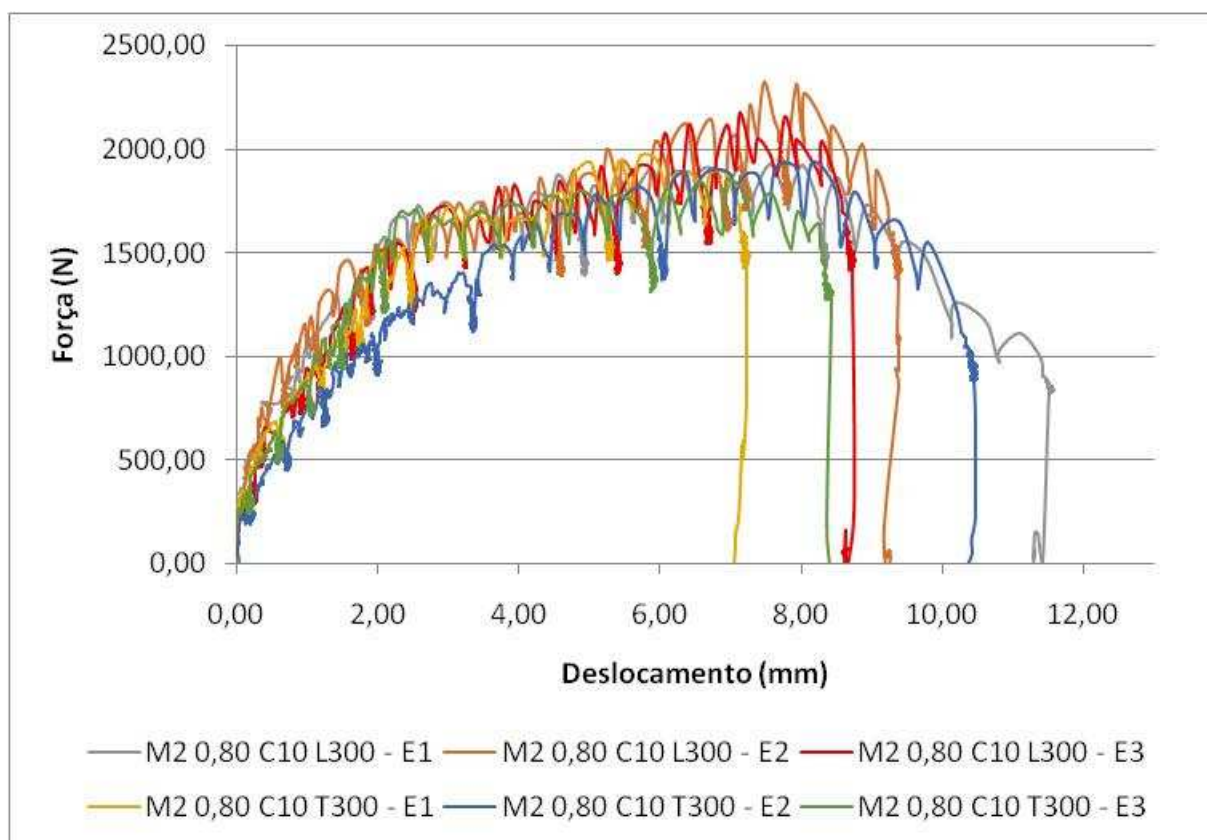


Figura 5.24 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C10 (T e L) 300”.

A Tabela 5.13 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,80 C12 (T e L) 150”. A Figura 5.25 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M2 0,80 C12 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento também fica evidente no gráfico em questão com trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme os valores da Tabela 5.13, o espécime “M2 0,80 C12 T150 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.278,91N e o “M2 0,80 C10 T150 – E3” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 2.205,39N. Ainda na Tabela 5.13 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) foi de 2.186,54N para os espécimes com corte longitudinal e de 2.224,24N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 1,7% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.13 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx por Paraf. (N)}}$
M2 0,80 C12 L150 - E1	2.168,64
M2 0,80 C12 L150 - E2	2.196,91
M2 0,80 C12 L150 - E3	2.194,08
X_m	2.186,54
C_v (%)	0,71 %
M2 0,80 C12 T150 - E1	2.188,43
M2 0,80 C12 T150 - E2	2.278,91
M2 0,80 C12 T150 - E3	2.205,39
X_m	2.224,24
C_v (%)	2,16 %

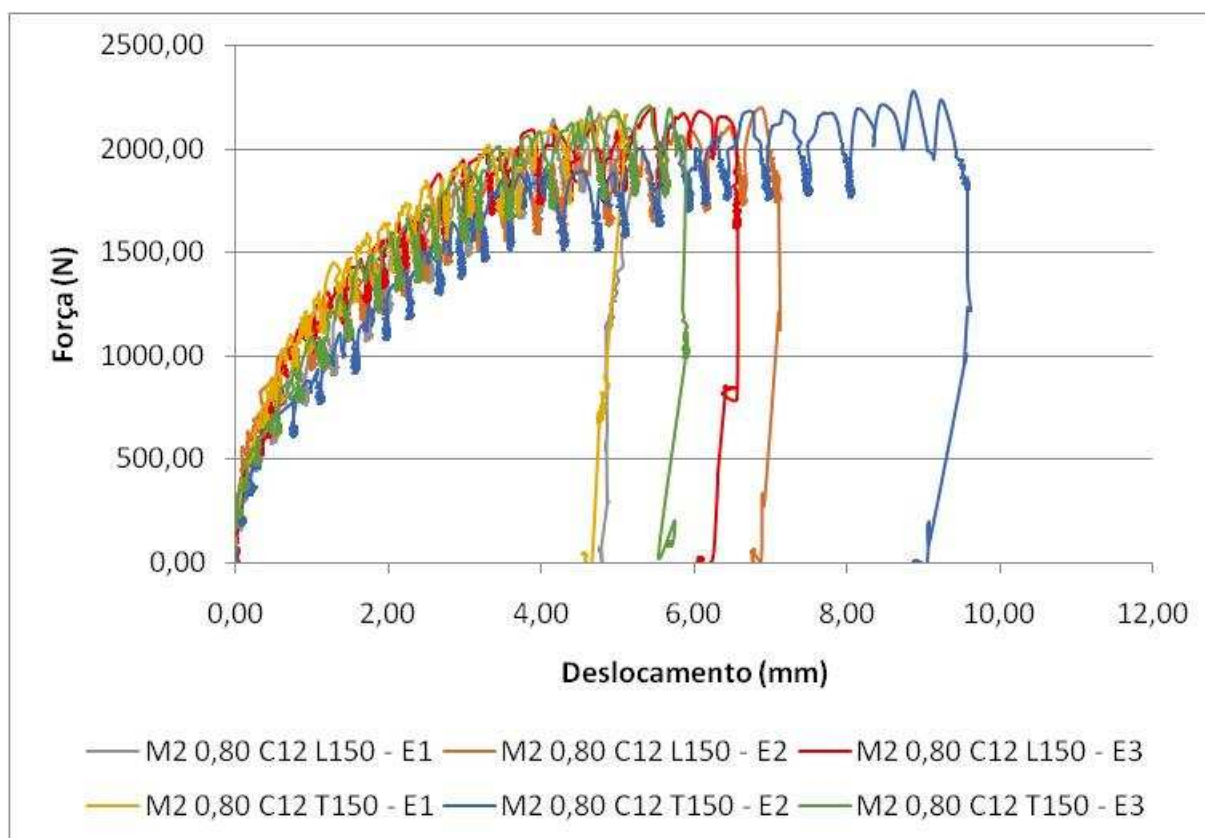


Figura 5.25 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 150”.

A Tabela 5.14 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,80 C12 (T e L) 300”. A Figura 5.26 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M2 0,80 C12 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento também fica evidente no gráfico em questão com trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme os valores da Tabela 5.14, o espécime “M2 0,80 C12 L300 – E3” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.445,72N e o “M2 0,80 C10 T300 – E2” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 2.436,30N. O valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 2.213,25N para os espécimes com corte longitudinal e de 2.327,91N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 5,2% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante

denominado de valor médio de T e L). Os valores de Cv menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.14 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M2 0,80 C12 L300 - E1	2.177,12
M2 0,80 C12 L300 - E2	2.016,90
M2 0,80 C12 L300 - E3	2.445,72
X_m	2.213,25
C_v (%)	9,79%
M2 0,80 C12 T300 - E1	2.285,50
M2 0,80 C12 T300 - E2	2.436,30
M2 0,80 C12 T300 - E3	2.261,94
X_m	2.327,91
C_v (%)	4,06%

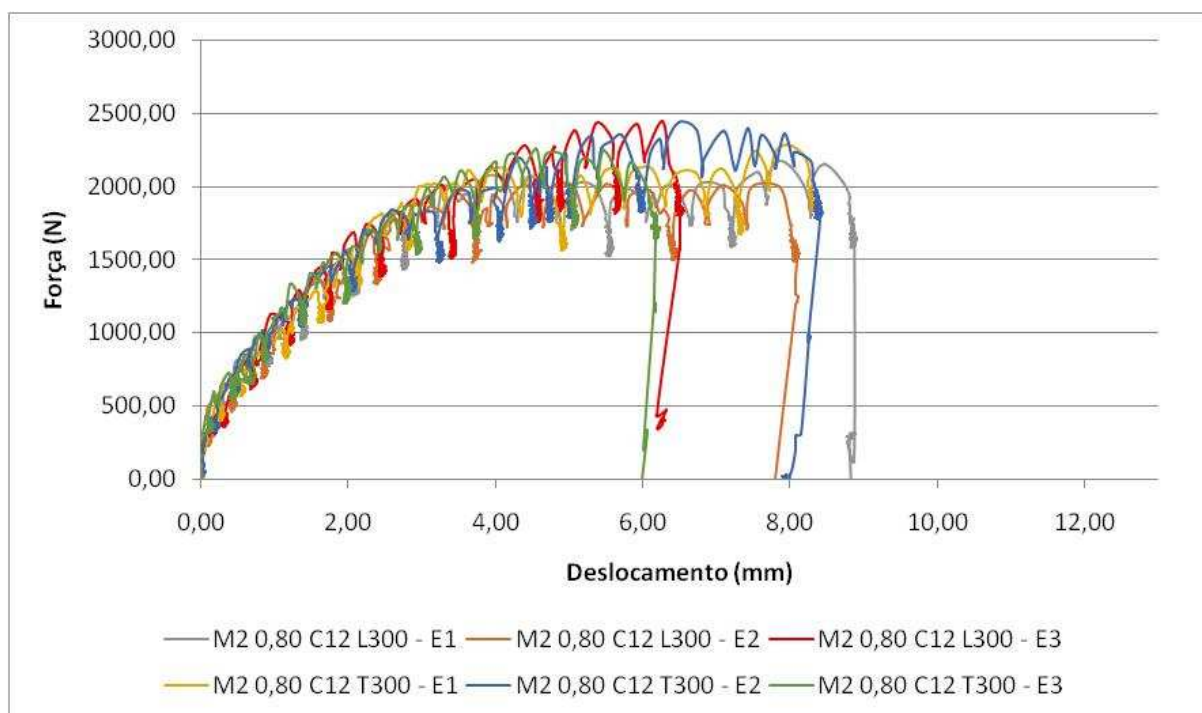


Figura 5.26 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,80 C12 (T e L) 300”.

A Tabela 5.15 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,95 C10 (T e L) 150”. A Figura 5.27 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento

médio das séries nomeadas como “M2 0,95 C10 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento também fica evidente no gráfico em questão com trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme os valores da Tabela 5.15, o espécime “M2 0,95 C12 T150 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.058,37N e o “M2 0,95 C10 L150 – E2” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 2.041,40N. O valor médio da força máxima alcançada por parafuso (P_{máx} Parafuso) é igual a de 1.994,97N para os espécimes com corte longitudinal e de 1.995,22N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 0,01% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de Cv menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.15 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M2 0,95 C10 L150 - E1	1.928,30
M2 0,95 C10 L150 - E2	2.041,40
M2 0,95 C10 L150 - E3	2.015,96
X_m	1.994,97
C_v (%)	2,97%
M2 0,95 C10 T150 - E1	2.032,92
M2 0,95 C10 T150 - E2	2.058,37
M2 0,95 C10 T150 - E3	1.894,38
X_m	1.995,22
C_v (%)	4,42%

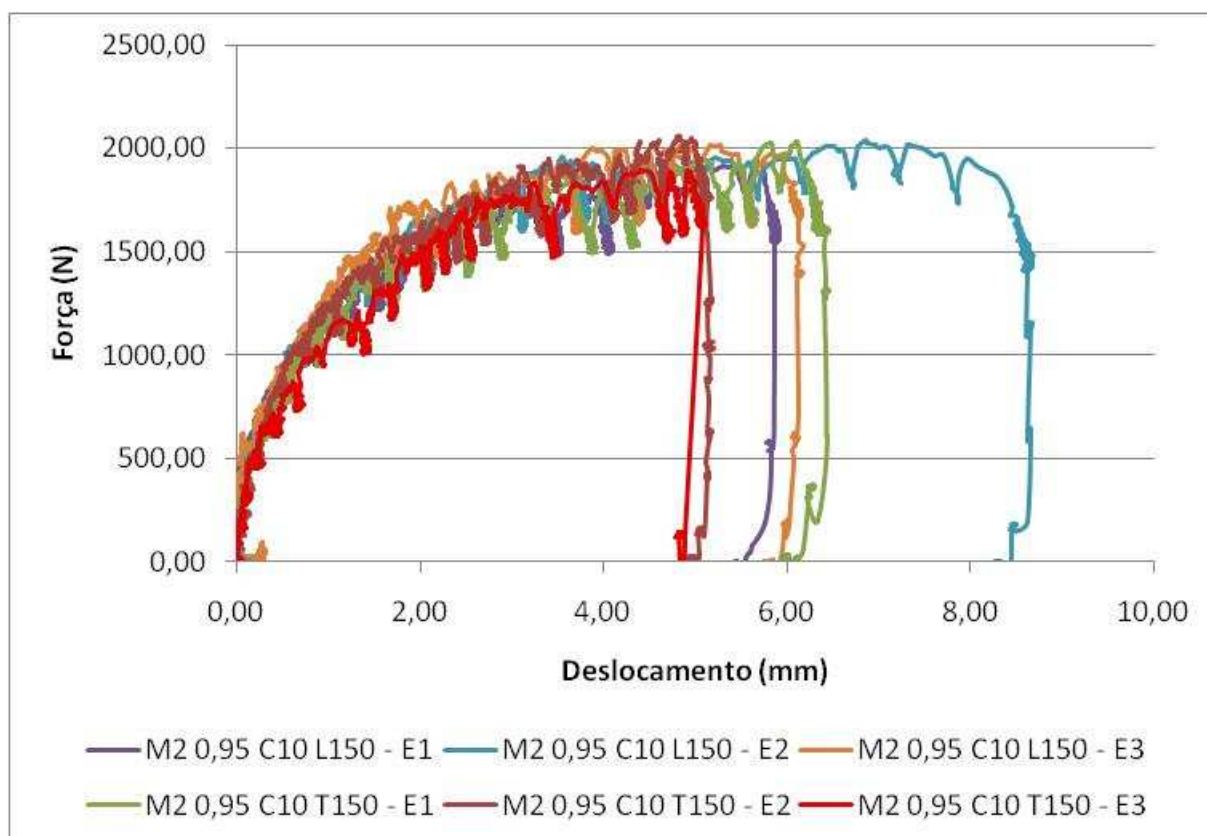


Figura 5.27 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 150”.

A Tabela 5.16 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,95 C10 (T e L) 300”. A Figura 5.28 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M2 0,95 C10 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Observa-se na figura as etapas de carregamento e o trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme os valores da Tabela 5.14, o espécime “M2 0,95 C10 L300 – E2” atingiu a maior força máxima por parafuso com 2.365,61N e o “M2 0,80 C10 L300 – E3” atingiu o segundo pico máximo por parafuso com 2.327,91N. O valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 2.271,37N para os espécimes com corte longitudinal e a 2.005,90N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 11,7% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores que apresentaram baixa dispersão dos resultados foram as forças máximas por parafuso de ambas as direções.

Tabela 5.16 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M2 0,95 C10 L300 - E1	2.120,57
M2 0,95 C10 L300 - E2	2.365,61
M2 0,95 C10 L300 - E3	2.327,91
X_m	2.271,37
C_v (%)	5,81%
M2 0,95 C10 T300 - E1	1.998,05
M2 0,95 C10 T300 - E2	1.950,92
M2 0,95 C10 T300 - E3	2.068,73
X_m	2.005,90
C_v (%)	2,96%

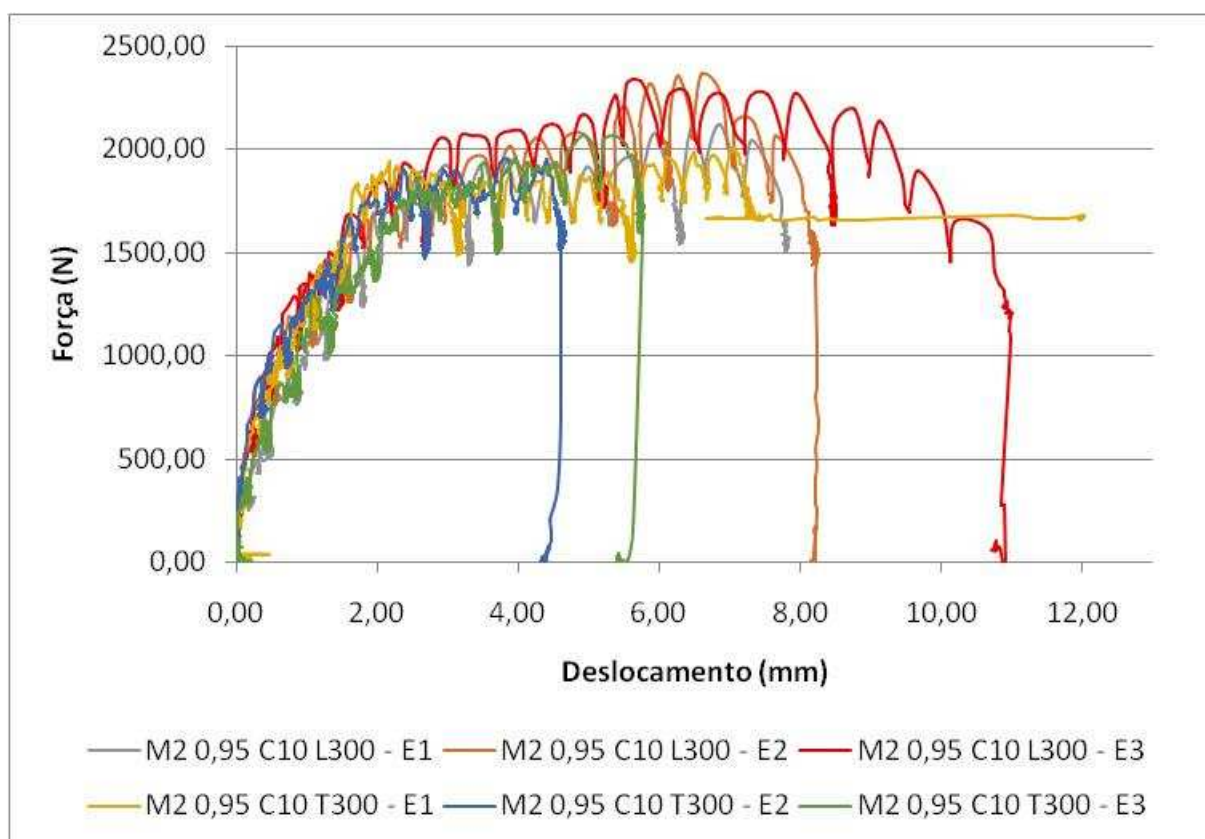


Figura 5.28 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C10 (T e L) 300”.

A Tabela 5.17 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,95 C12 (T e L) 150”. A Figura 5.29 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M2 0,95 C12 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes

com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Observa-se na figura as etapas de carregamento e o trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme os valores da Tabela 5.17, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 2.322,26N para os espécimes com corte longitudinal e a 2.293,04N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 1,3% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores que apresentaram baixa dispersão dos resultados foram as forças máximas por parafuso de ambas as direções.

Tabela 5.17 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx por Paraf. (N)}}$
M2 0,95 C12 L150 - E1	2.205,39
M2 0,95 C12 L150 - E2	2.479,65
M2 0,95 C12 L150 - E3	2.281,73
X_m	2.322,26
C_v (%)	6,10%
M2 0,95 C12 T150 - E1	2.375,04
M2 0,95 C12 T150 - E2	2.490,96
M2 0,95 C12 T150 - E3	2.013,13
X_m	2.293,04
C_v (%)	10,87%

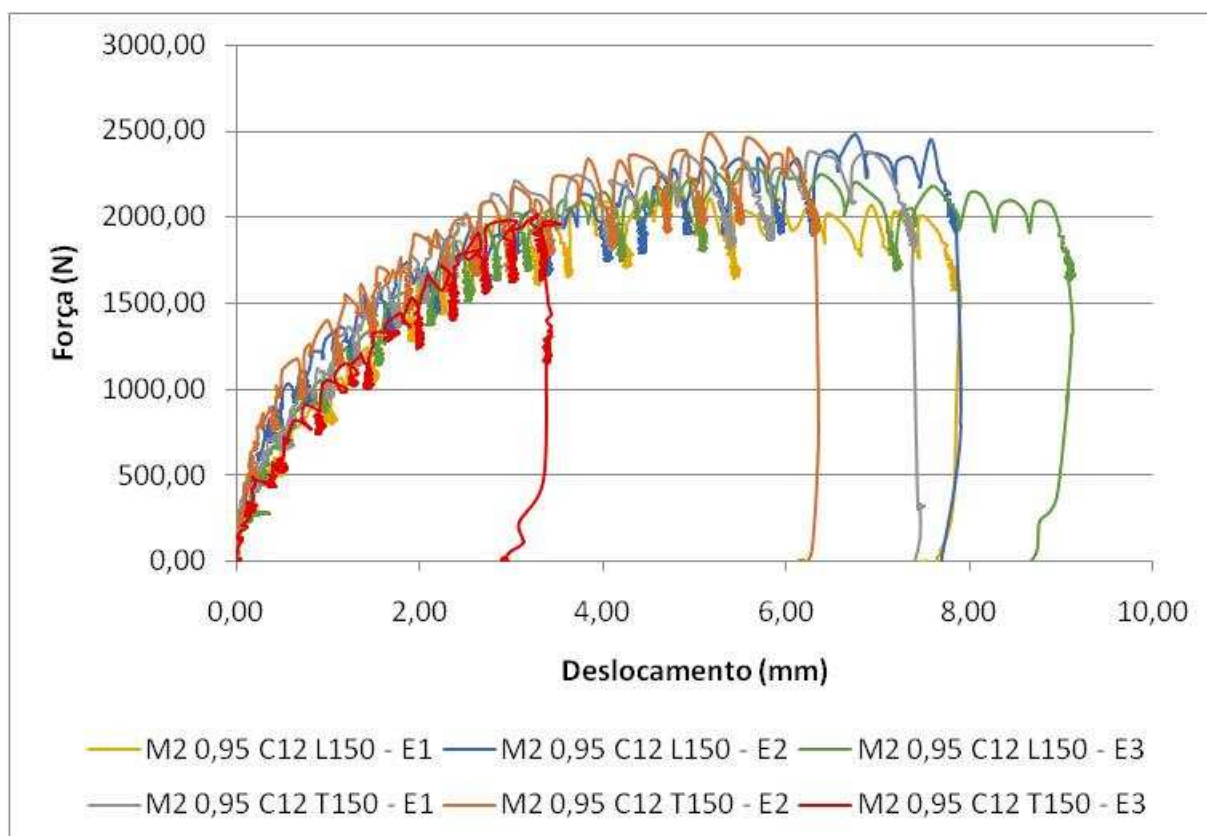


Figura 5.29 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 150”.

A Tabela 5.18 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M2 0,95 C12 (T e L) 300”. A Figura 5.30 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M2 0,95 C12 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal também apresentaram comportamentos similares. Observa-se na figura as etapas de carregamento e o trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.18 o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) é igual a 2.569,82N para os espécimes com corte longitudinal e a 2.521,12N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 1,9% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores que apresentaram baixa dispersão dos resultados foram as forças máximas por parafuso de ambas as direções.

Tabela 5.18 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M2 0,95 C12 L300 - E1	2.558,82
M2 0,95 C12 L300 - E2	2.502,27
M2 0,95 C12 L300 - E3	2.648,36
X_m	2.569,82
C_v (%)	2,87%
M2 0,95 C12 T300 - E1	2.624,79
M2 0,95 C12 T300 - E2	2.422,16
M2 0,95 C12 T300 - E3	2.516,41
X_m	2.521,12
C_v (%)	4,02%

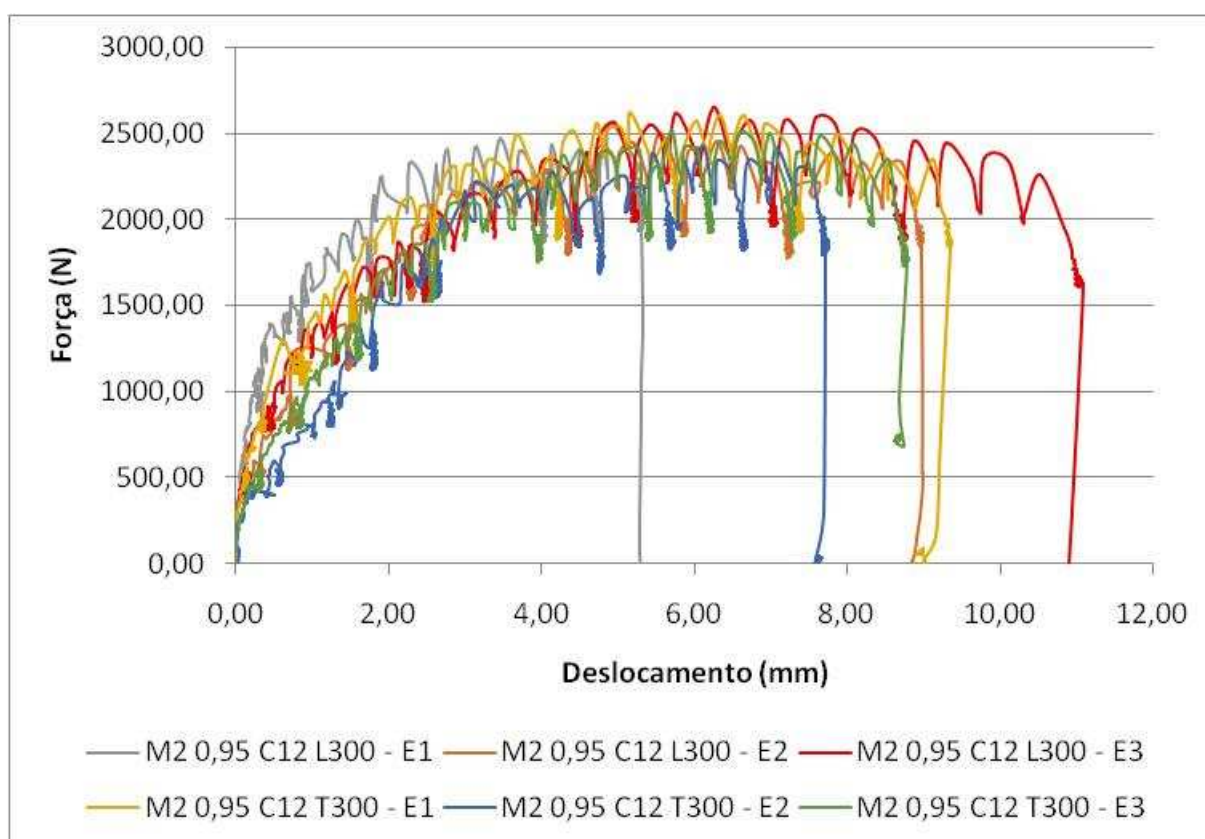


Figura 5.30 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M2 0,95 C12 (T e L) 300”.

Na Tabela 5.19 estão compilados a média dos valores obtidos em cada série do modelo M2 a fim de facilitar a leitura dos dados encontrados.

Tabela 5.19 - Compilação de valores médios encontrados nas séries do modelo M2.

Série	P _{máx} Parafuso (N)	C _v (%)	K _e (N/mm)	C _v (%)	A (N.mm)	C _v (%)	μ	C _v (%)
M2 0,80 C10 L 150	1.817,09	8,05%	2.082,73	20,85%	7.202,11	47,97%	6,32	45,78%
M2 0,80 C10 T 150	1.896,26	3,02%	1.618,30	62,30%	9.810,27	24,26%	6,19	46,59%
M2 0,80 C10 L 300	2.145,70	9,31%	1.243,60	27,72%	15.869,34	7,06%	7,04	32,78%
M2 0,80 C10 T 300	1.919,51	3,34%	939,79	24,74%	12.764,93	13,68%	4,65	23,24%
M2 0,95 C10 L 150	1.994,97	2,97%	2.291,25	12,24%	11.314,03	26,96%	8,60	6,85%
M2 0,95 C10 T 150	1.995,22	4,42%	1.756,41	12,88%	8.467,20	15,57%	5,67	13,29%
M2 0,95 C10 L 300	2.271,37	5,81%	1.746,87	27,02%	15.474,90	15,22%	7,44	34,35%
M2 0,95 C10 T 300	2.005,90	2,96%	1.969,06	39,32%	9.392,50	26,48%	6,28	34,35%
M2 0,80 C12 L 150	2.186,54	0,71%	1.595,44	13,29%	10.213,25	22,37%	5,52	27,54%
M2 0,80 C12 T 150	2.224,24	2,16%	1.324,62	33,30%	11.075,03	42,52%	4,41	9,30%
M2 0,80 C12 L 300	2.213,25	9,79%	1.274,67	7,62%	13.639,81	16,06%	5,17	25,86%
M2 0,80 C12 T 300	2.327,91	4,06%	1.128,42	22,09%	13.843,72	19,61%	4,04	10,57%
M2 0,95 C12 L 150	2.322,26	6,10%	1.512,74	27,44%	15.239,60	10,82%	6,11	26,54%
M2 0,95 C12 T 150	2.293,04	10,87%	1.770,68	45,81%	10.324,53	49,88%	5,08	55,80%
M2 0,95 C12 L 300	2.569,82	2,87%	2.656,62	61,91%	17.368,95	34,54%	8,52	25,75%
M2 0,95 C12 T 300	2.521,12	4,02%	1.413,98	59,18%	17.256,42	17,12%	5,30	65,47%

A análise geral dos resultados apresentados na Tabela 5.19 será apresentada no item 5.4 desta dissertação.

5.3.3. Modelo M3

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos com os 48 espécimes do modelo M3 ensaiados conforme Tabela 5.20 a Tabela 5.27 e Figura 5.31 a Figura 5.38.

A Tabela 5.20 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,80 C10 (T e L) 150”. A Figura 5.31 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,80 C10 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda

da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.20, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) é igual a 460,87N para os espécimes com corte longitudinal e de 478,78N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 3,9% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.20 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx}}$ por Paraf. (N)
M3 0,80 C10 L150 - E1	506,11
M3 0,80 C10 L150 - E2	370,39
M3 0,80 C10 L150 - E3	506,11
X_m	460,87
C_v (%)	17,00%
M3 0,80 C10 T150 - E1	418,46
M3 0,80 C10 T150 - E2	534,38
M3 0,80 C10 T150 - E3	483,49
X_m	478,78
C_v (%)	12,14%

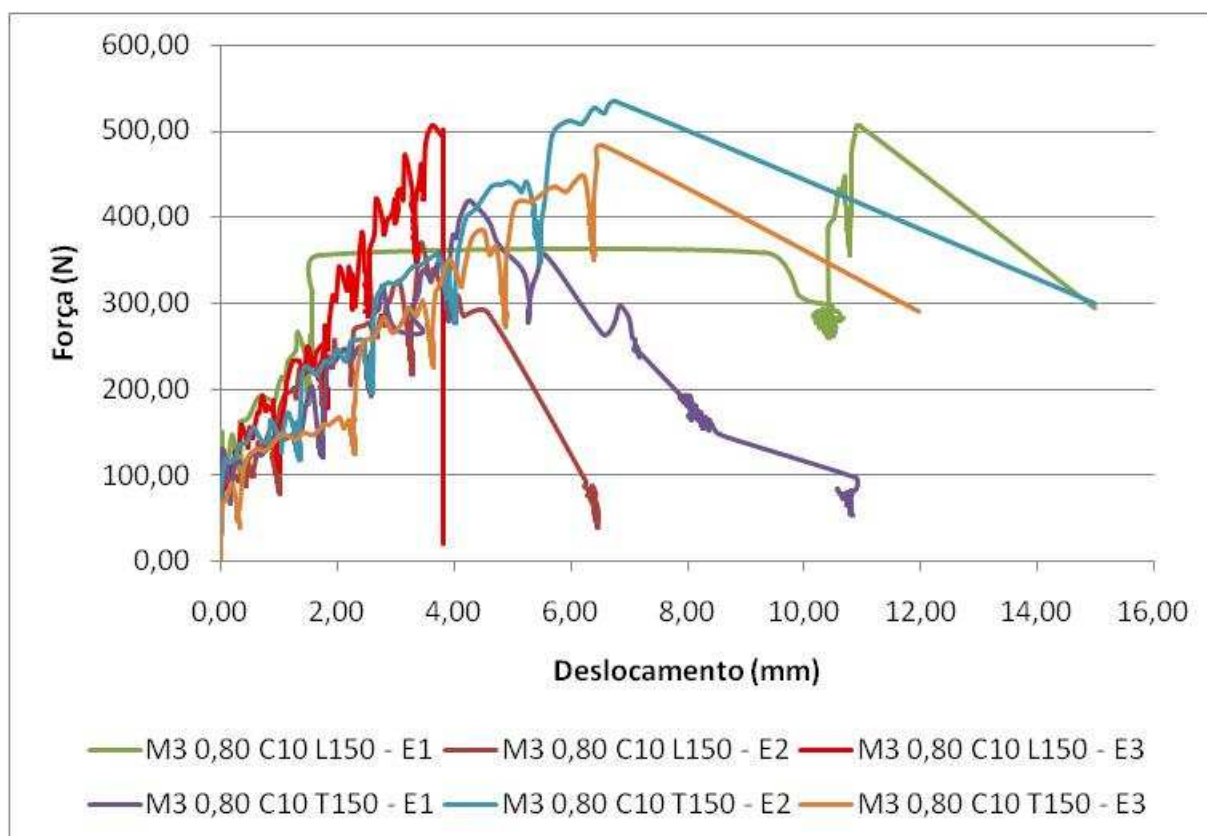


Figura 5.31 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 150”.

A Tabela 5.21 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,80 C10 (T e L) 300”. A Figura 5.32 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,80 C10 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.21, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{m\acute{a}x}$ Parafuso) é igual a 358,14N para os espécimes com corte longitudinal e de 552,92N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 54,4% (valor médio de T/L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso na direção longitudinal, já os de C_v entre 15% e

30% caracterizam uma média dispersão dos resultados conforme forças máximas por parafuso na direção transversal.

Tabela 5.21 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M3 0,80 C10 L300 - E1	391,13
M3 0,80 C10 L300 - E2	334,58
M3 0,80 C10 L300 - E3	348,72
X_m	358,14
C_v (%)	8,22%
M3 0,80 C10 T300 - E1	669,16
M3 0,80 C10 T300 - E2	537,21
M3 0,80 C10 T300 - E3	452,39
X_m	552,92
C_v (%)	19,76%

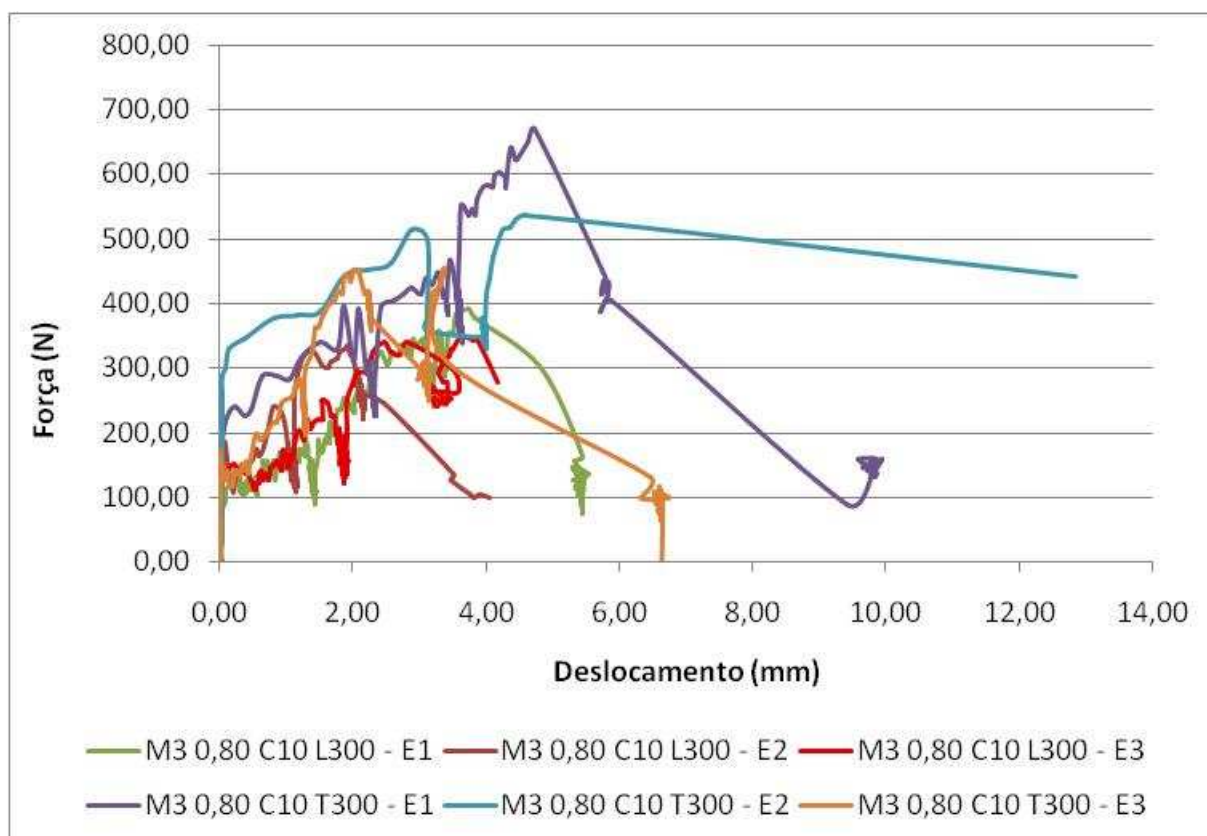


Figura 5.32 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C10 (T e L) 300”.

A Tabela 5.22 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,80 C12 (T e L) 150”. A Figura 5.33 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,80 C12 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.22, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) foi de 495,26N para os espécimes com corte longitudinal e de 656,48N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 32,6% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso na direção longitudinal, já os de C_v entre 15% e 30% caracterizam uma média dispersão dos resultados conforme forças máximas por parafuso na direção transversal.

Tabela 5.22 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx}}$ por Paraf. (N)
M3 0,80 C12 L150 - E1	562,66
M3 0,80 C12 L150 - E2	452,39
M3 0,80 C12 L150 - E3	470,72
X_m	495,26
C_v (%)	11,93%
M3 0,80 C12 T150 - E1	507,66
M3 0,80 C12 T150 - E2	689,89
M3 0,80 C12 T150 - E3	771,89
X_m	656,48
C_v (%)	20,60%

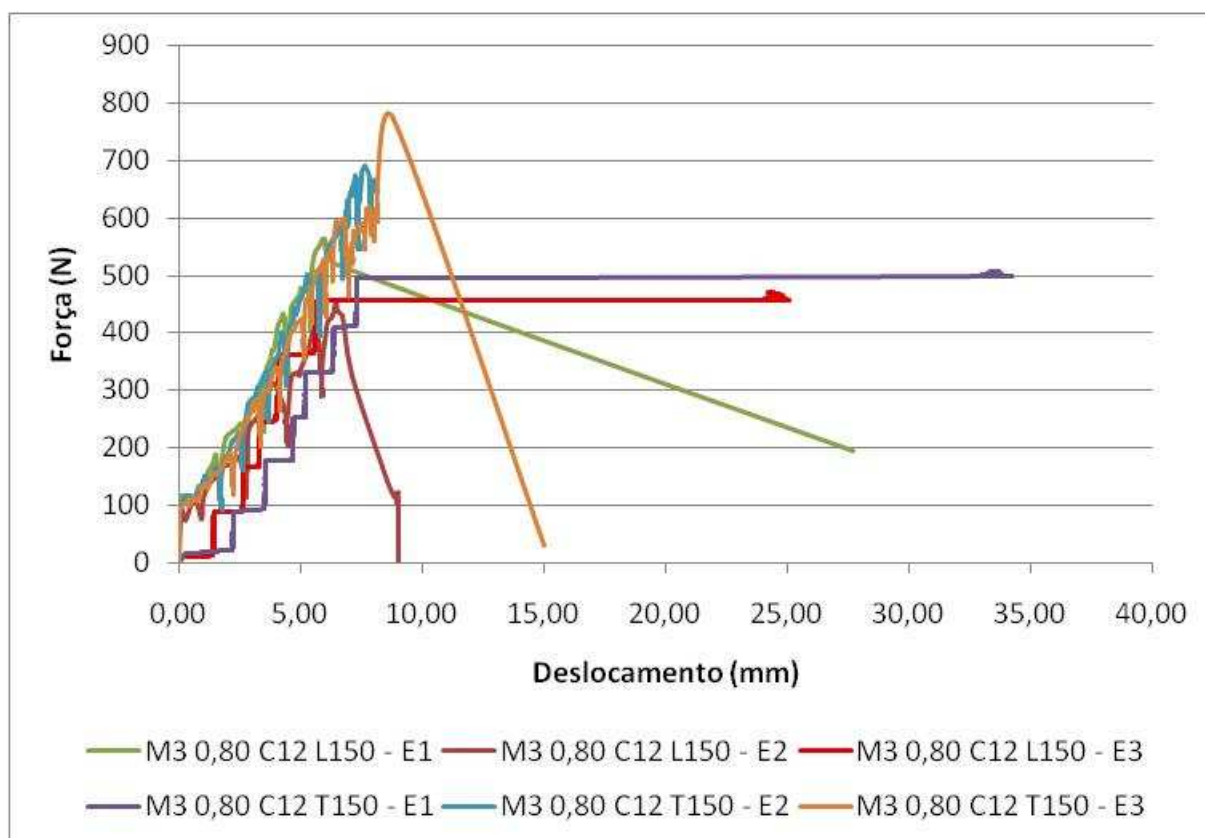


Figura 5.33 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 150”.

A Tabela 5.23 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,80 C12 (T e L) 300”. A Figura 5.34 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,80 C12 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.23, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) é igual a 381,70N para os espécimes com corte longitudinal e a 526,22N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 37,9% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor

médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso em ambas as direções.

Tabela 5.23 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M1 0,80 C12 L300 - E1	334,58
M1 0,80 C12 L300 - E2	381,70
M1 0,80 C12 L300 - E3	428,83
X_m	381,70
C_v (%)	12,35%
M1 0,80 C12 T300 - E1	471,24
M1 0,80 C12 T300 - E2	560,77
M1 0,80 C12 T300 - E3	546,64
X_m	526,22
C_v (%)	9,15%

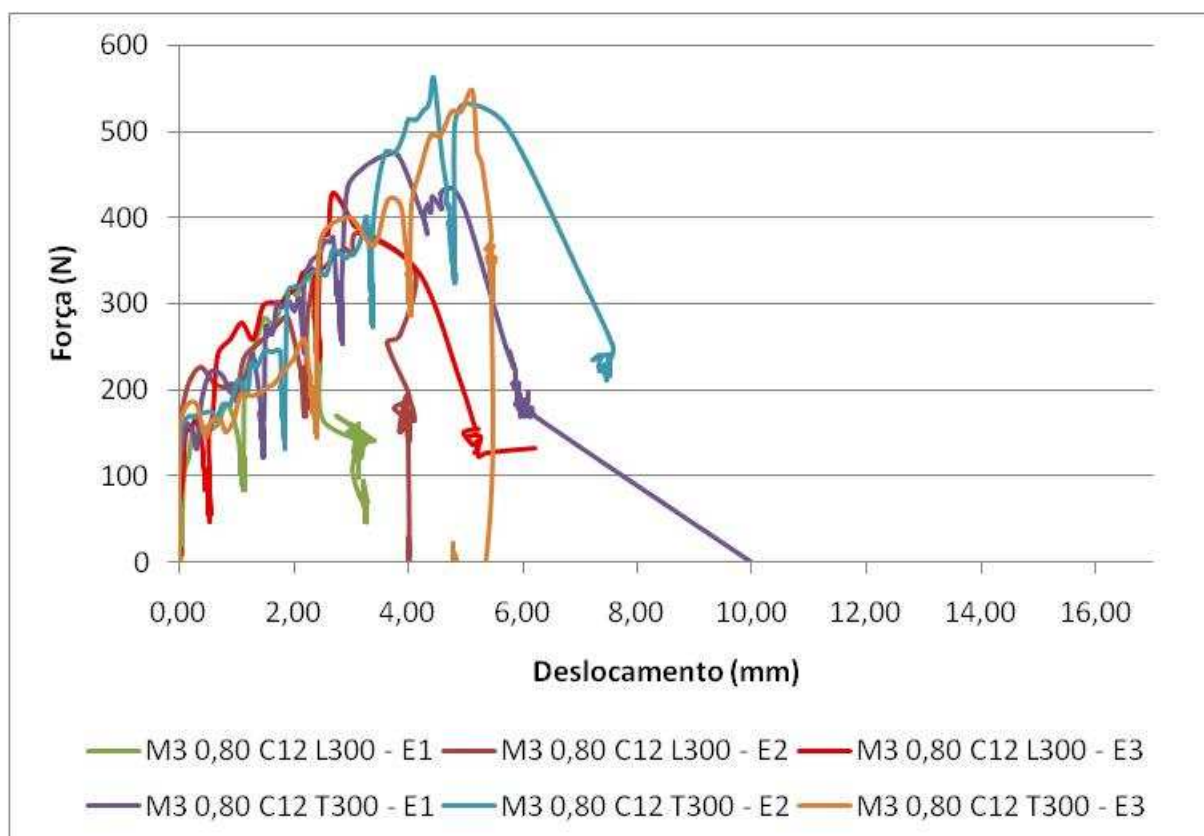


Figura 5.34 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,80 C12 (T e L) 300”.

A Tabela 5.24 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,95 C10 (T e L) 150”. A Figura 5.35 traz o gráfico força (por parafuso) versus deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,95 C10 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.24, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) é igual a 455,22N para os espécimes com corte longitudinal e a 632,40N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 38,9% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso.

Tabela 5.24 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C10 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx}}$ por Paraf. (N)
M3 0,95 C10 L150 - E1	435,42
M3 0,95 C10 L150 - E2	432,60
M3 0,95 C10 L150 - E3	497,63
$\bar{X}_m$	455,22
C_v (%)	8,07%
M3 0,95 C10 L150 - E1	644,65
M3 0,95 C10 L150 - E2	672,93
M3 0,95 C10 L150 - E3	579,62
$\bar{X}_m$	632,40
C_v (%)	7,57%

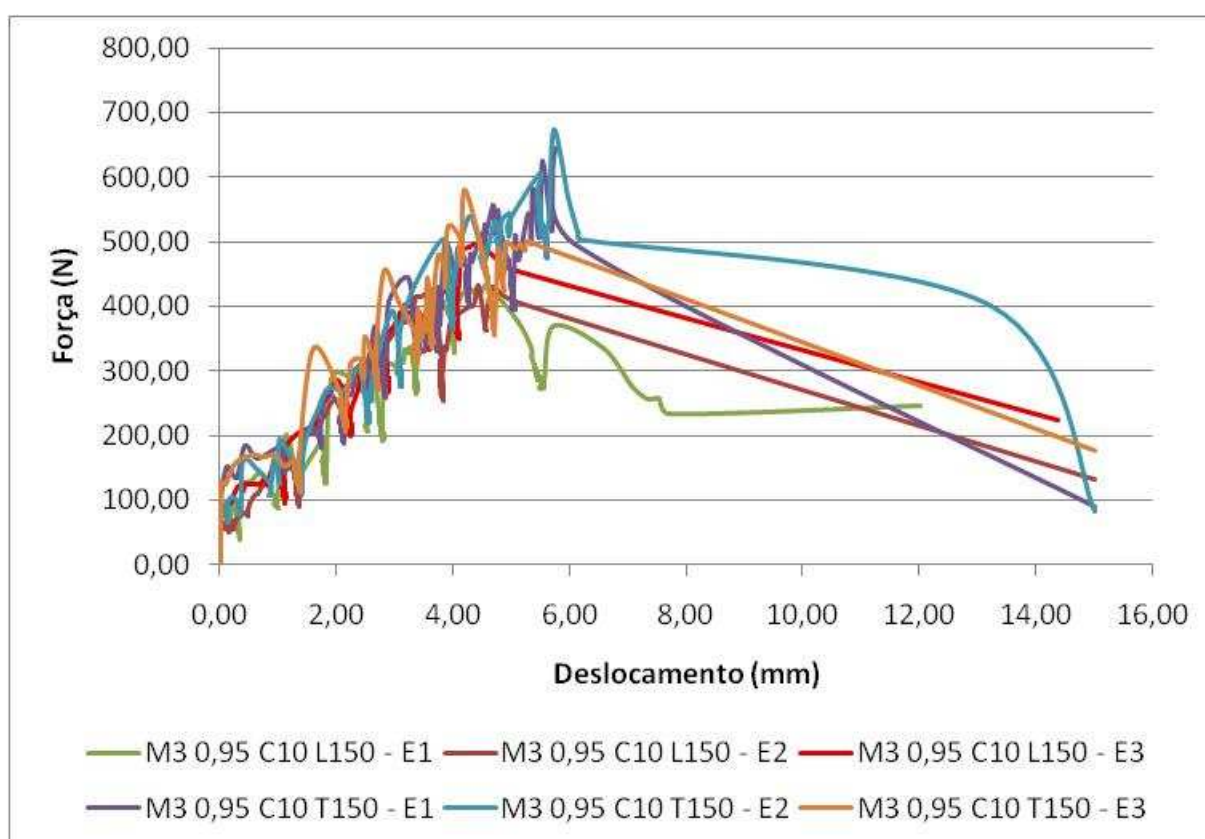


Figura 5.35 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,895 C10 (T e L) 150”.

A Tabela 5.25 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,95 C10 (T e L) 300”. A Figura 5.36 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,95 C10 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.25, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{m\acute{a}x}$ Parafuso) é igual a 496,37N para os espécimes com corte longitudinal e a 483,80N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 2,5% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor

médio de T e L). Para as duas séries ensaiadas, os valores encontrados foram de média dispersão como pode ser visto no coeficiente de variação.

Tabela 5.25 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C10 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M3 0,95 C10 L300 - E1	508,94
M3 0,95 C10 L300 - E2	598,47
M3 0,95 C10 L300 - E3	381,70
X_m	496,37
C_v (%)	21,95%
M3 0,95 C10 T300 - E1	565,49
M3 0,95 C10 T300 - E2	570,20
M3 0,95 C10 T300 - E3	315,73
X_m	483,80
C_v (%)	30,09%

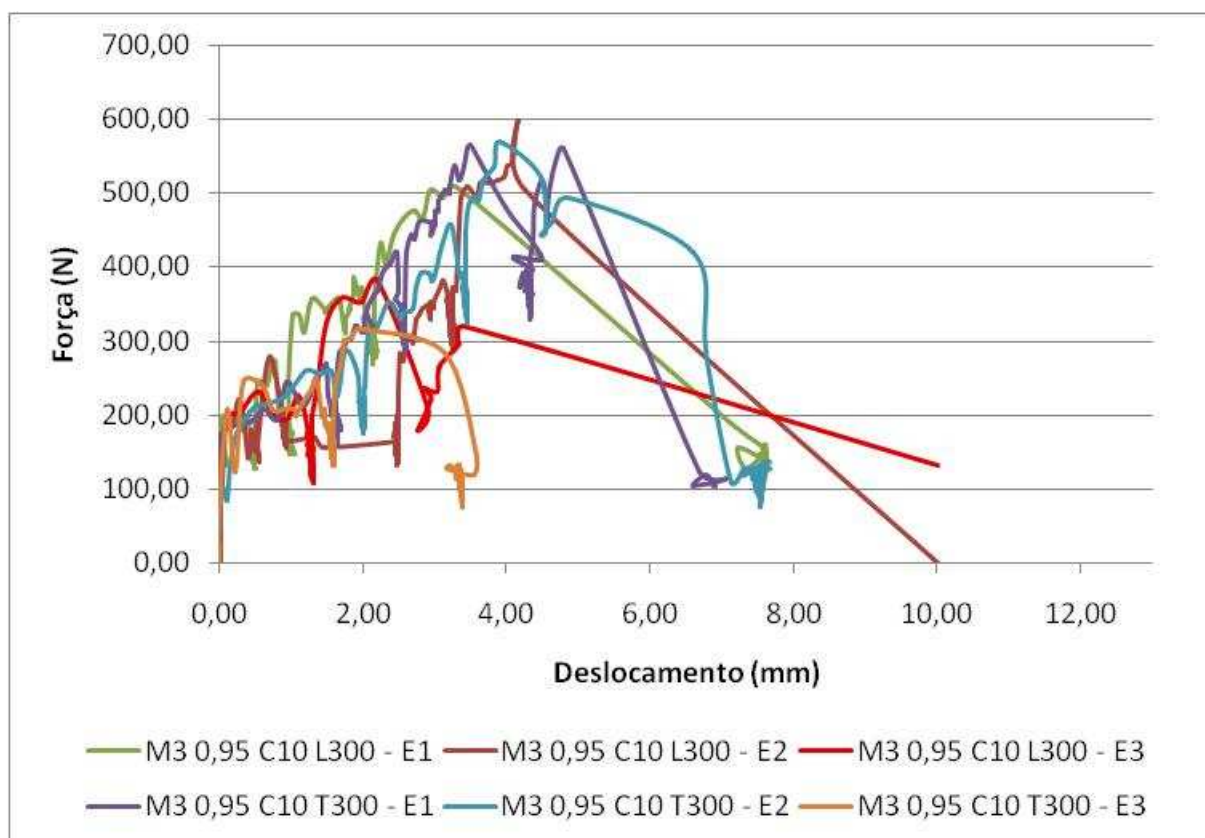


Figura 5.36 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C10 (T e L) 300”.

A Tabela 5.26 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,95 C12 (T e L) 150”. A Figura 5.37 traz o gráfico força (por parafuso) *versus* deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,95 C12 (T e L) 150”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.26, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) é igual a 701,20N para os espécimes com corte longitudinal e a 756,81N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 7,9% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Os valores de C_v menores que 15% representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso na direção longitudinal e média dispersão dos resultados na direção transversal.

Tabela 5.26 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 150”.

Nome do Espécime	$P_{\text{máx}}$ por Paraf. (N)
M3 0,95 C12 L150 - E1	704,03
M3 0,95 C12 L150 - E2	684,24
M3 0,95 C12 L150 - E3	715,34
X_m	701,20
C_v (%)	2,25%
M3 0,95 C12 T150 - E1	605,07
M3 0,95 C12 T150 - E2	802,99
M3 0,95 C12 T150 - E3	862,37
X_m	756,81
C_v (%)	17,80%

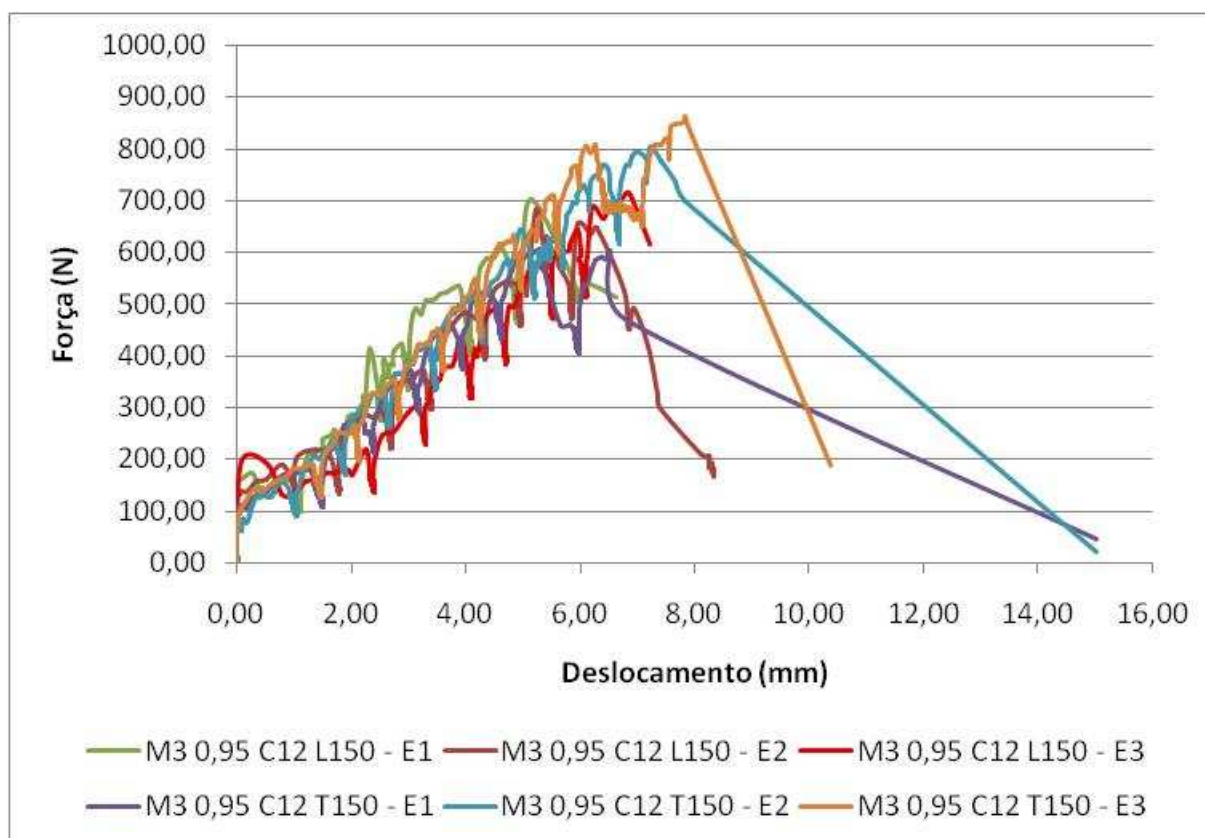


Figura 5.37 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 150”.

A Tabela 5.27 apresenta os resultados obtidos para as séries de espécimes nomeados de “M3 0,95 C10 (T e L) 300”. A Figura 5.38 traz o gráfico força (por parafuso) versus deslocamento médio das séries nomeadas como “M3 0,95 C10 (T e L) 300”. Nesse gráfico os espécimes com corte de placa longitudinal e transversal apresentaram comportamentos similares, porém sem padrão definido. Os trechos de incremento de força e de decaimento de força (devido ao intervalo de um minuto) entre as etapas de carregamento ficam evidentes no gráfico em questão. Por fim, devido à ruptura por rasgamento das placas cimentícias e consequente perda da aferição dos deslocamentos, é possível observar um comportamento irregular do trecho final de descarregamento do ensaio.

Conforme a Tabela 5.27, o valor médio da força máxima alcançada por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) é igual a 538,78N para os espécimes com corte longitudinal e a 595,33N para os de corte transversal. Entre estes espécimes houve uma diferença de 10,0% (diferença entre os valores médios na direção T e os valores médios na direção L, doravante denominado de valor médio de T e L). Para as duas séries ensaiadas, os valores de C_v menores que 15%

representam uma baixa dispersão dos resultados conforme as forças máximas por parafuso em ambas as direções.

Tabela 5.27 - Resultados obtidos nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 300”.

Nome do Espécime	P _{máx} por Paraf. (N)
M3 0,95 C12 L300 - E1	570,20
M3 0,95 C12 L300 - E2	518,36
M3 0,95 C12 L300 - E3	527,79
X_m	538,78
C_v (%)	5,12%
M3 0,95 C12 T300 - E1	678,58
M3 0,95 C12 T300 - E2	565,49
M3 0,95 C12 T300 - E3	541,92
X_m	595,33
C_v (%)	12,27%

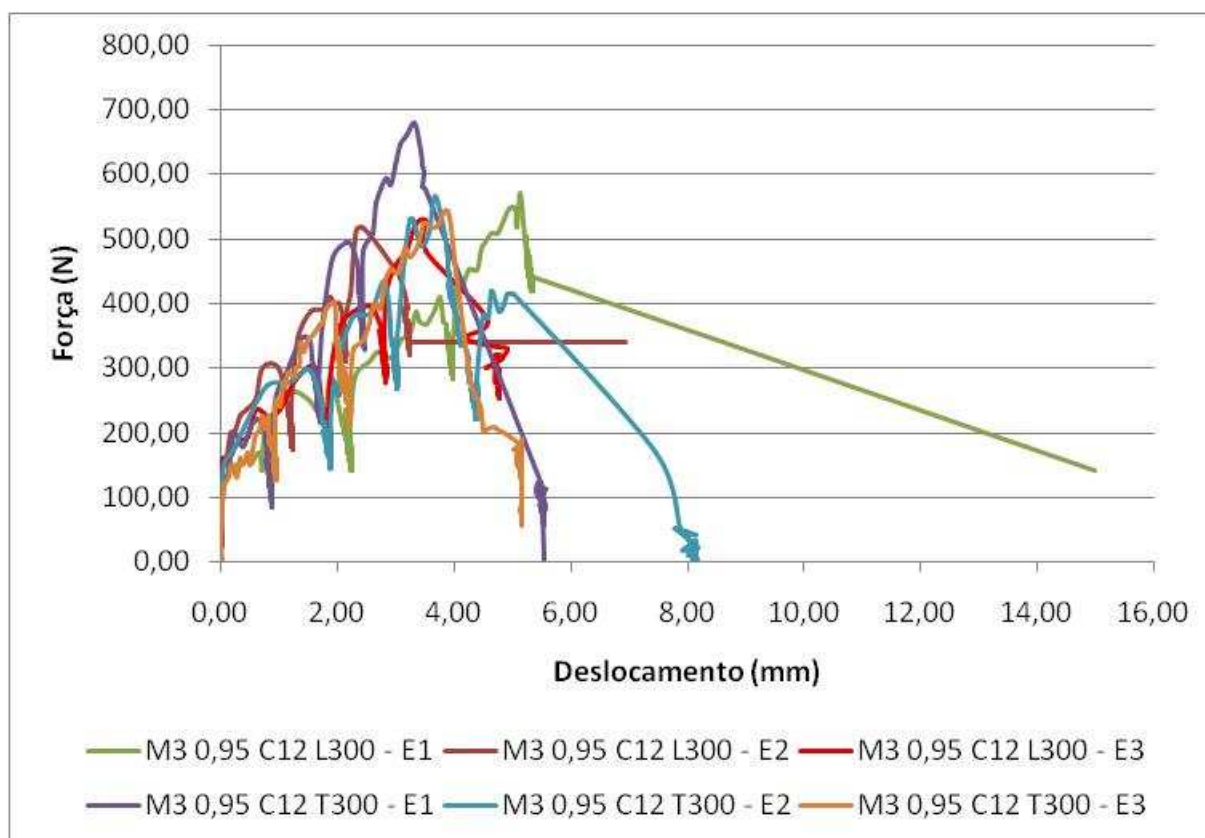


Figura 5.38 - Gráfico força por deslocamento obtido nos ensaios de deslizamento das séries “M3 0,95 C12 (T e L) 300”.

Na Tabela 5.28 estão compilados a média dos valores obtidos em cada série do modelo M3 a fim de facilitar a leitura dos dados encontrados.

Tabela 5.28 - Compilação de valores médios encontrados nas séries do modelo M3.

Séries	P _{máx} Parafuso (N)	Cv (%)	K _e (N/mm)	Cv (%)	A (N.mm)	Cv (%)	μ	Cv (%)
M3 0,80 C10 L 150	460,87	17,00%	217,52	28,54%	1775,25	85,78%	6,35	100,48%
M3 0,80 C10 T 150	478,78	12,14%	137,89	33,23%	1731,55	35,47%	3,29	24,20%
M3 0,80 C10 L 300	358,14	8,22%	1262,76	110,42%	993,31	39,13%	12,28	80,60%
M3 0,80 C10 T 300	552,92	19,76%	1046,42	103,15%	2045,07	1,78%	15,75	95,91%
M3 0,95 C10 L 150	455,22	8,07%	160,27	8,93%	1594,45	9,64%	2,41	15,99%
M3 0,95 C10 T 150	632,4	7,57%	152,10	7,78%	2117,36	22,60%	1,45	2,15%
M3 0,95 C10 L 300	496,37	21,95%	2328,83	104,79%	1228,93	18,13%	27,87	110,73%
M3 0,95 C10 T 300	483,8	30,09%	940,98	117,46%	1777,74	49,84%	11,31	115,68%
M3 0,80 C12 L 150	495,26	11,93%	100,55	20,79%	1726,25	6,25%	2,03	19,76%
M3 0,80 C12 T 150	656,48	20,60%	83,98	15,80%	2976,04	17,80%	1,64	23,65%
M3 0,80 C12 L 300	381,7	12,35%	1227,58	75,11%	917,74	42,09%	17,69	97,18%
M3 0,80 C12 T 300	526,22	9,15%	255,03	71,79%	1569,42	18,53%	4,72	105,83%
M3 0,95 C12 L 150	701,2	2,25%	127,50	19,83%	2706,07	6,94%	1,35	15,77%
M3 0,95 C12 T 150	756,81	17,80%	131,07	2,26%	3384,41	21,37%	1,78	26,95%
M3 0,95 C12 L 300	538,78	5,12%	555,01	63,51%	1545,36	20,92%	5,39	39,81%
M3 0,95 C12 T 300	595,33	12,27%	331,81	34,59%	1628,83	27,28%	3,84	38,94%

A análise geral dos resultados apresentados na Tabela 5.28 será apresentada no item 5.4 desta dissertação.

5.4. Análise dos Resultados Obtidos

A análise da influência das variáveis nos resultados obtidos durante os ensaios foi realizada com base nas tabelas apresentadas a seguir. Foram comparados os resultados da força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) e da rigidez da ligação (K_e) entre as séries análogas. Por fim, incluiu-se uma coluna referente à razão entre os resultados das séries analisadas como cálculo da média e o desvio padrão (DP) destas razões.

5.4.1. Análise da influência da direção do corte das placas cimentícias nas séries de espécimes (longitudinal e transversal)

Na análise feita acerca do modelo M1 percebeu-se que as séries com placas cimentícias com corte na direção longitudinal apresentaram em média 2% a mais de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) e em média 37% a mais de rigidez por ligação (k_e) em relação às placas com corte na direção transversal, conforme mostra a Tabela 5.29.

Tabela 5.29 - Análise da influência da direção do corte das placas das séries no modelo M1.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	L/T	ke (N/mm)	Cv (%)	L/T
M1 0,80 C10 L 150	1.570,64	6,28%	0,97	6.219,54	102,77%	2,53
M1 0,80 C10 T 150	1.616,82	5,58%		2.454,19	20,75%	
M1 0,80 C10 L 300	1.657,19	1,89%	1,01	1.947,90	32,51%	1,28
M1 0,80 C10 T 300	1.642,26	4,96%		1.519,88	32,11%	
M1 0,95 C10 L 150	1.828,40	4,47%	1,07	2.731,04	8,67%	1,18
M1 0,95 C10 T 150	1.711,54	2,06%		2.315,24	41,79%	
M1 0,95 C10 L 300	1.829,97	7,91%	1,05	1.839,30	17,07%	1,16
M1 0,95 C10 T 300	1.749,86	4,85%		1.579,16	21,65%	
M1 0,80 C12 L 150	1.857,62	5,46%	1,02	3.340,61	20,76%	0,93
M1 0,80 C12 T 150	1.820,39	8,59%		3.606,30	42,54%	
M1 0,80 C12 L 300	1.941,50	5,71%	1,02	2.017,51	21,48%	1,23
M1 0,80 C12 T 300	1.908,51	10,29%		1.640,84	19,91%	
M1 0,95 C12 L 150	2.103,13	2,12%	1,05	2.049,64	27,39%	1,52
M1 0,95 C12 T 150	2.003,70	4,43%		1.349,64	23,84%	
M1 0,95 C12 L 300	2.065,59	4,68%	1,00	1.777,53	43,20%	1,16
M1 0,95 C12 T 300	2.067,16	0,63%		1.532,37	15,68%	
		Xm	1,02		Xm	1,37
		Var(x)	1,20		Var(x)	2,16
		DP	1,09		DP	1,47

No modelo M2 observa-se a mesma tendência do modelo M1. As séries de placas cimentícias com corte na direção longitudinal apresentaram em média 2% a mais de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) e 23% a mais em média de rigidez por ligação (k_e) em relação as placas com corte na direção transversal, conforme a Tabela 5.30.

Tabela 5.30 - Análise da influência da direção do corte das placas das séries no modelo M2.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	L/T	ke (N/mm)	Cv (%)	L/T
M2 0,80 C10 L 150	1.817,09	8,05%	0,96	2.082,73	20,85%	1,29
M2 0,80 C10 T 150	1.896,26	3,02%		1.618,30	62,30%	
M2 0,80 C10 L 300	2.145,70	9,31%	1,12	1.243,60	27,72%	1,32
M2 0,80 C10 T 300	1.919,51	3,34%		939,79	24,74%	
M2 0,95 C10 L 150	1.994,97	2,97%	1,00	2.291,25	12,24%	1,30
M2 0,95 C10 T 150	1.995,22	4,42%		1.756,41	12,88%	
M2 0,95 C10 L 300	2.271,37	5,81%	1,13	1.746,87	27,02%	0,89
M2 0,95 C10 T 300	2.005,90	2,96%		1.969,06	39,32%	
M2 0,80 C12 L 150	2.186,54	0,71%	0,98	1.595,44	13,29%	1,20
M2 0,80 C12 T 150	2.224,24	2,16%		1.324,62	33,30%	
M2 0,80 C12 L 300	2.213,25	9,79%	0,95	1.274,67	7,62%	1,13
M2 0,80 C12 T 300	2.327,91	4,06%		1.128,42	22,09%	
M2 0,95 C12 L 150	2.322,26	6,10%	1,01	1.512,74	27,44%	0,85
M2 0,95 C12 T 150	2.293,04	10,87%		1.770,68	45,81%	
M2 0,95 C12 L 300	2.569,82	2,87%	1,02	2.656,62	61,91%	1,88
M2 0,95 C12 T 300	2.521,12	4,02%		1.413,98	59,18%	
		Xm	1,02		Xm	1,23
		Var(x)	1,19		Var(x)	1,74
		DP	1.09		DP	1,32

No modelo M3 as séries de placas cimentícias com corte na direção transversal apresentaram em média 17% a menos de força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) em relação às placas com corte na direção longitudinal. No entanto, a rigidez por ligação (k_e) das séries de placas com corte na direção longitudinal foram 87% maior que as placas com corte transversal, conforme mostra a Tabela 5.31.

Tabela 5.31 - Análise da influência da direção do corte das placas das séries no modelo M3.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Direção L/T	ke (N/mm)	Cv (%)	Direção L/T
M3 0,80 C10 L 150	460,87	17,00%	0,96	217,52	28,54%	1,58
M3 0,80 C10 T 150	478,78	12,14%		137,89	33,23%	
M3 0,80 C10 L 300	358,14	8,22%	0,65	1262,76	110,42%	1,21
M3 0,80 C10 T 300	552,92	19,76%		1046,42	103,15%	
M3 0,95 C10 L 150	455,22	8,07%	0,72	160,27	8,93%	1,05
M3 0,95 C10 T 150	632,4	7,57%		152,10	7,78%	
M3 0,95 C10 L 300	496,37	21,95%	1,03	2328,83	104,79%	2,47
M3 0,95 C10 T 300	483,8	30,09%		940,98	117,46%	
M3 0,80 C12 L 150	495,26	11,93%	0,75	100,55	20,79%	1,20
M3 0,80 C12 T 150	656,48	20,60%		83,98	15,80%	
M3 0,80 C12 L 300	381,7	12,35%	0,73	1227,58	75,11%	4,81
M3 0,80 C12 T 300	526,22	9,15%		255,03	71,79%	
M3 0,95 C12 L 150	701,2	2,25%	0,93	127,50	19,83%	0,97
M3 0,95 C12 T 150	756,81	17,80%		131,07	2,26%	
M3 0,95 C12 L 300	538,78	5,12%	0,91	555,01	63,51%	1,67
M3 0,95 C12 T 300	595,33	12,27%		331,81	34,59%	
		Xm	0,83		Xm	1,87
		Var(x)	0,79		Var(x)	4,00
		DP	0,89		DP	2,00

Dessa forma pôde-se perceber a partir das análises da influência da direção do corte das placas dos espécimes (longitudinal e transversal) que as séries compostas por placas com corte longitudinal, nos modelos M1 e M2, apresentaram uma tendência da força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) ser superior às das séries com placas de corte transversal, no entanto a diferença foi de apenas 2%. Ao passo que no modelo M3 essa tendência foi inversa. No modelo M3, em setes das oito séries comparadas, o valor da força máxima por parafuso na direção transversal foi maior (média de 17% maior).

Em relação à rigidez da ligação (k_e), os Modelos M1 a M3 apresentaram valor maior para as séries compostas por placas com corte na direção longitudinal. Em relação a este parâmetro as diferenças foram significativas de 23% a 87% superiores aos transversais.

5.4.2. Análise da influência da espessura das PLC

Na análise feita no Modelo M1, em relação espessura das PLC's pode-se perceber que as séries com placas cimentícias de 12mm apresentaram 14% a mais de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) em relação às placas de 10mm. Já os valores de rigidez (k_e) das placas de 10mm foram 19% maiores que os das placas de 12mm, segundo mostra a Tabela 5.32.

Tabela 5.32 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no modelo M1.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espessura da PLC 10/12	ke (N/mm)	Cv (%)	Espessura da PLC 10/12
M1 0,80 C10 L 150	1.570,64	6,28%	0,85	6.219,54	102,77%	1,86
M1 0,80 C12 L 150	1.857,62	5,46%		3.340,61	20,76%	
M1 0,80 C10 T 150	1.616,82	5,58%	0,89	2.454,19	20,75%	0,68
M1 0,80 C12 T 150	1.820,39	8,59%		3.606,30	42,54%	
M1 0,80 C10 L 300	1.657,19	1,89%	0,85	1.947,90	32,51%	0,97
M1 0,80 C12 L 300	1.941,50	5,71%		2.017,51	21,48%	
M1 0,80 C10 T 300	1.642,26	4,96%	0,86	1.519,88	32,11%	0,93
M1 0,80 C12 T 300	1.908,51	10,29%		1.640,84	19,91%	
M1 0,95 C10 L 150	1.828,40	4,47%	0,87	2.731,04	8,67%	1,33
M1 0,95 C12 L 150	2.103,13	2,12%		2.049,64	27,39%	
M1 0,95 C10 T 150	1.711,54	2,06%	0,85	2.315,24	41,79%	1,72
M1 0,95 C12 T 150	2.003,70	4,43%		1.349,64	23,84%	
M1 0,95 C10 L 300	1.829,97	7,91%	0,89	1.839,30	17,07%	1,03
M1 0,95 C12 L 300	2.065,59	4,68%		1.777,53	43,20%	
M1 0,95 C10 T 300	1.749,86	4,85%	0,85	1.579,16	21,65%	1,03
M1 0,95 C12 T 300	2.067,16	0,63%		1.532,37	15,68%	
		Xm	0,86		Xm	1,19
		Var(x)	0,85		Var(x)	1,63
		DP	0,92		DP	1,28

O modelo M2 apresentou séries com placas cimentícias de 12mm com média de 14% a mais de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx}}$ Parafuso) em relação às placas de 10mm. Enquanto os valores de rigidez (k_e) das séries com placas de 10mm foram 11% maiores que os das séries com placas de 12mm, como evidencia a Tabela 5.33.

Tabela 5.33 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no modelo M2.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espessura da PLC 10/12	ke (N/mm)	Cv (%)	Espessura da PLC 10/12
M2 0,80 C10 L 150	1.817,09	8,05%	0,83	2.082,73	20,85%	1,31
M2 0,80 C12 L 150	2.186,54	0,71%		1.595,44	13,29%	
M2 0,80 C10 T 150	1.896,26	3,02%	0,85	1.618,30	62,30%	1,22
M2 0,80 C12 T 150	2.224,24	2,16%		1.324,62	33,30%	
M2 0,80 C10 L 300	2.145,70	9,31%	0,97	1.243,60	27,72%	0,98
M2 0,80 C12 L 300	2.213,25	9,79%		1.274,67	7,62%	
M2 0,80 C10 T 300	1.919,51	3,34%	0,82	939,79	24,74%	0,83
M2 0,80 C12 T 300	2.327,91	4,06%		1.128,42	22,09%	
M2 0,95 C10 L 150	1.994,97	2,97%	0,86	2.291,25	12,24%	1,51
M2 0,95 C12 L 150	2.322,26	6,10%		1.512,74	27,44%	
M2 0,95 C10 T 150	1.995,22	4,42%	0,87	1.756,41	12,88%	0,99
M2 0,95 C12 T 150	2.293,04	10,87%		1.770,68	45,81%	
M2 0,95 C10 L 300	2.271,37	5,81%	0,88	1.746,87	27,02%	0,66
M2 0,95 C12 L 300	2.569,82	2,87%		2.656,62	61,91%	
M2 0,95 C10 T 300	2.005,90	2,96%	0,80	1.969,06	39,32%	1,39
M2 0,95 C12 T 300	2.521,12	4,02%		1.413,98	59,18%	
		Xm	0,86		Xm	1,11
		Var(x)	0,85		Var(x)	1,41
		DP	0,92		DP	1,19

O modelo M3 apresentou séries com placas cimentícias de 12mm com média de 14% a mais de força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) em relação às placas de 10mm. Os valores de rigidez (k_e) das séries com placas de 10mm foram 230% maiores que os das séries com placas de 12mm, conforme mostra a Tabela 5.34.

Tabela 5.34 - Análise da influência da espessura das placas cimentícias no modelo M3.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espessura da PLC 10/12	ke (N/mm)	Cv (%)	Espessura da PLC 10/12
M3 0,80 C10 L 150	460,87	17,00%	0,93	217,52	28,54%	2,16
M3 0,80 C12 L 150	495,26	11,93%		100,55	20,79%	
M3 0,80 C10 T 150	478,78	12,14%	0,73	137,89	33,23%	1,64
M3 0,80 C12 T 150	656,48	20,60%		83,98	15,80%	
M3 0,80 C10 L 300	358,14	8,22%	0,94	1262,76	110,42%	1,03
M3 0,80 C12 L 300	381,7	12,35%		1227,58	75,11%	
M3 0,80 C10 T 300	552,92	19,76%	1,05	1046,42	103,15%	4,10
M3 0,80 C12 T 300	526,22	9,15%		255,03	71,79%	
M3 0,95 C10 L 150	455,22	8,07%	0,65	160,27	8,93%	1,26
M3 0,95 C12 L 150	701,2	2,25%		127,50	19,83%	
M3 0,95 C10 T 150	632,4	7,57%	0,84	152,10	7,78%	1,16
M3 0,95 C12 T 150	756,81	17,80%		131,07	2,26%	
M3 0,95 C10 L 300	496,37	21,95%	0,92	2328,83	104,79%	4,20
M3 0,95 C12 L 300	538,78	5,12%		555,01	63,51%	
M3 0,95 C10 T 300	483,8	30,09%	0,81	940,98	117,46%	2,84
M3 0,95 C12 T 300	595,33	12,27%		331,81	34,59%	
		Xm	0,86		Xm	2,30
		Var(x)	0,84		Var(x)	6,04
		DP	0,92		DP	2,46

Portanto, segundo os dados analisados, a espessura das placas cimentícias das séries formadas por placas de 12mm suportaram maior força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) que os espécimes das séries com placas de 10mm. Quanto à rigidez por ligação (ke), todas as séries com placas de 10mm apresentaram maior rigidez em relação aos espécimes das séries com placas de 12mm.

5.4.3. Análise da influência do espaçamento entre os parafusos

Com base nos resultados encontrados quanto a influência do espaçamento entre os parafusos no modelo M1, observou-se que as séries com espaçamento de 300 mm apresentaram em média 2% a mais de força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) em relação às séries com espaçamento de 150 mm, enquanto as séries com espaçamento de 150mm apresentaram em média 71% a mais de rigidez por ligação (ke) que as séries com espaçamento de 300 mm, conforme mostra a Tabela 5.35.

Tabela 5.35 - Análise da influência do espaçamento axial entre os parafusos no modelo M1.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espaçamento 150/300	ke (N/mm)	Cv (%)	Espaçamento 150/300
M1 0,80 C10 L 150	1.570,64	6,28%	0,95	6.219,54	102,77%	3,19
M1 0,80 C10 L 300	1.657,19	1,89%		1.947,90	32,51%	
M1 0,80 C10 T 150	1.616,82	5,58%	0,98	2.454,19	20,75%	1,61
M1 0,80 C10 T 300	1.642,26	4,96%		1.519,88	32,11%	
M1 0,95 C10 L 150	1.828,40	4,47%	1,00	2.731,04	8,67%	1,48
M1 0,95 C10 L 300	1.829,97	7,91%		1.839,30	17,07%	
M1 0,95 C10 T 150	1.711,54	2,06%	0,98	2.315,24	41,79%	1,47
M1 0,95 C10 T 300	1.749,86	4,85%		1.579,16	21,65%	
M1 0,80 C12 L 150	1.857,62	5,46%	0,96	3.340,61	20,76%	1,66
M1 0,80 C12 L 300	1.941,50	5,71%		2.017,51	21,48%	
M1 0,80 C12 T 150	1.820,39	8,59%	0,95	3.606,30	42,54%	2,20
M1 0,80 C12 T 300	1.908,51	10,29%		1.640,84	19,91%	
M1 0,95 C12 L 150	2.103,13	2,12%	1,02	2.049,64	27,39%	1,15
M1 0,95 C12 L 300	2.065,59	4,68%		1.777,53	43,20%	
M1 0,95 C12 T 150	2.003,70	4,43%	0,97	1.349,64	23,84%	0,88
M1 0,95 C12 T 300	2.067,16	0,63%		1.532,37	15,68%	
		Xm	0,98		Xm	1,71
		Var(x)	1,09		Var(x)	3,33
		DP	1,04		DP	1,82

A análise do modelo M2 constatou que as séries com espaçamento de 300 mm entre os parafusos apresentaram em média 7% a mais de força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso). Em relação aos valores de rigidez as séries com espaçamento de 150 mm foram em média 23% maior que os espécimes das séries de 300mm, conforme mostra a Tabela 5.36.

Tabela 5.36 - Análise da influência do espaçamento axial entre os parafusos no modelo M2.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espaçamento 150/300	ke (N/mm)	Cv (%)	Espaçamento 150/300
M2 0,80 C10 L 150	1.817,09	8,05%	0,85	2.082,73	20,85%	1,67
M2 0,80 C10 L 300	2.145,70	9,31%		1.243,60	27,72%	
M2 0,80 C10 T 150	1.896,26	3,02%	0,99	1.618,30	62,30%	1,72
M2 0,80 C10 T 300	1.919,51	3,34%		939,79	24,74%	
M2 0,95 C10 L 150	1.994,97	2,97%	0,88	2.291,25	12,24%	1,31
M2 0,95 C10 L 300	2.271,37	5,81%		1.746,87	27,02%	
M2 0,95 C10 T 150	1.995,22	4,42%	0,99	1.756,41	12,88%	0,89
M2 0,95 C10 T 300	2.005,90	2,96%		1.969,06	39,32%	
M2 0,80 C12 L 150	2.186,54	0,71%	0,99	1.595,44	13,29%	1,25
M2 0,80 C12 L 300	2.213,25	9,79%		1.274,67	7,62%	
M2 0,80 C12 T 150	2.224,24	2,16%	0,96	1.324,62	33,30%	1,17
M2 0,80 C12 T 300	2.327,91	4,06%		1.128,42	22,09%	
M2 0,95 C12 L 150	2.322,26	6,10%	0,90	1.512,74	27,44%	0,57
M2 0,95 C12 L 300	2.569,82	2,87%		2.656,62	61,91%	
M2 0,95 C12 T 150	2.293,04	10,87%	0,91	1.770,68	45,81%	1,25
M2 0,95 C12 T 300	2.521,12	4,02%		1.413,98	59,18%	
		Xm	0,93		Xm	1,23
		Var(x)	0,99		Var(x)	1,73
		DP	1,00		DP	1,32

No modelo M3, as séries com espaçamento de 150mm apresentaram 19% a mais de força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) em relação aos espécimes das séries com espaçamento de 300 mm. Enquanto as séries com espaçamento de 300 mm apresentaram 80% a mais de rigidez por ligação (k_e) que as séries com espaçamento de 150 mm (Tabela 5.37).

Tabela 5.37 - Análise da influência do espaçamento axial entre os parafusos no modelo M3.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espaçamento 150/300	ke (N/mm)	Cv (%)	Espaçamento 150/300
M3 0,80 C10 L 150	460,87	17,00%	1,29	217,52	28,54%	0,17
M3 0,80 C10 L 300	358,14	8,22%		1262,76	110,42%	
M3 0,80 C10 T 150	478,78	12,14%	0,87	137,89	33,23%	0,13
M3 0,80 C10 T 300	552,92	19,76%		1046,42	103,15%	
M3 0,95 C10 L 150	455,22	8,07%	0,92	160,27	8,93%	0,07
M3 0,95 C10 L 300	496,37	21,95%		2328,83	104,79%	
M3 0,95 C10 T 150	632,4	7,57%	1,31	152,10	7,78%	0,16
M3 0,95 C10 T 300	483,8	30,09%		940,98	117,46%	
M3 0,80 C12 L 150	495,26	11,93%	1,30	100,55	20,79%	0,08
M3 0,80 C12 L 300	381,7	12,35%		1227,58	75,11%	
M3 0,80 C12 T 150	656,48	20,60%	1,25	83,98	15,80%	0,33
M3 0,80 C12 T 300	526,22	9,15%		255,03	71,79%	
M3 0,95 C12 L 150	701,2	2,25%	1,30	127,50	19,83%	0,23
M3 0,95 C12 L 300	538,78	5,12%		555,01	63,51%	
M3 0,95 C12 T 150	756,81	17,80%	1,27	131,07	2,26%	0,40
M3 0,95 C12 T 300	595,33	12,27%		331,81	34,59%	
		Xm	1,19		Xm	0,20
		Var(x)	1,61		Var(x)	0,04
		DP	1,27		DP	0,21

Com base na análise dos resultados, foi observada pouca influência do espaçamento entre os parafusos sobre os resultados em relação a força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) nos modelos M1 e M2 (média de 2% e 7% de diferença no valor da força máxima, respectivamente). No modelo M3, as séries com espaçamento de 150 mm apresentaram maior força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) (média de 19%) em relação às séries com espaçamento de 300mm. Quanto aos valores de rigidez por ligação (k_e), às séries com espaçamento de 150 mm do modelo M1 e do modelo M2 apresentaram maior rigidez (k_e) em relação ao espaçamento de 300 mm. As séries com espaçamento de 300 mm dos modelo M3, apresentaram maior rigidez (k_e) em relação às séries com espaçamento de 150 mm.

5.4.4. Análise da influência da espessura dos perfis de aço

A influência da espessura dos perfis de aço nos resultados das séries do modelo M1 foram: em relação à espessura de 0,95mm os resultados foram em média 9% superiores aos da

espessura de 0,80mm em relação à força máxima por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$). As séries com espessura de aço de 0,80 mm apresentaram valores de rigidez (k_e) em média 48% maiores que as séries de aço com espessura de 0,95 mm (Tabela 5.38).

Tabela 5.38 - Análise da influência da espessura dos perfis de aço do modelo M1.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espessura 0,80/0,95	ke (N/mm)	Cv (%)	Espessura 0,80/0,95
M1 0,80 C10 L 150	1.570,64	6,28%	0,86	6.219,54	102,77%	2,28
M1 0,95 C10 L 150	1.828,40	4,47%		2.731,04	8,67%	
M1 0,80 C10 T 150	1.616,82	5,58%	0,94	2.454,19	20,75%	1,06
M1 0,95 C10 T 150	1.711,54	2,06%		2.315,24	41,79%	
M1 0,80 C10 L 300	1.657,19	1,89%	0,91	1.947,90	32,51%	1,06
M1 0,95 C10 L 300	1.829,97	7,91%		1.839,30	17,07%	
M1 0,80 C10 T 300	1.642,26	4,96%	0,94	1.519,88	32,11%	0,96
M1 0,95 C10 T 300	1.749,86	4,85%		1.579,16	21,65%	
M1 0,80 C12 L 150	1.857,62	5,46%	0,88	3.340,61	20,76%	1,63
M1 0,95 C12 L 150	2.103,13	2,12%		2.049,64	27,39%	
M1 0,80 C12 T 150	1.820,39	8,59%	0,91	3.606,30	42,54%	2,67
M1 0,95 C12 T 150	2.003,70	4,43%		1.349,64	23,84%	
M1 0,80 C12 L 300	1.941,50	5,71%	0,94	2.017,51	21,48%	1,14
M1 0,95 C12 L 300	2.065,59	4,68%		1.777,53	43,20%	
M1 0,80 C12 T 300	1.908,51	10,29%	0,92	1.640,84	19,91%	1,07
M1 0,95 C12 T 300	2.067,16	0,63%		1.532,37	15,68%	
		Xm	0,91		Xm	1,48
		Var(x)	0,95		Var(x)	2,51
		DP	0,98		DP	1,59

Na análise feita acerca do modelo M2, percebeu-se que as séries com perfis de aço com espessura de 0,95mm apresentaram 7% a mais de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx Parafuso}}$) em relação aos espécimes das séries com aço de 0,80mm. Enquanto as séries com aço de 0,95mm apresentaram 24% a mais de rigidez por ligação (k_e) que as séries com perfis de aço de 0,80mm, conforme mostra a Tabela 5.39.

Tabela 5.39 - Análise da influência da espessura dos perfis de aço do modelo M2.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espessura 0,80/0,95	ke (N/mm)	Cv (%)	Espessura 0,80/0,95
M2 0,80 C10 L 150	1.817,09	8,05%	0,91	2.082,73	20,85%	0,91
M2 0,95 C10 L 150	1.994,97	2,97%		2.291,25	12,24%	
M2 0,80 C10 T 150	1.896,26	3,02%	0,95	1.618,30	62,30%	0,92
M2 0,95 C10 T 150	1.995,22	4,42%		1.756,41	12,88%	
M2 0,80 C10 L 300	2.145,70	9,31%	0,94	1.243,60	27,72%	0,71
M2 0,95 C10 L 300	2.271,37	5,81%		1.746,87	27,02%	
M2 0,80 C10 T 300	1.919,51	3,34%	0,96	939,79	24,74%	0,48
M2 0,95 C10 T 300	2.005,90	2,96%		1.969,06	39,32%	
M2 0,80 C12 L 150	2.186,54	0,71%	0,94	1.595,44	13,29%	1,05
M2 0,95 C12 L 150	2.322,26	6,10%		1.512,74	27,44%	
M2 0,80 C12 T 150	2.224,24	2,16%	0,97	1.324,62	33,30%	0,75
M2 0,95 C12 T 150	2.293,04	10,87%		1.770,68	45,81%	
M2 0,80 C12 L 300	2.213,25	9,79%	0,86	1.274,67	7,62%	0,48
M2 0,95 C12 L 300	2.569,82	2,87%		2.656,62	61,91%	
M2 0,80 C12 T 300	2.327,91	4,06%	0,92	1.128,42	22,09%	0,80
M2 0,95 C12 T 300	2.521,12	4,02%		1.413,98	59,18%	
		Xm	0,93		Xm	0,76
		Var(x)	0,99		Var(x)	0,66
		DP	1,00		DP	0,82

Na análise feita acerca do modelo M3, percebeu-se que as séries com perfis de aço com espessura de 0,95 mm apresentaram 15% a mais de força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso). As séries com aço de 0,80mm apresentaram valores de rigidez (k_e) 157% maiores que os espécimes das séries com perfis de aço de 0,95mm, ver Tabela 5.40.

Tabela 5.40 - Análise da influência da espessura dos perfis de aço do modelo M3.

Série	Pmáx Parafuso (N)	Cv (%)	Espessura 0,80/0,95	ke (N/mm)	Cv (%)	Espessura 0,80/0,95
M3 0,80 C10 L 150	460,87	17,00%	1,01	217,52	28,54%	1,36
M3 0,95 C10 L 150	455,22	8,07%		160,27	8,93%	
M3 0,80 C10 T 150	478,78	12,14%	0,76	137,89	33,23%	0,91
M3 0,95 C10 T 150	632,4	7,57%		152,10	7,78%	
M3 0,80 C10 L 300	358,14	8,22%	0,72	1262,76	110,42%	0,54
M3 0,95 C10 L 300	496,37	21,95%		2328,83	104,79%	
M3 0,80 C10 T 300	552,92	19,76%	1,14	1046,42	103,15%	1,11
M3 0,95 C10 T 300	483,8	30,09%		940,98	117,46%	
M3 0,80 C12 L 150	495,26	11,93%	0,71	100,55	20,79%	1,20
M3 0,95 C12 L 150	701,2	2,25%		83,98	15,80%	
M3 0,80 C12 T 150	656,48	20,60%	0,87	1227,58	75,11%	4,81
M3 0,95 C12 T 150	756,81	17,80%		255,03	71,79%	
M3 0,80 C12 L 300	381,7	12,35%	0,71	127,50	19,83%	0,97
M3 0,95 C12 L 300	538,78	5,12%		131,07	2,26%	
M3 0,80 C12 T 300	526,22	9,15%	0,88	555,01	63,51%	1,67
M3 0,95 C12 T 300	595,33	12,27%		331,81	34,59%	
		Xm	0,85		Xm	1,57
		Var(x)	0,83		Var(x)	2,82
		DP	0,91		DP	1,68

A partir das análises feitas em relação à influência da espessura dos perfis de aço sobre os resultados obtidos, observou-se que as séries compostas por perfis de aço de 0,95mm suportaram maior força máxima por parafuso (P_{máx} Parafuso) em comparação com os espécimes das séries com perfis de aço de 0,80 mm. Todavia, foram os perfis de aço com espessura de 0,80 mm que apresentaram maior rigidez (k_e) em relação às séries com perfis de 0,95 mm, exceto no modelo M2 onde as séries de 0,95mm de espessura de aço tiveram maiores valores de rigidez.

5.4.5. Análise da influência da posição dos parafusos nos modelos

Conforme ilustrado nas Figura 5.2 a Figura 5.7, os parafusos ocupavam posições diferentes de acordo com cada modelo. No modelo M1 os parafusos foram posicionados nas bordas laterais das placas cimentícias e a aplicação da força durante o ensaio era paralela ao alinhamento dos parafusos. No modelo M2 os parafusos foram posicionados na região central das placas cimentícias e a aplicação da força durante o ensaio também era paralela ao alinhamento dos parafusos. No terceiro modelo (M3), os parafusos foram posicionados na borda inferior das placas cimentícias e a aplicação da força durante o ensaio era perpendicular ao alinhamento dos parafusos. Portanto, quando os três modelos são comparados é possível observar comportamentos diferenciados quanto à posição dos parafusos.

Para a análise da influência da posição dos parafusos nos modelos foram utilizadas as séries que obtiveram as menores (ver Tabela 5.41) e as maiores forças (ver Tabela 5.42).

Tabela 5.41 - Análise da influência da posição dos parafusos nos modelos (menores valores médios).

Série	P _{máx} Parafuso (N)	C _v (%)	Diferença percentual em relação ao M2	k _e (N/mm)	C _v (%)
M1 0,80 C10 L 150	1.570,64	6,28%	86,44%	6.219,54	102,77%
M2 0,80 C10 L 150	1.817,09	8,05%	100,00%	2.082,73	20,85%
M3 0,80 C10 L 300	358,14	8,22%	19,71%	1262,76	110,42%

Tabela 5.42 - Análise da influência da posição dos parafusos nos modelos (maiores valores médios).

Série	P _{máx} Parafuso (N)	C _v (%)	Diferença percentual em relação ao M2	k _e (N/mm)	C _v (%)
M1 0,95 C12 L 150	2.103,13	2,12%	81,84%	2.049,64	27,39%
M2 0,95 C12 L 300	2.569,82	2,87%	100,00%	2.656,62	61,91%
M3 0,95 C12 T 150	756,81	17,80%	29,45%	131,07	2,26%

A partir da Tabela 5.41 e Tabela 5.42 observa-se que parâmetros que influenciaram diretamente os modelos são a espessura da PLC e a espessura do perfil de aço. Desta forma, quanto menor a espessura do aço e da placa menor é o valor de P_{máx} e maior tende a ser a

rigidez (k_e). Quanto à influência das variáveis direção do corte da placa e espaçamento entre os parafusos não foram conclusivas as observações feitas até o momento.

No que tange a comparação direta entre os modelos, observa-se que os modelos M2 foram os que resistiram à maior força máxima, seguidos pelos modelos M1. O modelo M3 foi o que obteve as menores forças máximas no geral. A quarta coluna da Tabela 5.41 e da Tabela 5.42 apresenta a diferença percentual em relação ao modelo M2. Nela observa-se que o modelo M1 atingiu pouco mais que 80% do $P_{m\acute{a}x}$ de M2 e o modelo M3 ficou apenas com 20% e 29% de $P_{m\acute{a}x}$, aproximadamente.

No que tange a rigidez (k_e) os valores alcançados foram muito dispersos, sem que houvesse uma convergência na análise deste parâmetro.

5.4.6. Comparação entre os resultados da Presente Pesquisa com os resultados das revisões bibliográficas

Na revisão bibliográfica destacam-se quatro pesquisas realizadas com placas cimentícias e PFF. Estas pesquisas foram realizadas em diversos países e principalmente as placas (produzidas regionalmente) apresentam grande variedade características devido a composição e traço distintos. Conforme Tabela 5.43, a espessura das placas ensaiadas estruturalmente é uma propriedade que pode ser considerada análoga, com exceção da pesquisa de Shahi et al (2014).

Tabela 5.43 - Referências bibliográficas segundo o país de origem e as espessuras de placas utilizadas

Autor	País da pesquisa	Espessura PLC (mm).
Baldasino et al (2014)	Itália e Canadá	12,5
		10,0
Accorti et al (2016)	Itália e Canadá	12,5
		10,0
Shahi et al (2014)	Austrália	5,0
Mohebbi et al (2016)	Irã, Reino Unido e Estados Unidos	10,0
Cardoso (2019)	Brasil	12,0
		10,0

Em relação aos parâmetros tensão de escoamento do aço e a seção dos perfis, estas informações nem sempre ficavam evidentes nas publicações. As configurações dos painéis ensaiados também apresentaram variações de uma pesquisa para outra. A Tabela 5.44 traz um compilado das características do aço e da configuração dos painéis. Portanto, pode-se inferir que a presente pesquisa está alinhada com as principais pesquisas internacionais realizadas com o sistema LSF e as placas cimentícias.

Tabela 5.44 - Características do aço e configurações dos painéis

Autor	Resistência ao escoamento – f_y (MPa)	Espessura da chapa de Aço (mm)	Espaçamento entre Montantes (mm)	Espaçamento Parafusos (mm)**
Baldasino et al (2014)	280	1,20	400	-
Accorti et al (2016)	280	1,20	400	150(E) e 300 (I)/ 200(E) e 400(I)
Shahi et al (2014)	-	0,75	450 e 600	100(E) e 150(I)
Mohebbi et al (2016)	325	1,25	600	50(E) e 300 (I)
Cardoso (2019)	280*	0,80 e 0,95	400	150 e 300
* Resistência de escoamento (f_y) do aço com espessura de 0,95mm.				
** Somente parafusos Externos (E); Somente parafusos internos (I)				

6. CONCLUSÕES

Este capítulo irá resumir a pesquisa realizada e trazer algumas conclusões encontradas por meio de três tópicos, cada tópico tratando especificamente de um tipo de ensaio: Resistência à Tração na Flexão, Resistência a Compressão e Deslizamento. Com a finalidade de analisar e discutir o comportamento entre as ligações das placas cimentícias com o reticulado metálico do sistema estrutural Light Steel Frame, por meio de um estudo teórico e experimental das propriedades mecânicas da placa cimentícia e do conjunto placa cimentícia, parafuso e PFF.

6.1. Ensaio Resistência à Tração na Flexão

Este ensaio foi capaz de determinar propriedades mecânicas importantes para a caracterização das placas cimentícias como componente de revestimento. Além disso, foi possível observar o comportamento da placa cimentícia submetida a um ensaio adaptado, o ensaio resistência à tração na flexão com a placa na posição vertical.

Considerando a classe B, placas aplicadas em ambientes internos e externos com ensaio não saturado, da norma NBR 15498 (ABNT, 2016), as placas de ambas as espessuras foram classificadas como categoria 2 com resistência à tração na flexão maior que 7MPa e menor que 10MPa. Para esta classificação foi tomado o menor valor obtido nos ensaios de flexão na posição horizontal conforme Tabela 3.10.

Além disto, foi possível constatar que a posição de trabalho na direção longitudinal da placa é em média 52,75% superior à direção transversal da placa cimentícia no que tange a resistência a tração na flexão alcançada nos ensaios. Para o módulo de elasticidade, E, o incremento médio foi de 18,75% nos valores da direção longitudinal em relação aos valores na direção transversal.

Em relação à espessura, quanto maior a espessura, melhores são os resultados alcançados. Entretanto, este incremento nos valores não repercutiu em relação à classificação da categoria de resistência das placas, uma vez que ambas as placas de 10mm e de 12mm de espessura alcançaram o mesmo patamar de resistência estabelecido por norma.

Por fim, com a aplicação do ensaio de resistência à tração na flexão com os corpos de prova na posição vertical, foram obtidos valores menores quando comparados com os corpos de

prova na posição horizontal. Isto era esperado, uma vez que, a resistência a tração na flexão e o módulo de elasticidade são inversamente proporcionais ao momento de inércia. Que, por sua vez, é maior para os CP's na posição vertical. Este ensaio de flexão vertical não é normatizado e por isso os valores obtidos não puderam ser levados em consideração na classificação da norma NBR 15498 (ABNT, 2016). Entretanto, ao classificar as PLC's segundo a mesma norma o material também ficaria na categoria 2 para placas classe B.

A placa cimentícia comportou-se de forma previsível e coerente. Ficaram bem definidas as fases dos ensaios, principalmente no que tange a fase elástica responsável pela obtenção do módulo de elasticidade. No entanto, os ensaios de resistência à tração na flexão na posição vertical apresentaram gráficos heterogêneos e sem uma fase elástica bem definida. Deste modo os módulos de elasticidade (E) obtidos nestes ensaios, não foram coerentes.

6.2. Ensaio Resistência de Compressão

Conforme destaque das análises do capítulo 4, os ensaios de resistência a compressão, da maneira como foram executados, não representaram a realidade dos materiais cimentícios. Isto porque os ensaios de resistência à tração na flexão na posição horizontal obtiveram valor médio (12,16MPa) 29% maior que o valor médio de resistência a compressão obtido (9,42MPa).

Ademais, destaca-se que os resultados encontrados foram de baixa a média dispersão. Com relação às variáveis espessura da placa (10mm e 12mm) e direção de corte de retirada dos CP's (longitudinal e transversal) os resultados não foram conclusivos. A variação entre os parâmetros das séries não implicou em diferenças significativas nos valores de tensão máxima de compressão.

Conclui-se que o processo de fabricação dos corpos de prova não foi adequado. Tal processo se deu de maneira artesanal com corte das chapas feito com esmerilhadeira e posteriormente lixada manualmente. Conclui-se ainda que, mesmo utilizando o Neoprene para a regularização da base, este não foi suficiente para uma regularização adequada. Portanto, a aplicação de carga de compressão foi acompanhada por uma elevada excentricidade. A excentricidade por sua vez, possibilitou que todos os CP's rompessem antes do esperado e alcançassem valores similares uns aos outros.

Este fato, porém, não invalida a caracterização das placas uma vez que conforme destaca AZEVEDO (2018), “a resistência a flexão mostra-se preponderantemente mais importante que a compressão axial, visto a disposição do produto no momento de sua aplicação”.

6.3. Ensaio de Deslizamento

Os ensaios de deslizamento permitiram várias análises e comparação de hipóteses uma vez que foram considerados quatro parâmetros, são eles: espessura da chapa de aço, espessura da placa cimentícia, espaçamento dos parafusos e direção de retirada dos espécimes. Cada parâmetro foi avaliado segundo duas variáveis cada um: 0,80mm e 0,95mm de espessura chapa de aço, 10mm e 12mm de espessura de placa cimentícia, 150mm e 300mm de espaçamento entre parafusos e direção longitudinal e direção transversal de corte dos espécimes. A partir das 48 séries ensaiadas e dos resultados das referências bibliográficas foi possível concluir que, de maneira geral, a pesquisa realizada está alinhada com as principais pesquisas internacionais realizadas com o sistema LSF e as placas cimentícias.

Conclui-se ainda que os parâmetros que influenciaram igualmente nos resultados dos modelos foram a espessura da PLC e a espessura do perfil de aço. Desta forma, quanto menor a espessura do aço e da placa menor é o valor de $P_{máx}$ e maior tende a ser a rigidez da ligação (k_e). As observações quanto as variáveis direção do corte da placa e espaçamento axial entre os parafusos não foram conclusivos. Além disso, de acordo com o processo de fabricação das placas cimentícias não justifica classificar ou diferenciar as placas com relação à direção longitudinal e a direção transversal.

No que tange a espessura das placas cimentícias, quanto mais espessa maior é a força máxima resistida. A força máxima encontrada na placa de 12mm de espessura foi em média 14% maior que a placa de 10mm. Ao passo que a rigidez foi maior nos espécimes de 10mm com relação às médias de todos os modelos ensaiados.

Ademais, em relação à espessura do aço dos perfis utilizados, todas as séries com aço mais espesso (0,95mm) resistiram a maiores forças máximas por parafuso.

Para os modelos M1 e M2, um número maior de parafusos significou uma força solicitante menor por cada ligação. Todavia, esta diminuição da força solicitante foi em média de 4,5%. Valor percentual baixo para ser conclusivo. Além disso, nos modelos M3 a tendência foi

inversa. Nas séries do terceiro modelo os espécimes com espaçamento de 150mm entre ligações obtiveram forças máximas por parafusos 19% maior que os de 300mm. Neste caso, a posição relativa dos parafusos e da aplicação de carregamento, com a força sendo aplicada na principal direção de falha por rasgamento do modelo pode justificar uma maior resistência quanto se tem mais parafusos.

Comparando-se o comportamento do espaçamento dos parafusos em relação à rigidez do subsistema de ligação tem-se que em M1 e M2 a rigidez (k_e) dos espécimes com espaçamento de 150 é maior. Para o modelo M3 a maior rigidez está associada ao espaçamento de 300mm. Porém ambos valores de k_e do modelo M3 são consideravelmente inferiores aos demais modelos.

Desta forma, a pesquisa desenvolvida pretende contribuir para estudos futuros acerca do efeito diafragma dos painéis de cisalhamento utilizando placas cimentícias com função estrutural, uma vez que foram obtidos valores de força máxima ($P_{m\acute{a}x}$) atingida por parafuso, de rigidez da ligação (k_e) do subsistema e o módulo de elasticidade (E) da placa cimentícia.

6.4. Recomendações e Sugestões para Estudos Posteriores

São sugestões para estudos futuros:

- i) Executar ensaios de cisalhamento com placas cimentícias de 10mm e 12mm de espessura nominal, conforme as norma americana ASTM D2719-13 a fim de obter valores de módulo de elasticidade transversal e posteriormente utilizando o módulo de elasticidade encontrado no capítulo 3 calcular o coeficiente de Poisson do material;
- ii) Realizar uma pesquisa com painéis (com e sem placas de revestimento) em tamanho real de paredes com aplicação de forças cíclicas e conforme ação do vento nos painéis de cisalhamento.
- iii) Realizar uma modelagem numérica com os parâmetros de rigidez encontrados nesta pesquisa para os painéis de cisalhamento do sistema Light Steel Framing, visando à uma análise paramétrica para a proposição de equações relacionadas ao projeto e ao dimensionamento do sistema estrutural LSF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCORTI, et al. Response of CFS Sheathed Shear Walls. **Structures**, v. 8, n. Part 2, p. 318-330, November 2016.

AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE, A. **S213-07/S1-09 - North American Standard for Cold-Formed Steel Framing - Lateral Design 2007 Edition with Supplement No. 1**. Washington, p. 72. 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D2719 – 13: Standard Test Methods for Structural Panels in Shear Through-the-Thickness**. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Philadelphia, p. 11. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, A. **ASTM D3043 – 00 (Reapproved 2011) - Standard Test Methods for Structural Panels in Flexure**. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Philadelphia, p. 13. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.215: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, p. 8. 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, p. 6. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, p. 87. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6355: Perfis estruturais de aço Formados à frio**. Rio de Janeiro, p. 36. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15253: Perfis de aço formados a frio, com revestimento metálico, para painéis estruturais reticulados em edificações - Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, p. 24. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15498: Placa de fibrocimento sem amianto — Requisitos**. Rio de Janeiro, p. 24. 2016.

AZEVEDO, A. R. G. **DESENVOLVIMENTO DE PLACAS CIMENTÍCIAS REFORÇADAS COM INCORPORAÇÃO DO LODO PRIMÁRIO DA INDÚSTRIA DE PAPEL DE CELULOSE**. UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO – UENF. CAMPOS DOS GOYTACAZES, p. 186. 2018.

BALDASSINO, N. et al. **Lateral Loading Response of CFS Framed Shear Wall with Cement Board Panels**. 22nd International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Saint Louis: Missouri University of Science and Technology. 2014. p. 793-807.

CALLISTER JR, W. D. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 5. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2000.

CARDOSO, S. ; BARROS, M. M. B. D. **ESPECIFICAÇÃO DE PERFIS PARA DRYWALL E LIGHT STEEL FRAMING**. Congresso Latinoamericano da Construção Metálica - Constru Metal. São Paulo: [s.n.]. 2016. p. 17.

CONSULSTEEL. **Construcción con acero liviano – Manual de Procedimiento**. CONSUL STEEL. Buenos Aires, p. 303. 2002.

DATCHOUA, J. S. **Estudo Teórico-Experimental do Comportamento da Ligação de Placas de OSB com Perfis do Reticulado Metálico do Sistema Construtivo Light Steel Framing sob Força Monotônica de Cisalhamento**. UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Belo Horizonte, p. 232. 2018.

DATCHOUA, J. S. **Estudo Teórico-Experimental do Comportamento da Ligação de Placas de OSB com Perfis do Reticulado Metálico do Sistema Construtivo Light Steel Framing sob Força Monotônica de Cisalhamento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 232. 2018.

DATCHOUA, J. S.; RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R. B. Estudo experimental da ligação de painéis de OSB com perfis do reticulado metálico do sistema construtivo Light Steel Framing. **Revista da Estrutura de Aço - REA**, v. 7, p. 341-361, Dezembro 2018. ISSN 3.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION EN 1994-1-1. **Eurocode 4: Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1: General Rules and Rules for Buildings**. Bruxelas, p. 121. 2004.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HOFMANN, G. A. A. **TRATAMENTOS DE JUNTAS INVISÍVEIS EM PLACAS CIMENTÍCIAS NO FECHAMENTO DE SISTEMAS LIGHT STEEL FRAMING**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP. Ouro Preto, p. 105. 2015.

LEAL, MARIA LUISA CAMPOS MACHADO; FERREIRA, CARLA MARIA NAVES; MATTOS, CYNTHIA ARAÚJO NASCIMENTO; LEITE, CLAUDIONEL CAMPOS; SOUZA, WILLIAN CECILIO DE. **MANUAL DA CONSTRUÇÃO INDUSTRIALIZADA**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Asa Norte, p. 208. 2015.

MEDEIROS, H. Placas cimentícias: Sem amianto, produto recupera mercado. **Finestra**, São Paulo, n. 60, 2005.

MOEN, C. D. et al. **Towards Load-Deformation Models for Screw-Fastened Cold-Formed Steel-to-Steel Shear Connections**. 22nd International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Saint Louis: Missouri University of Science and Technology. 2014. p. 761-774.

MOHEBBI, S. et al. Experiments on seismic behaviour of steel sheathed cold-formed steel shear walls clad by gypsum and fiber cement boards. **Thin-Walled Structures - TWS**, v. 104, p. 238-247, March 2016.

MONTEIRO, P. J. M.; MILLER, S. A.; HORVATH, A. Towards sustainable concrete. **NATURE MATERIALS**, v. 16, p. 698-699, Julho 2017.

MOURA, J. M. B. M.; MATOS, L. F. D. S. PLACAS CIMENTÍCIAS À BASE DE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES. **REA – Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 17, n. 1, p. 54-63, jan/jun 2015. ISSN 1983 1501.

OLIVIERI, H. et al. A utilização de novos sistemas construtivos para a redução no uso de insumos nos canteiros de obras: Light Steel Framing. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, Oct./Dec. 2017. ISSN 4.

RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R. B. **Steel framing: engenharia**. INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Rio de Janeiro, p. 224. 2016. (2).

SANTIAGO, A. ; FREITAS, A. M. S.; CRASTO, R. C. M. D. **Steel framing: arquitetura**. INSTITUTO AÇO BRASIL/CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Rio de Janeiro, p. 151. 2012.

SHAHI, et al. **In-Plane Behavior of Cold-Formed Steel-Framed Shear Wall Panels Sheathed with Fibre Cement Board**. 22nd International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures. Saint Louis: Missouri University of Science and Technology. 2014. p. 809-823.

SILVA, E. ; PIERIN, I.; SILVA, P. E. **Estruturas compostas por perfis formados a frio – Dimensionamento pelo método das larguras efetivas e aplicação conforme ABNT NBR 14762:2010 e ABNT NBR6355:2012**. INSTITUTO AÇO BRASIL / CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. Rio de Janeiro, p. 192. 2014.

SILVA, M. J. et al. **RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO EM CONCRETOS**. 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Cuiabá: [s.n.]. 2014. p. 613-620.

SPECK, J. A. **Análise do Desempenho de Placas Cimentícias Através da Adição de Fibras e Telas, Visando a Redução de Deformações Térmicas e Patologias**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. PORTO ALEGRE, p. 112. 2014.

TESTOLINO, P. ; NETO, S.; JUNIOR, A. L. M. **SISTEMA CONSTRUTIVO EM «STEEL FRAMING»: O PROBLEMA DA FISSURA NAS JUNTAS ENTRE PLACAS CIMENTÍCIAS DE FECHAMENTO**. XIX Congresso Interno de Iniciação Científica - UNICAMP. Campinas: [s.n.]. 2011.

VILLELA, S. M. **Determinação das Propriedades Mecânicas das Placas de OSB e do Comportamento da Ligação entre as Placas de OSB e o Reticulado de Aço do Sistema Light Steel Framing**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerias. Belo Horizonte, p. 199. 2015.

VILLELA, S. M.; RODRIGUES, F. C.; CALDAS, R.. **Estudo teórico-experimental sobre a estabilidade estrutural de painéis de cisalhamento (“Shear Wall”) do sistema construtivo Light Steel Framing**. Congresso Latino-americano da Construção Metálica - Contrumetal. São Paulo: [s.n.]. 2014.

VITOR, R. O. **Modelagem Numérica de Diagonais Equivalentes em Painéis de Cisalhamento do Sistema Light Steel Framing**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, p. 131. 2012.

<https://lacarlotamaderas.com/como-colocar-placas-cemento-superboard/> acessado em 23/01/2019

APENDICE A

APENDICE A

Neste apêndice encontram-se compilados todos os gráfico gerados a partir dos ensaios de deslizamento. Cada gráfico corresponde ao ensaio destrutivo de um dos espécimes desta pesquisa. Nos gráficos força (força por parafuso) *versus* deslocamento (deslocamento relativo) tem-se três curvas: a curva gerada a partir dos dados fornecidos pelo software de aquisição de dados nomeada com o mesmo nome do espécime, curva teórica com aproximação bilinear calculada por meio dos conceitos apresentados no item 5.2.1 desta pesquisa nomeada curva teórica e uma terceira curva, a curva suavizada, gerada a partir de uma tabela programada para redução dos pontos e suavização do gráfico.

Após a apresentação de seis gráficos, ou duas séries, apresenta-se uma tabela com os valores de força máxima ($P_{\text{máx}}$), rigidez (k_e), energia dissipada (A) e ductilidade (μ) encontrados por meio das curvas suavizadas. Além disso, para cada série são apresentados os valores médios (X_m) e os coeficientes de variação de cada parâmetro.

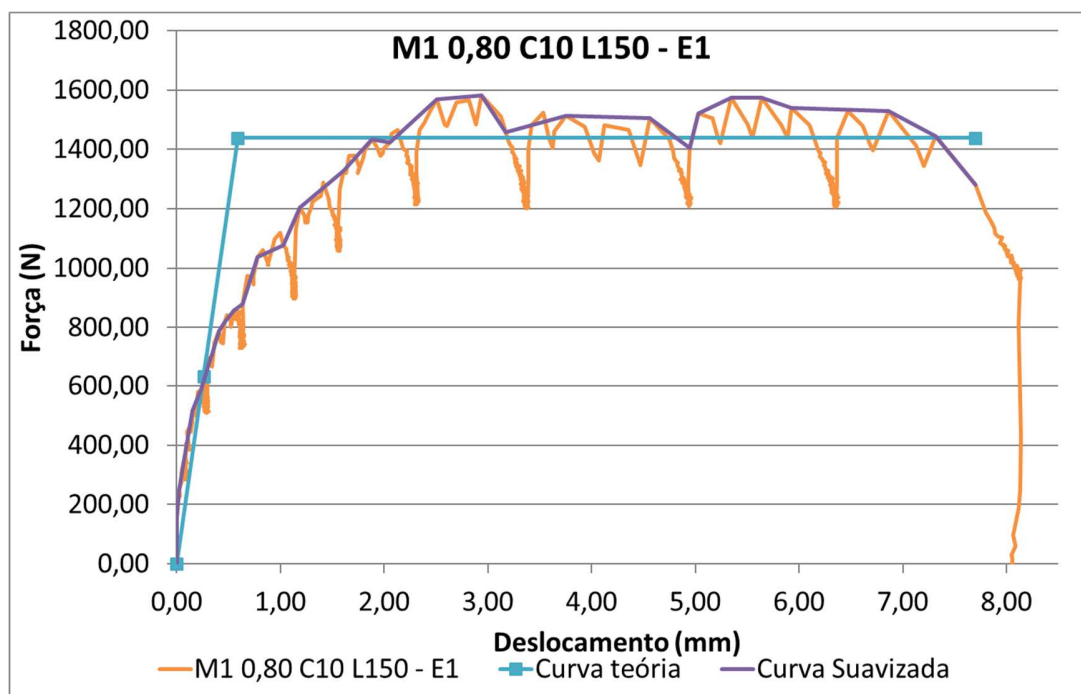


Figura 1 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

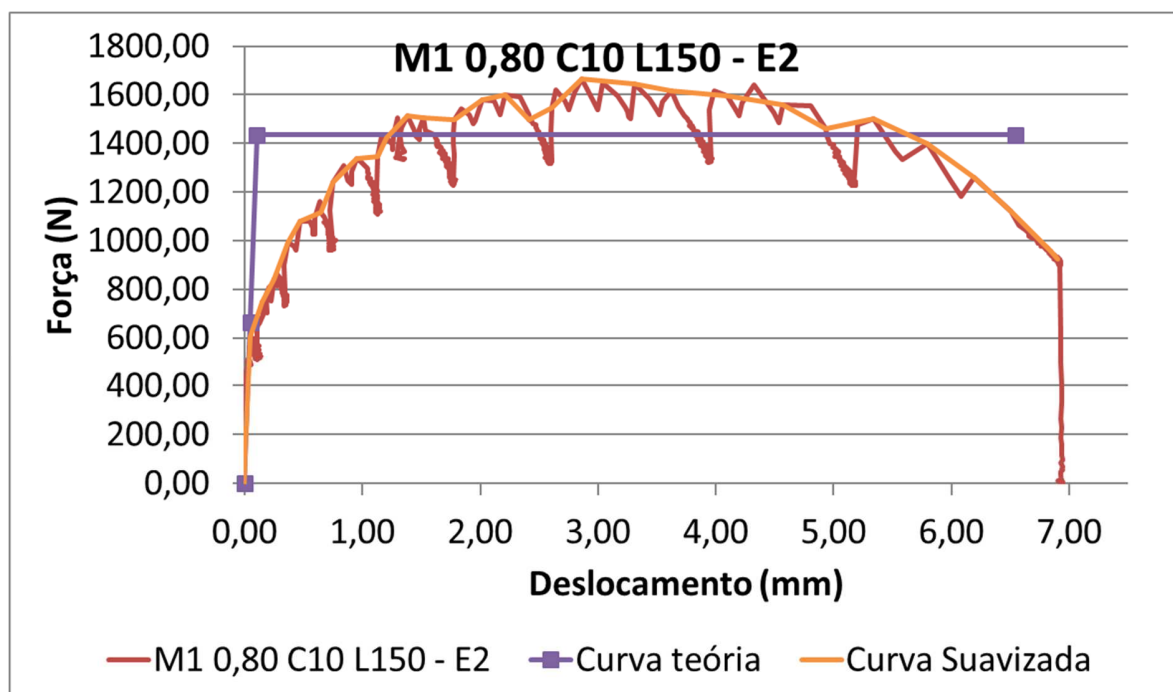


Figura 2 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

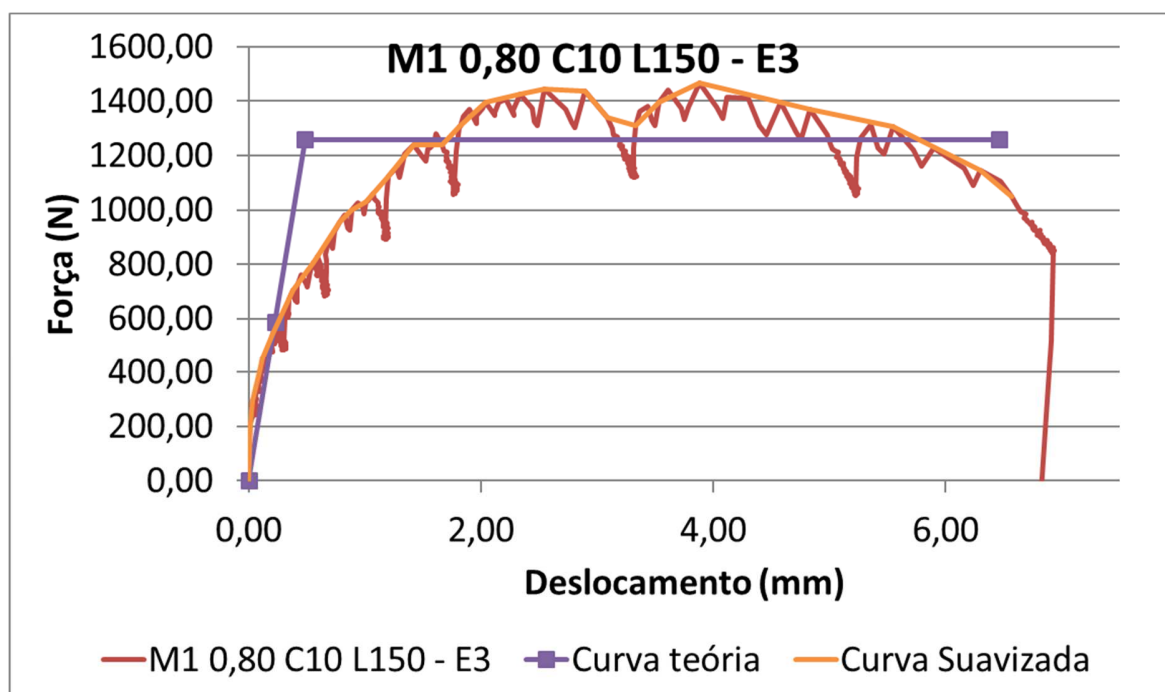


Figura 3 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

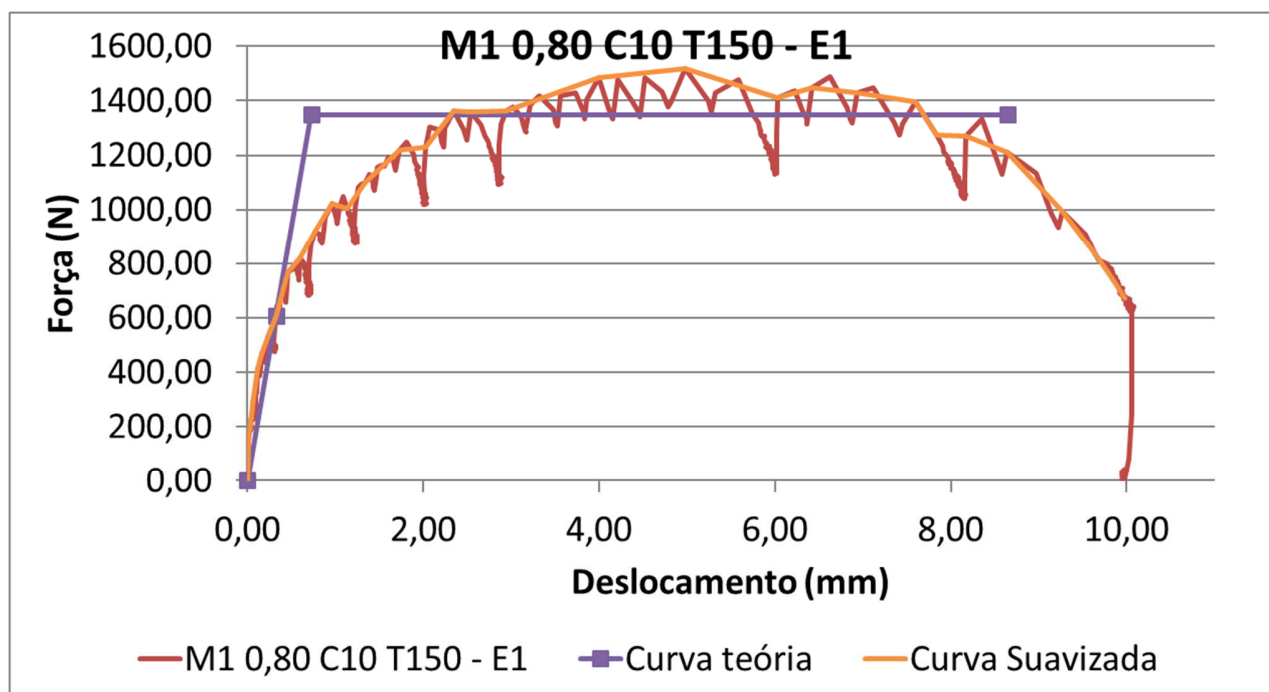


Figura 4 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

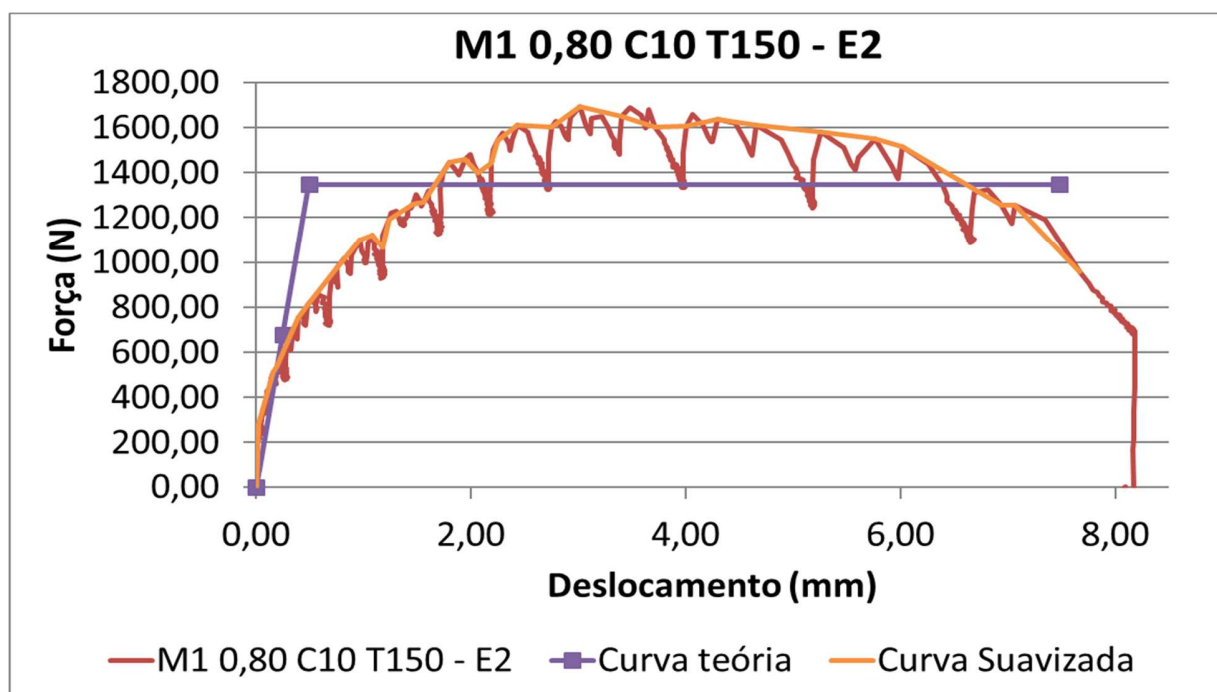


Figura 5 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

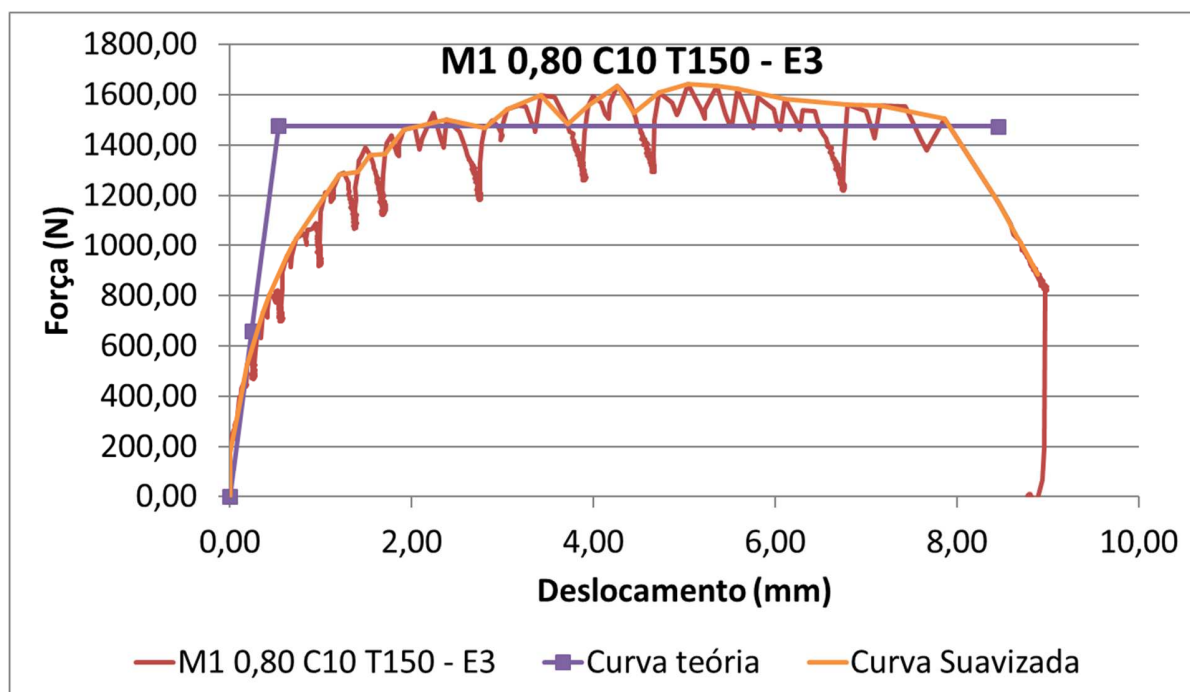


Figura 6 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 1 - Tabela resumo dos espécimes “M1 0,80 C10 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M1 0,80 C10 L150 - E1	1580,53	2446,05	10654,77	13,09
M1 0,80 C10 L150 - E2	1663,94	13599,68	9311,62	61,98
M1 0,80 C10 L150 - E3	1467,43	2612,90	7822,83	13,40
X_m	1570,64	6219,54	9263,07	29,49
$C_v \text{ (%)}$	6,28%	102,77%	15,29%	95,41%
M1 0,80 C10 T150 - E1	1516,91	1866,37	11185,30	11,97
M1 0,80 C10 T150 - E2	1692,21	2740,05	9752,99	15,20
M1 0,80 C10 T150 - E3	1641,32	2756,15	12068,03	15,81
X_m	1616,82	2454,19	11002,11	14,33
$C_v \text{ (%)}$	5,58%	20,75%	10,62%	14,40%

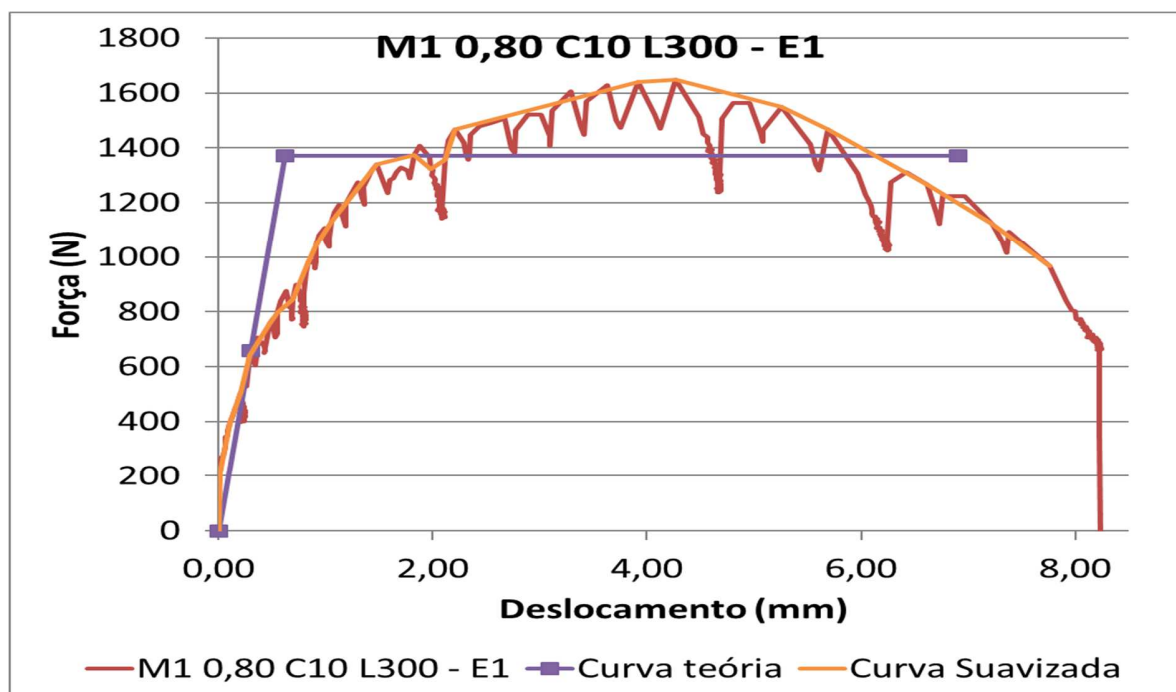


Figura 7 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

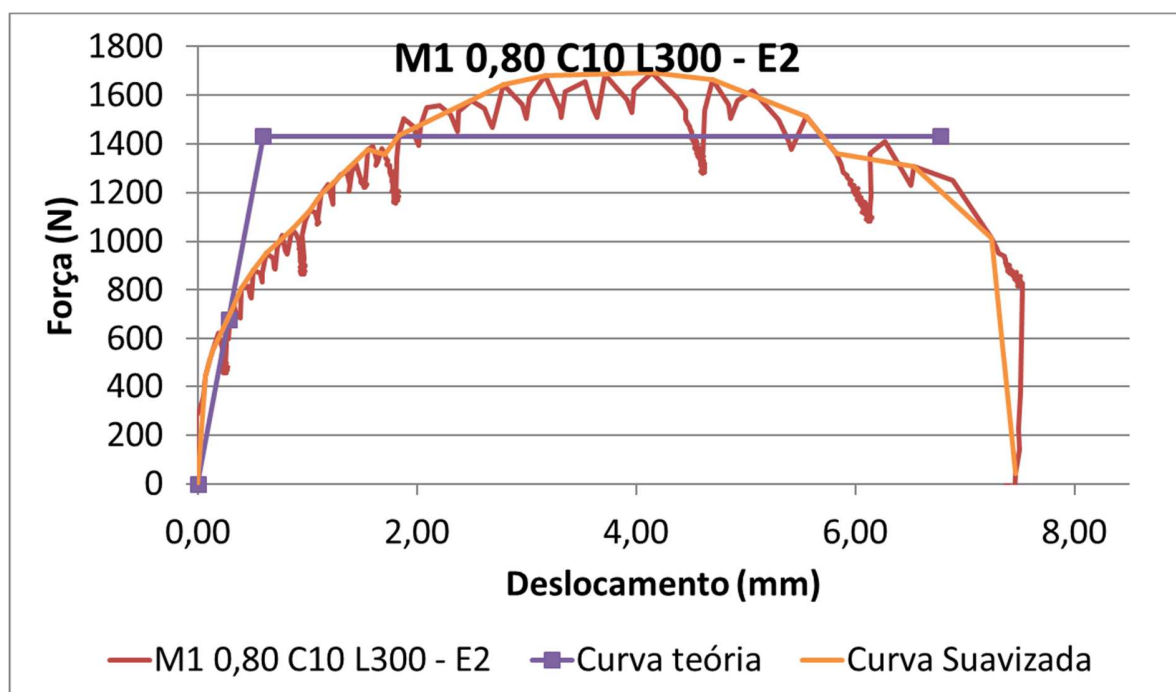


Figura 8 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

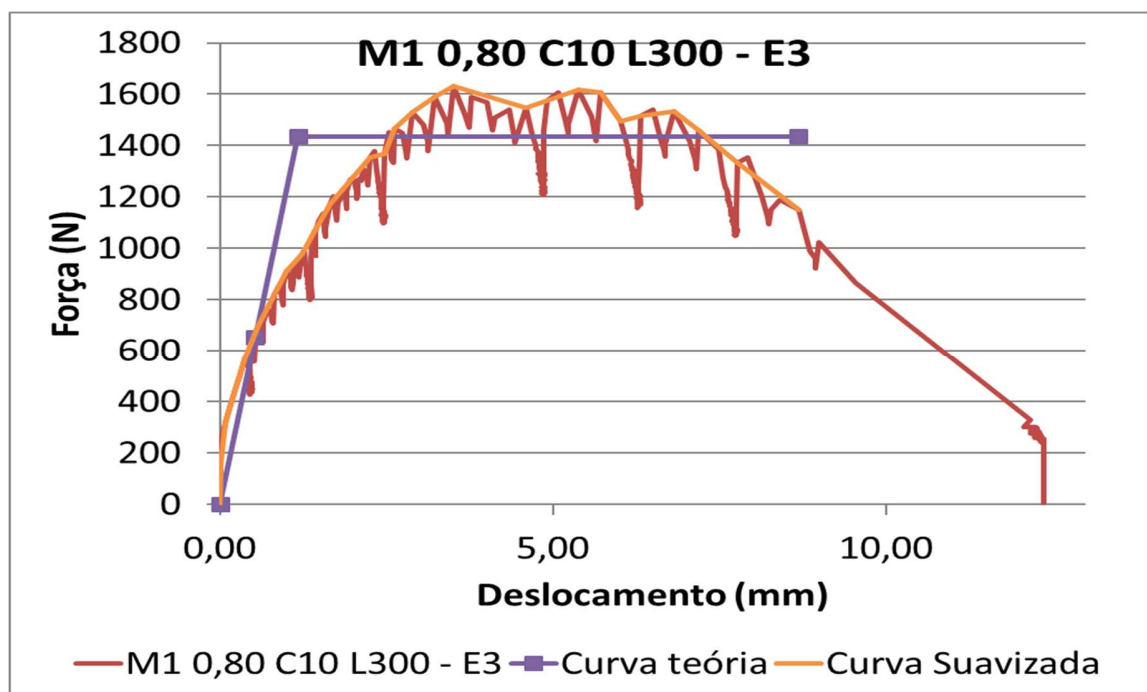


Figura 9- Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

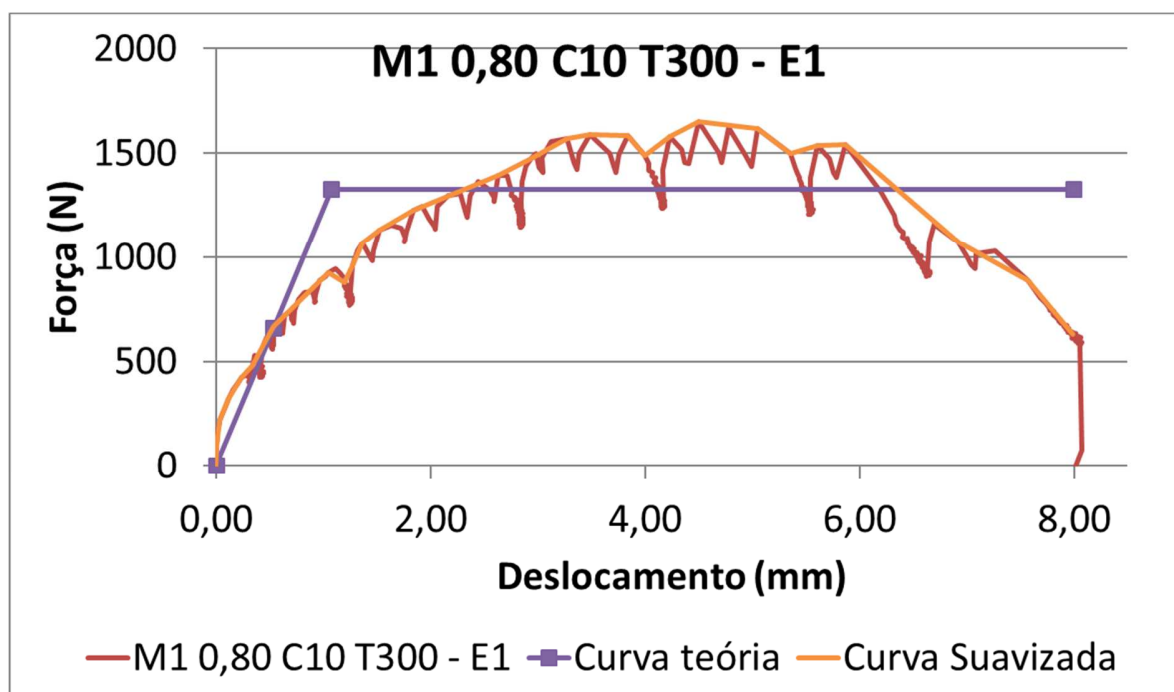


Figura 10 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

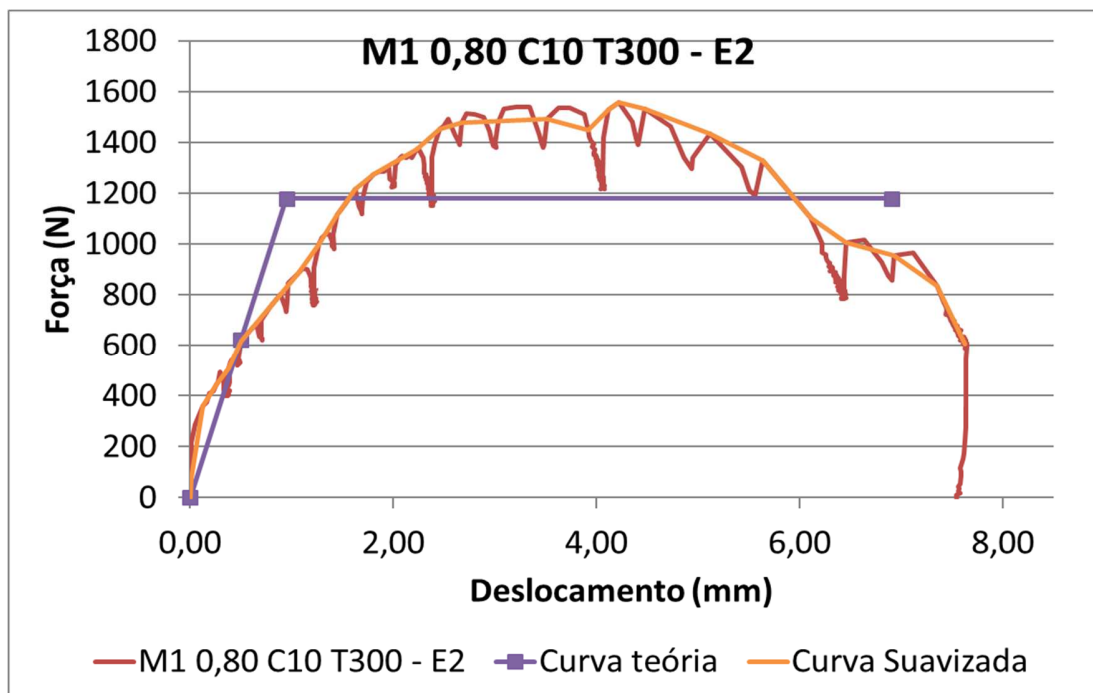


Figura 11 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

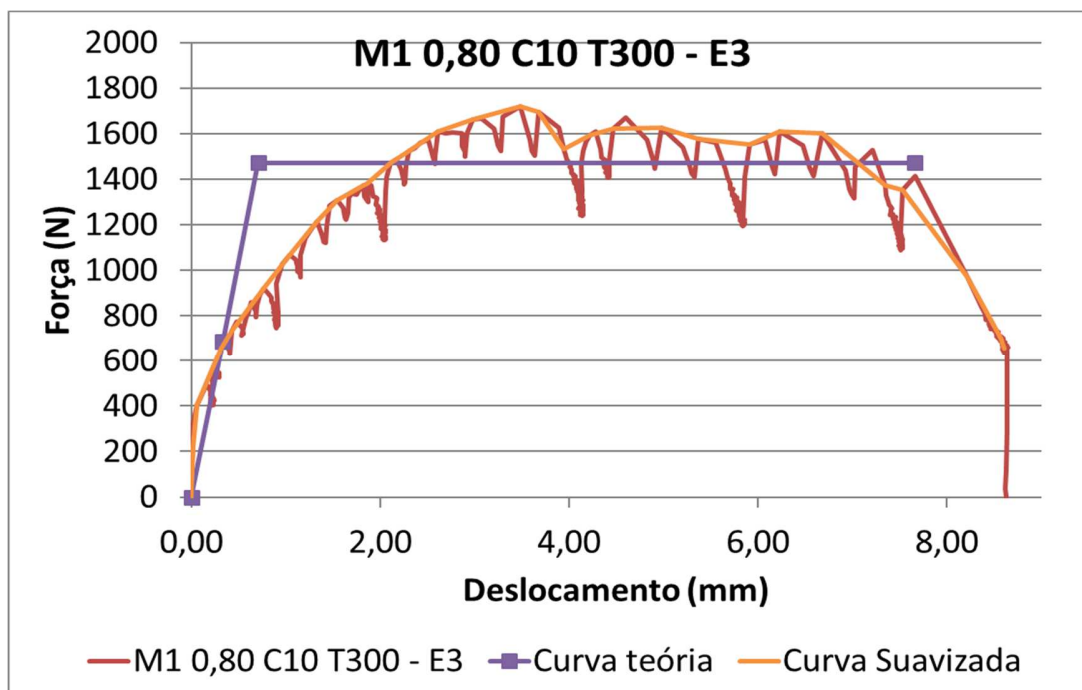


Figura 12- Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C10 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 2 - Tabela resumo dos espécimes “M1 0,80 C10 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M1 0,80 C10 L300 - E1	1649,33	2218,43	9041,72	11,16
M1 0,80 C10 L300 - E2	1691,74	2400,86	9270,03	11,37
M1 0,80 C10 L300 - E3	1630,48	1224,39	11636,09	7,41
X_m	1657,19	1947,90	9982,61	9,98
C_v (%)	1,89%	32,51%	14,39%	22,34%
M1 0,80 C10 T300 - E1	1649,33	1235,02	9894,73	7,44
M1 0,80 C10 T300 - E2	1557,44	1241,27	7579,35	7,27
M1 0,80 C10 T300 - E3	1720,02	2083,37	10759,95	10,85
X_m	1642,26	1519,88	9411,34	8,52
C_v (%)	4,96%	32,11%	17,47%	23,71%

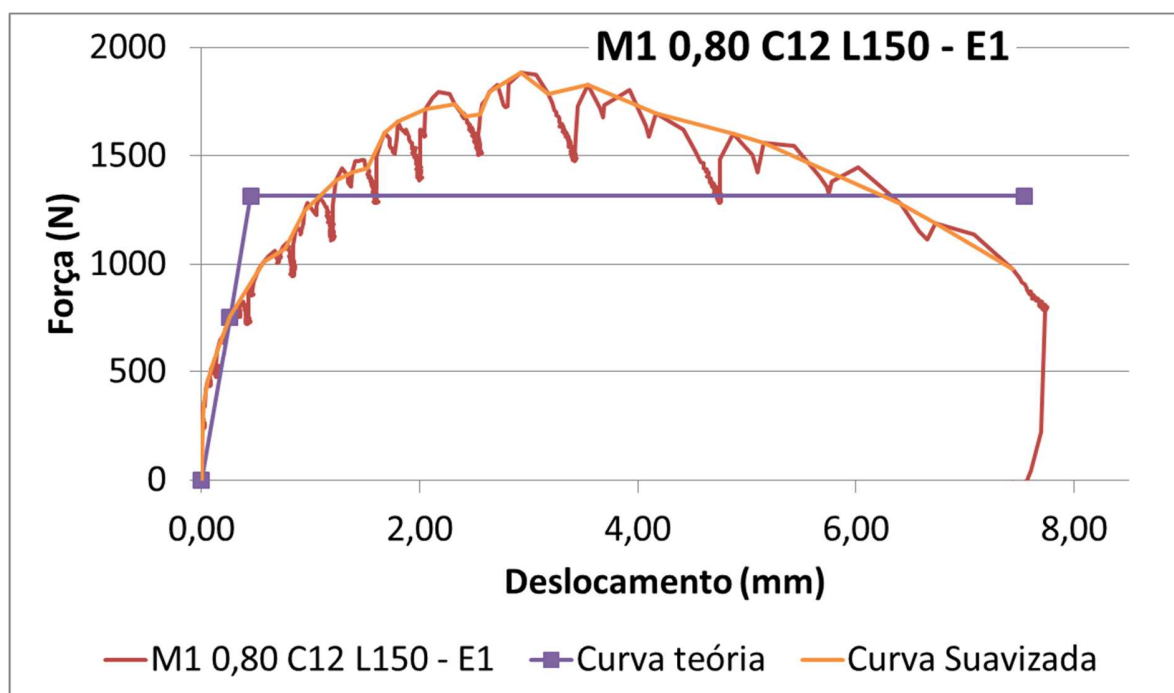


Figura 13 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

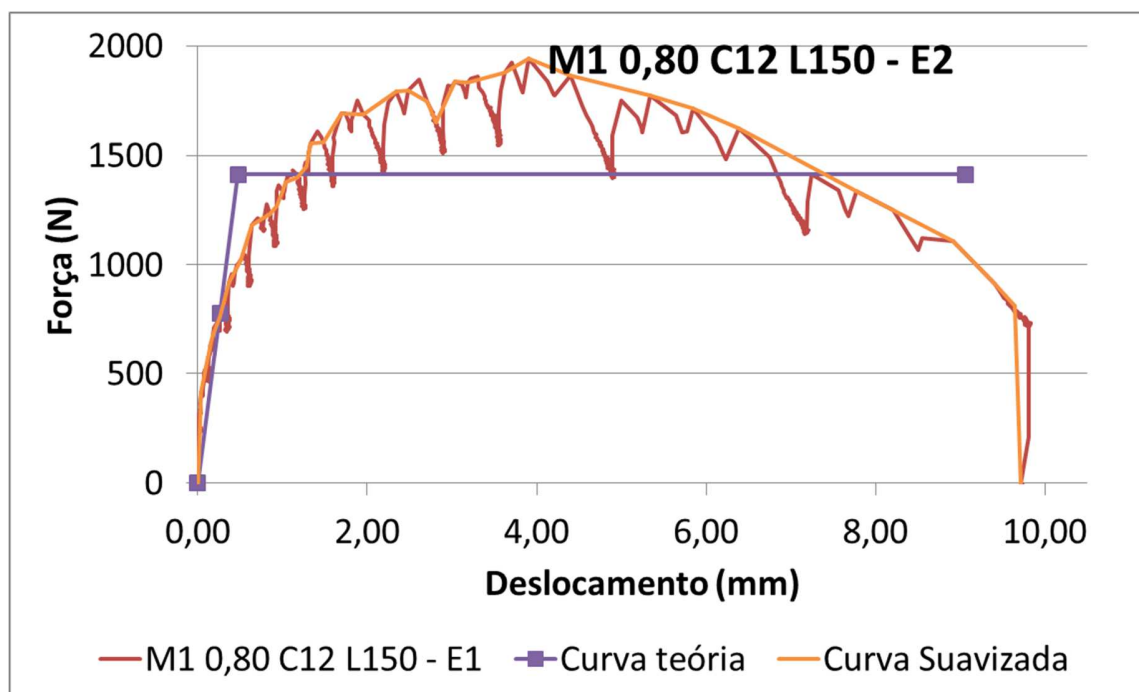


Figura 14 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

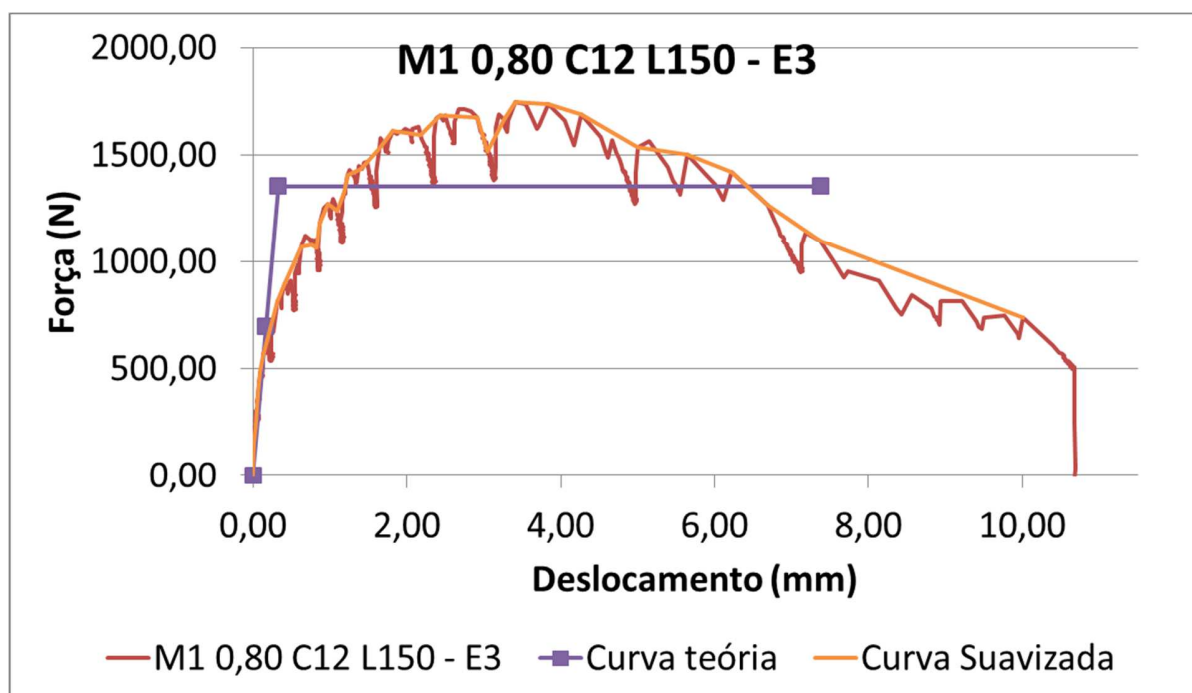


Figura 15 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

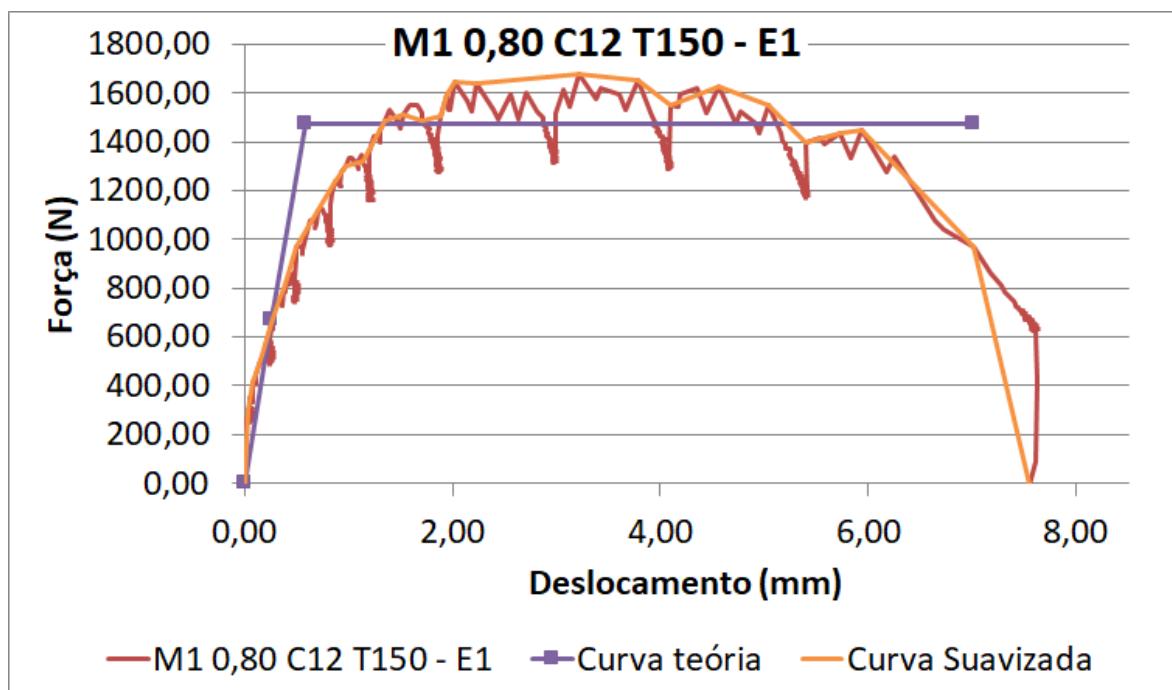


Figura 16 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

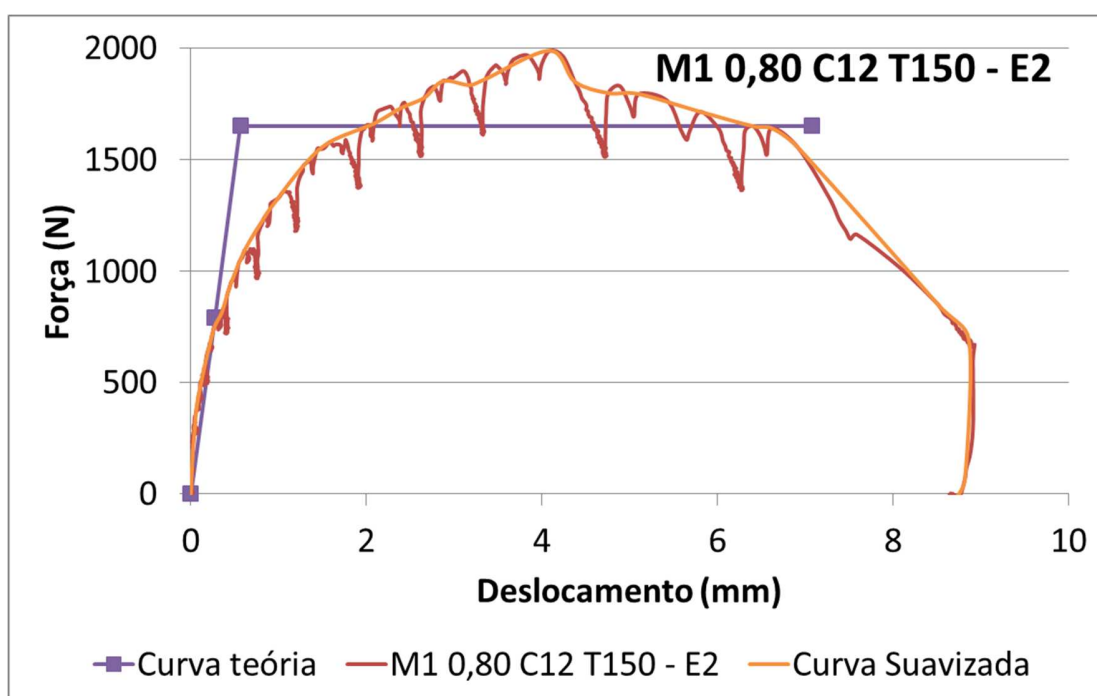


Figura 17 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

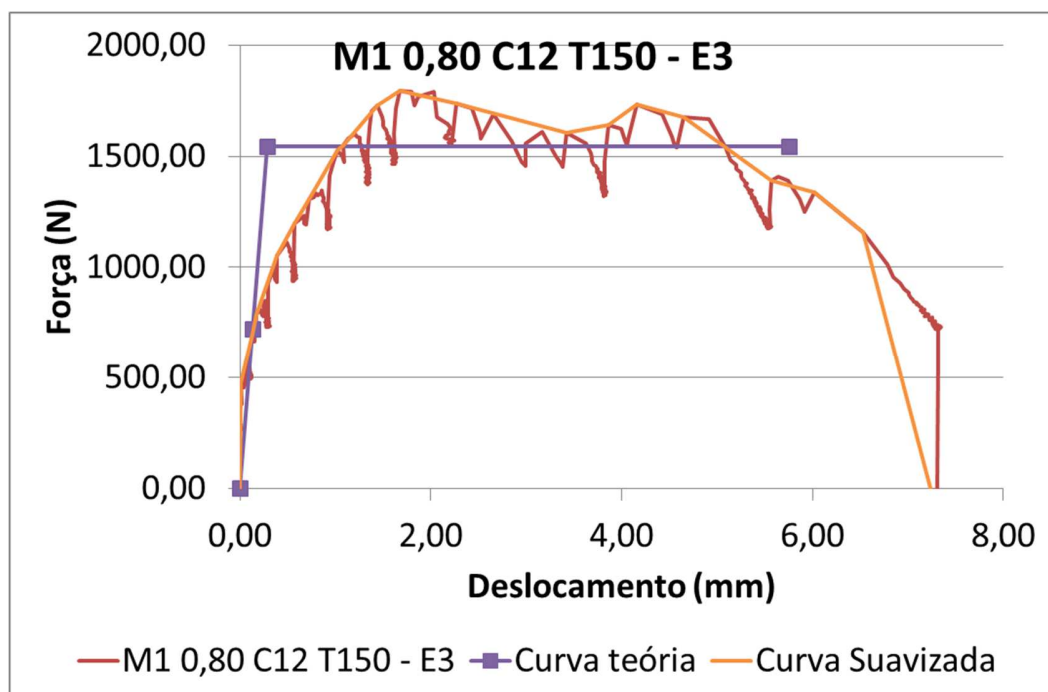


Figura 18 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 3 - Tabela resumo dos espécimes “M1 0,80 C12 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M1 0,80 C12 L150 - E1	1883,07	2909,75	9627,60	16,69
M1 0,80 C12 L150 - E2	1943,86	2971,53	12461,96	19,07
M1 0,80 C12 L150 - E3	1745,94	4140,56	9779,43	22,54
X_m	1857,62	3340,61	10623,00	19,43
C_v (%)	5,46%	20,76%	15,01%	15,14%
M1 0,80 C12 T150 - E1	1678,08	2539,05	9904,36	12,08
M1 0,80 C12 T150 - E2	1987,68	2915,66	11199,01	12,49
M1 0,80 C12 T150 - E3	1795,42	5364,21	8656,70	20,02
X_m	1820,39	3606,30	9920,02	14,86
C_v (%)	8,59%	42,54%	12,81%	30,11%

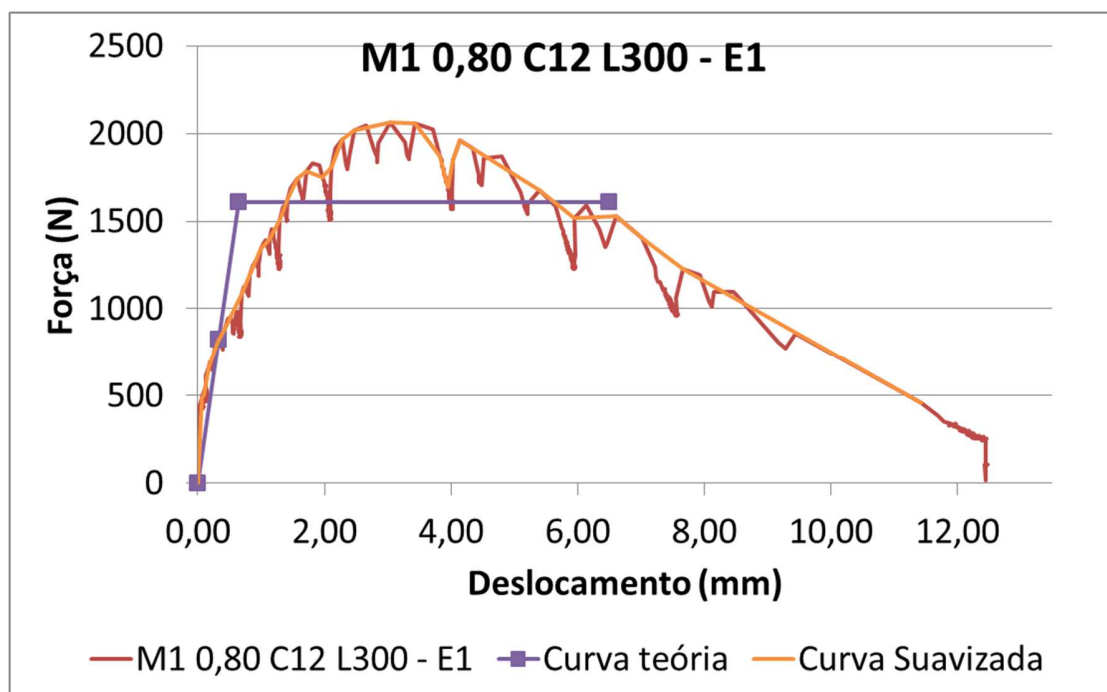


Figura 19 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

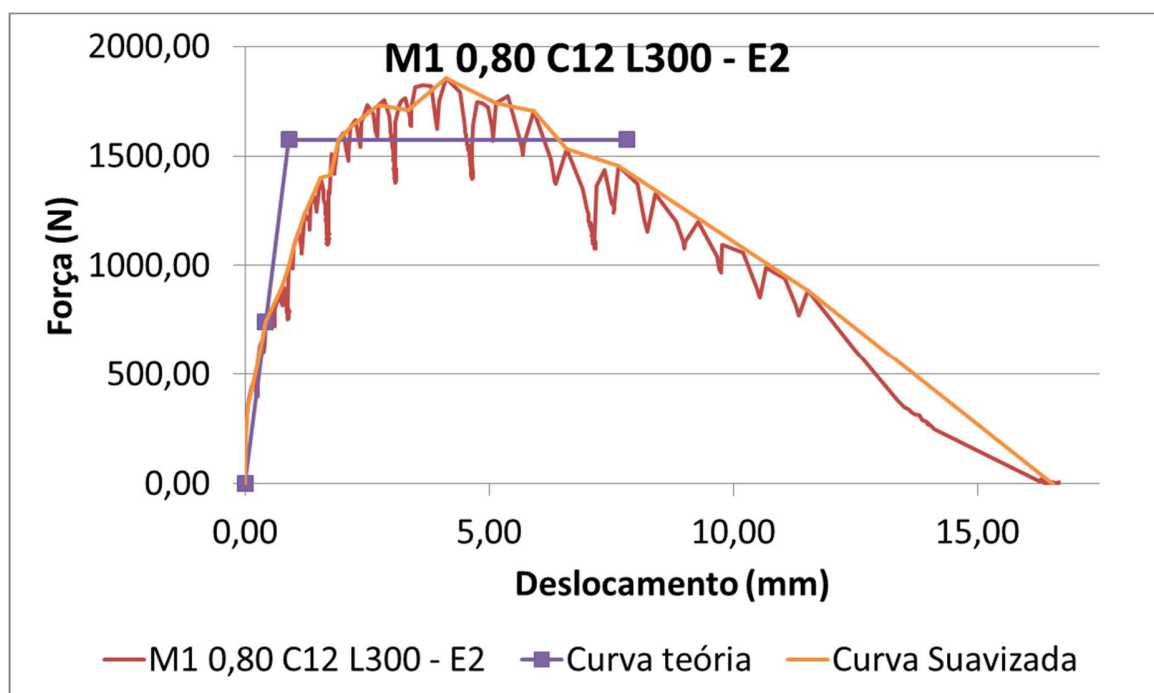


Figura 20 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

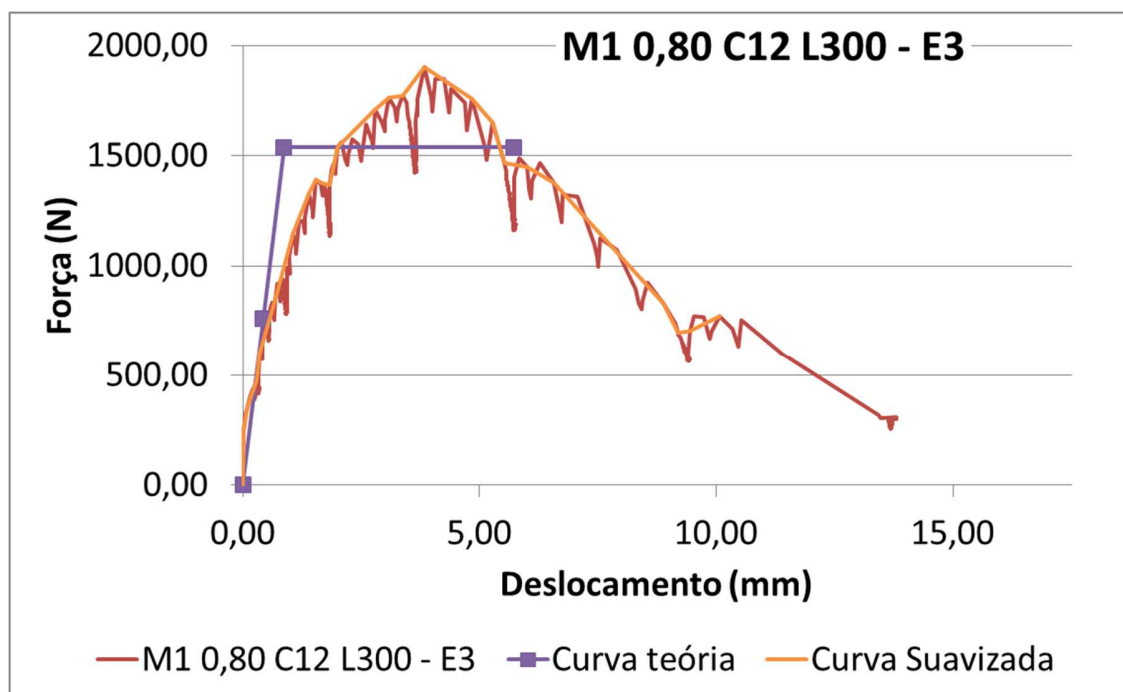


Figura 21 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

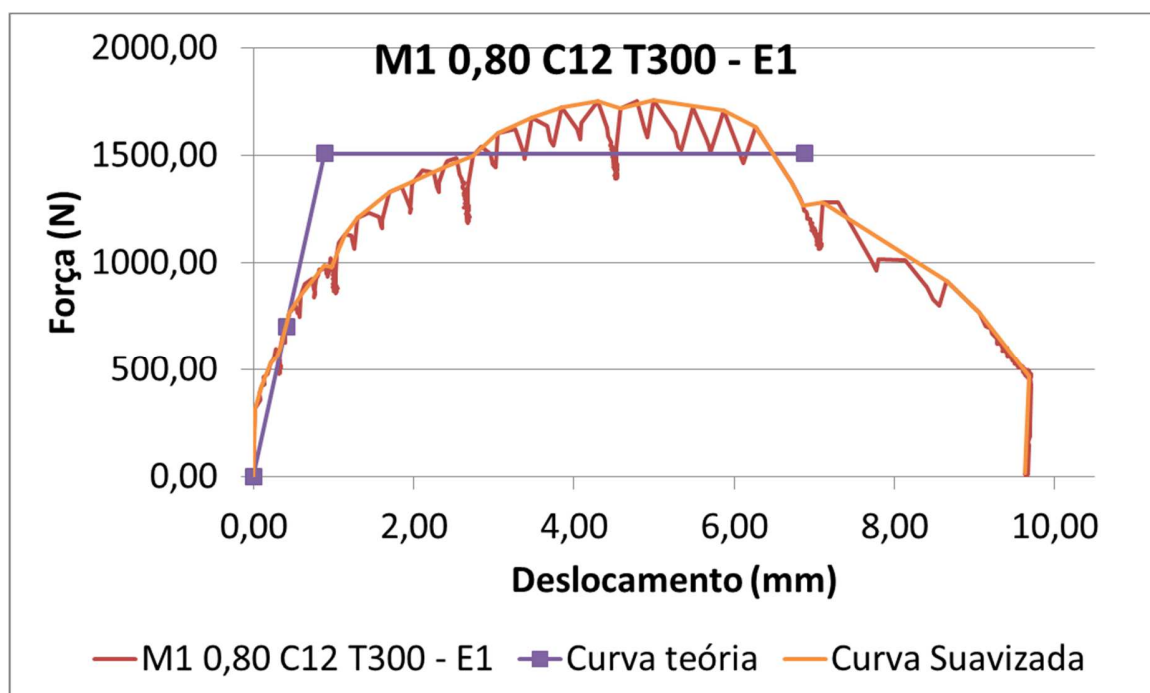


Figura 22 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

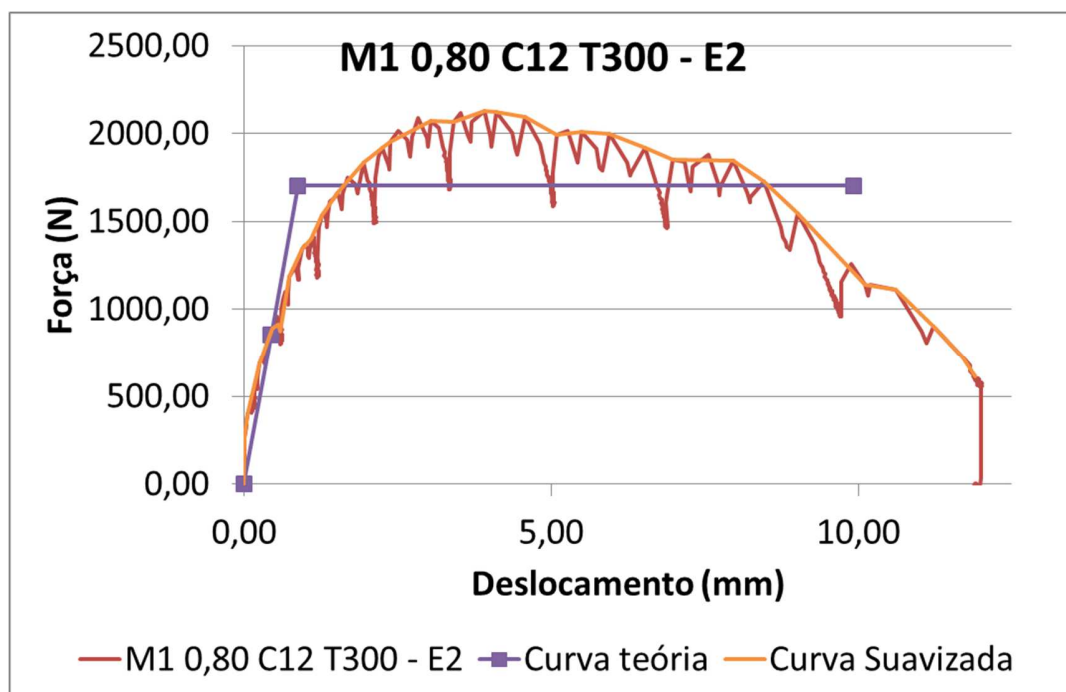


Figura 23 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

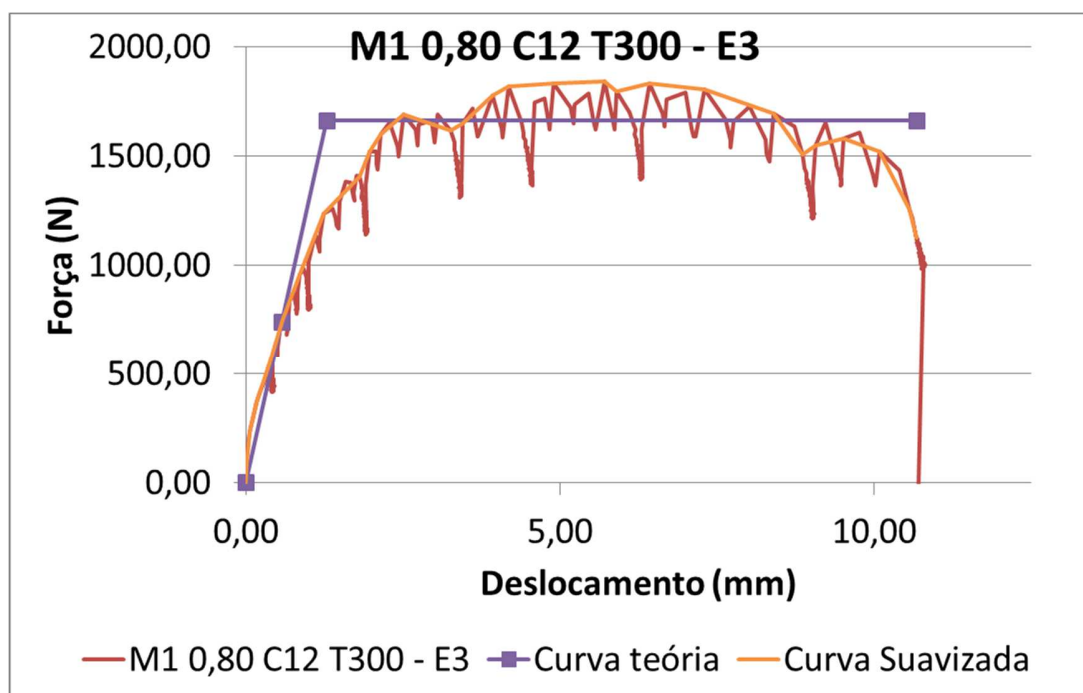


Figura 24 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,80 C12 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 4 - Tabela resumo dos espécimes “M1 0,80 C12 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M1 0,80 C12 L300 - E1	2066,38	2517,72	9930,62	10,15
M1 0,80 C12 L300 - E2	1854,32	1760,26	11600,33	8,73
M1 0,80 C12 L300 - E3	1903,80	1774,54	8134,19	6,60
X_m	1941,50	2017,51	9888,38	8,49
C_v (%)	5,71%	21,48%	17,53%	21,02%
M1 0,80 C12 T300 - E1	1755,36	1695,45	9712,30	7,74
M1 0,80 C12 T300 - E2	2129,99	1936,81	16166,68	11,30
M1 0,80 C12 T300 - E3	1840,18	1290,26	16661,11	8,29
X_m	1908,51	1640,84	14180,03	9,11
C_v (%)	10,29%	19,91%	27,34%	21,02%

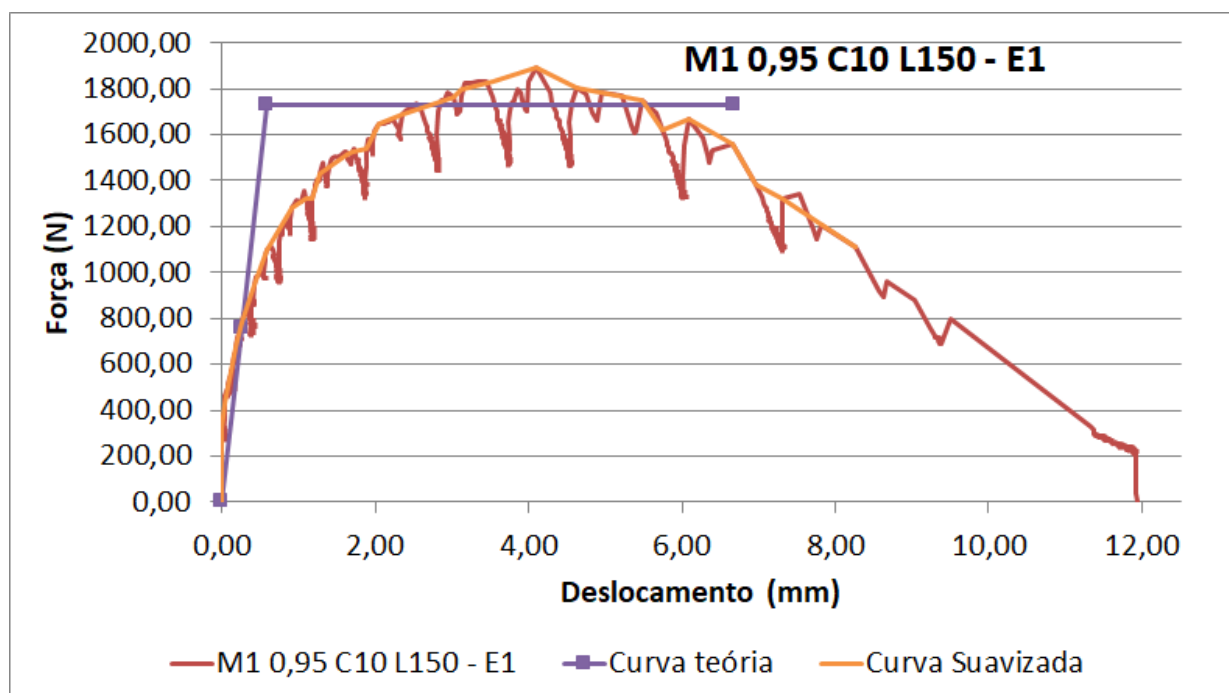


Figura 25 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

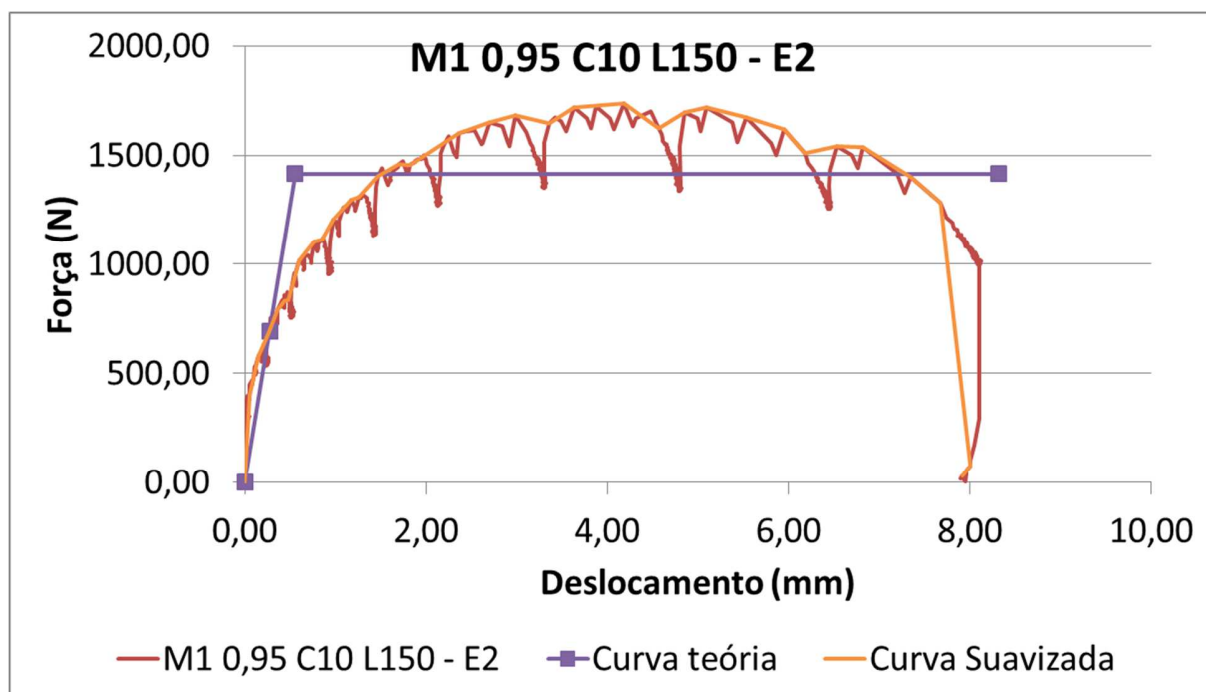


Figura 26 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

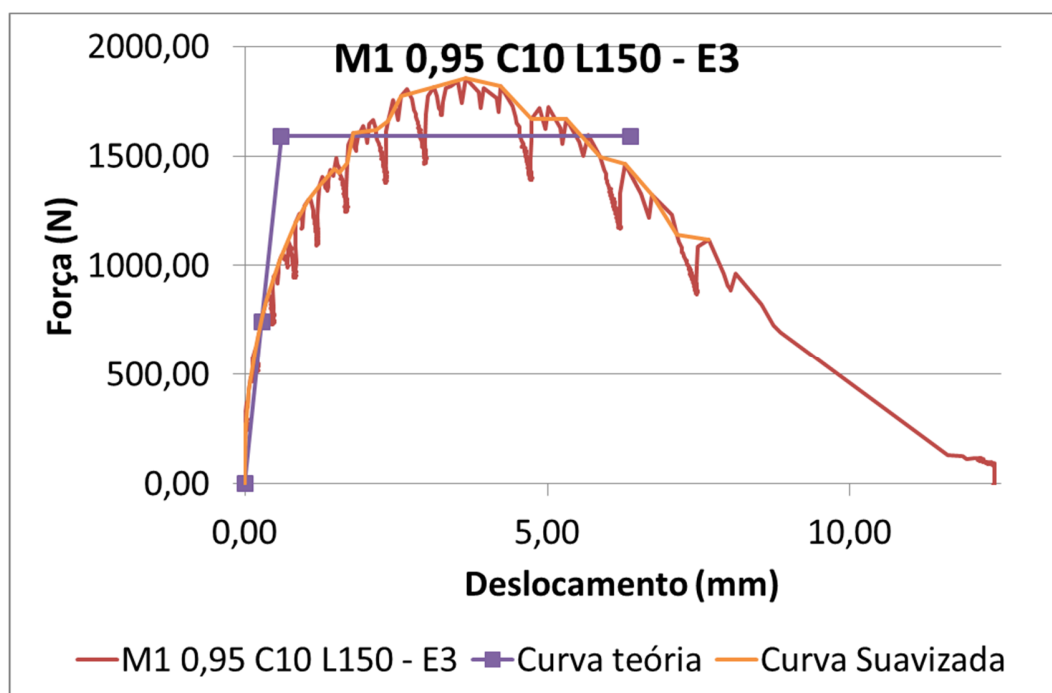


Figura 27 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

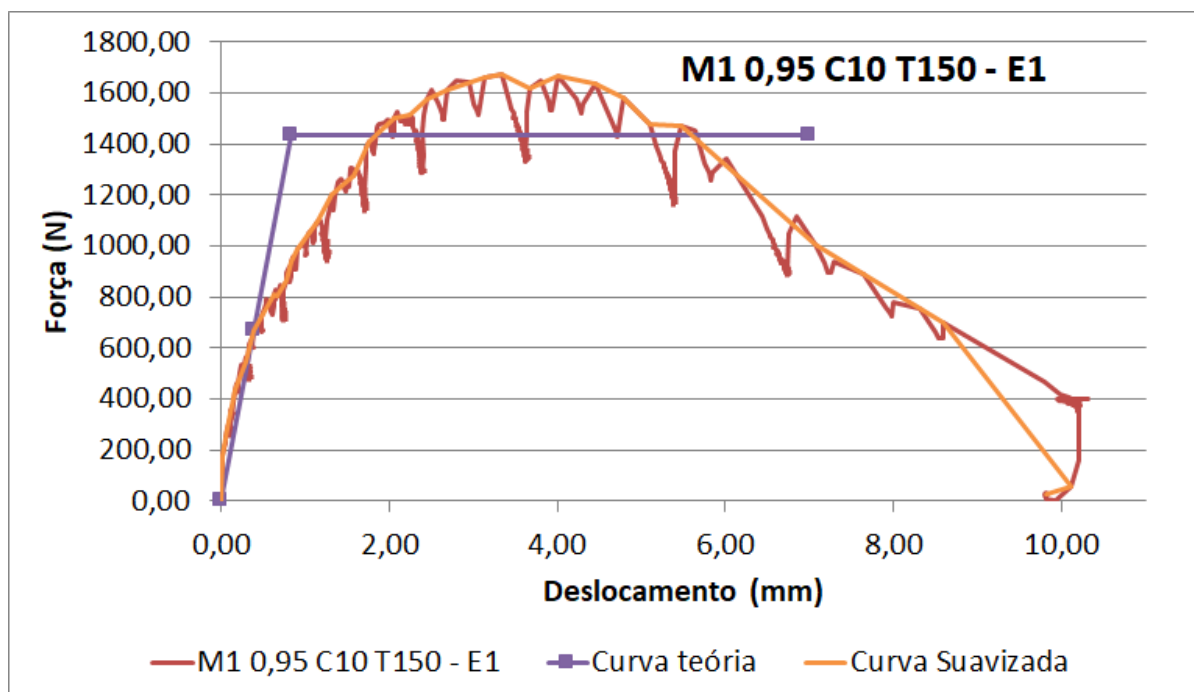


Figura 28 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

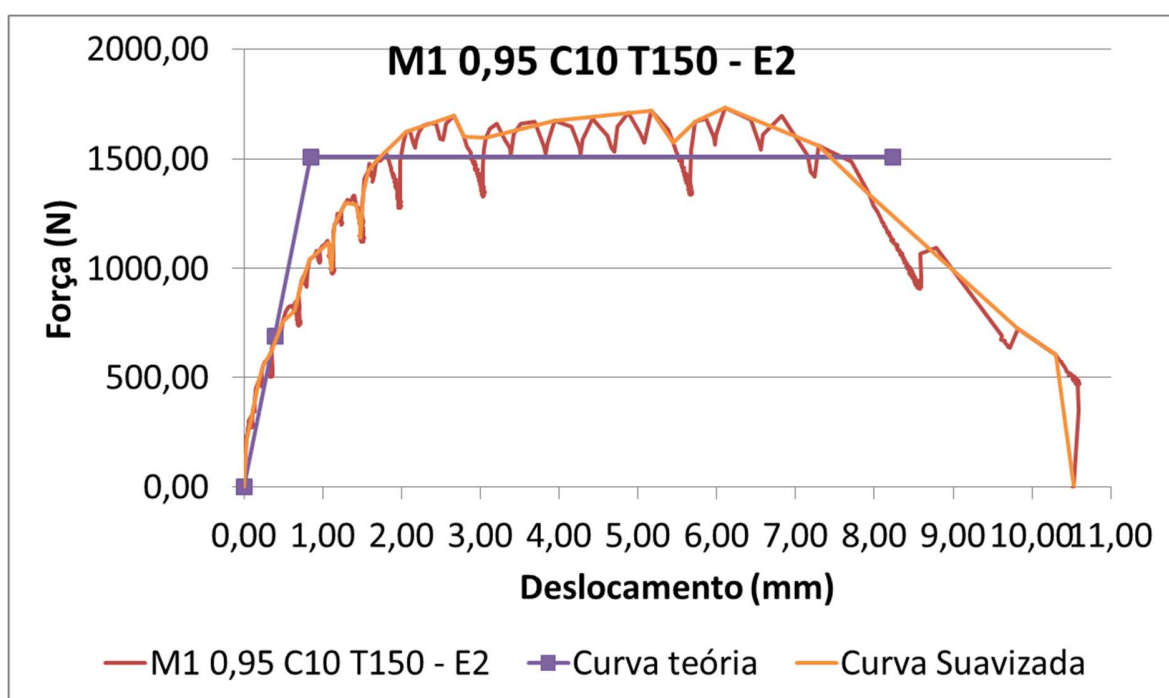


Figura 29 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

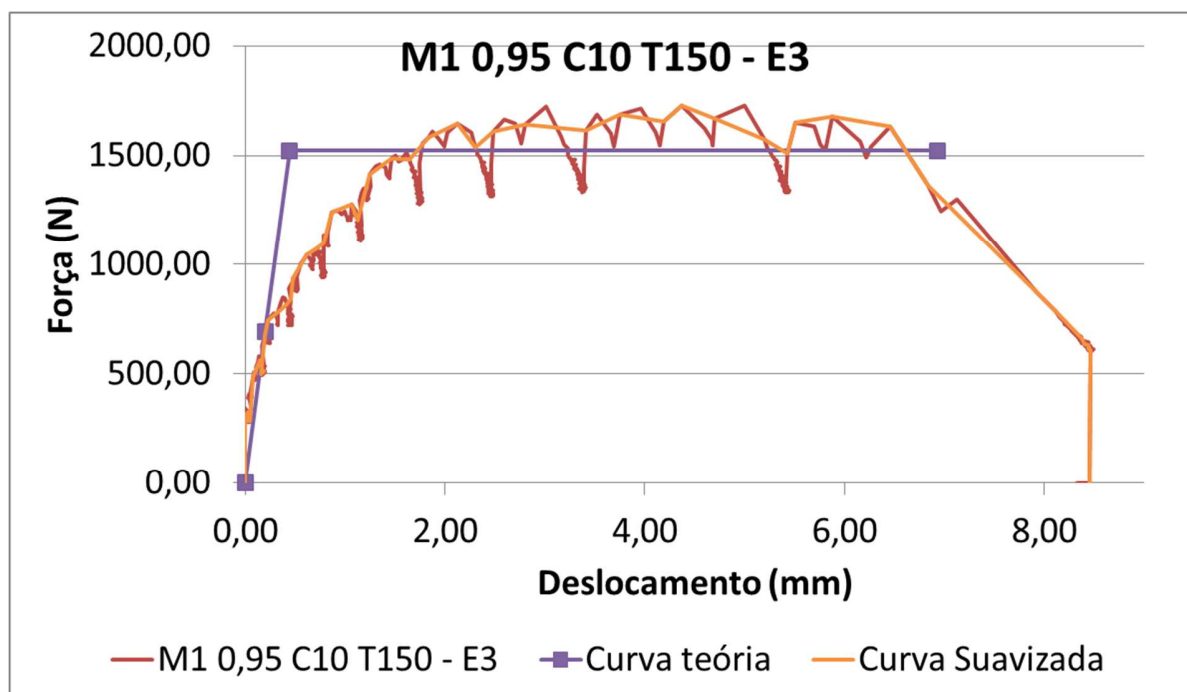


Figura 30 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 5- Tabela resumo dos espécimes “M1 0,95 C10 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\max}$. Paraf.), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variaç

Nome CP	$P_{\max}$ Paraf. (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M1 0,95 C10 L150 - E1	1891,55	2998,89	11024,51	11,58
M1 0,95 C10 L150 - E2	1736,04	2549,49	11380,83	14,99
M1 0,95 C10 L150 - E3	1857,62	2644,72	9657,41	10,61
X_m	1828,40	2731,04	10687,58	12,39
C_v (%)	4,47%	8,67%	8,51%	18,59%
M1 0,95 C10 T150 - E1	1671,01	1729,18	9457,85	8,43
M1 0,95 C10 T150 - E2	1734,63	1784,54	11786,05	9,74
M1 0,95 C10 T150 - E3	1728,97	3431,99	10222,32	15,64
X_m	1711,54	2315,24	10488,74	11,27
C_v (%)	2,06%	41,79%	11,31%	34,09%

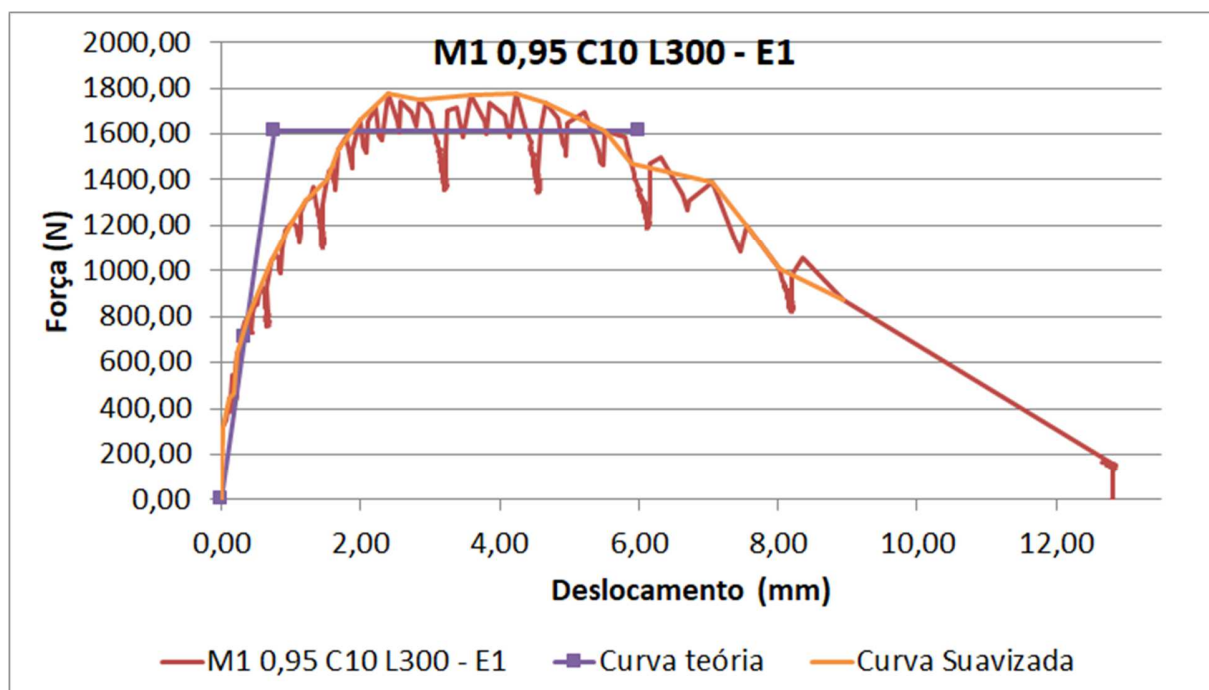


Figura 31 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

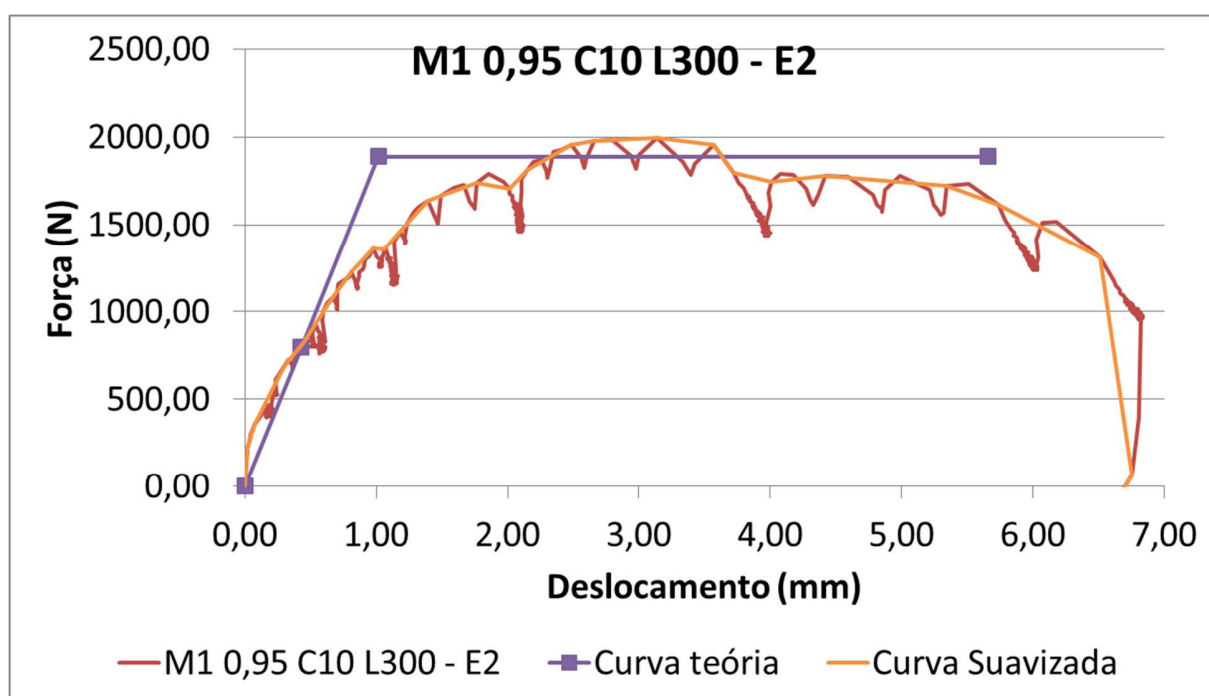


Figura 32 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

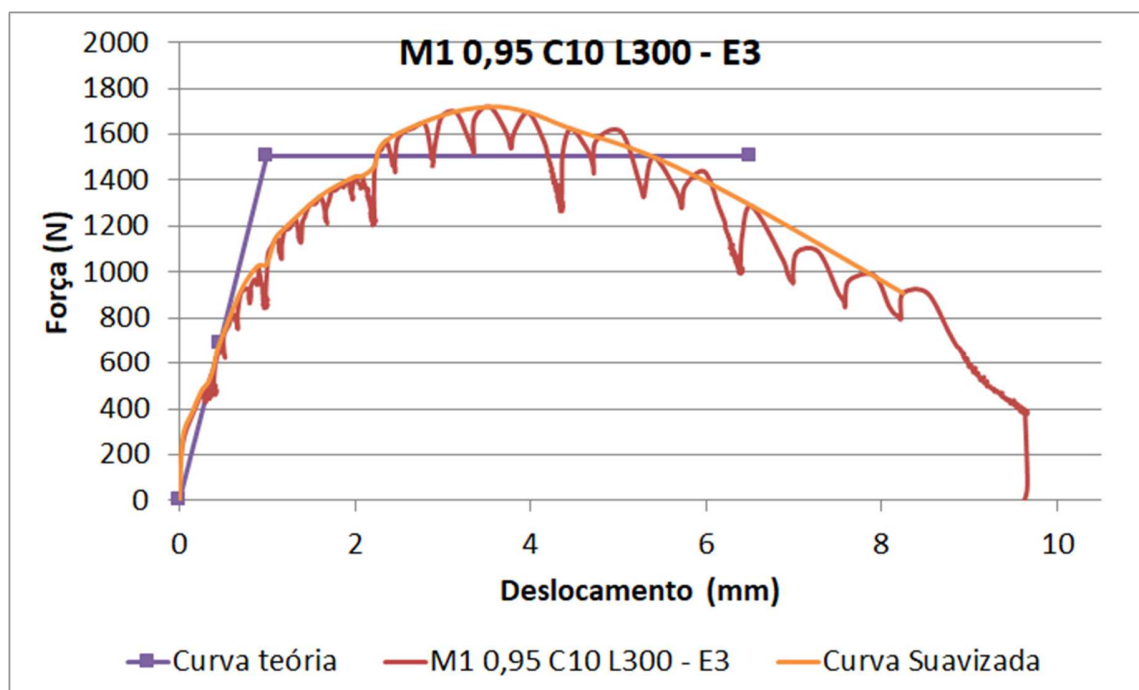


Figura 33 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

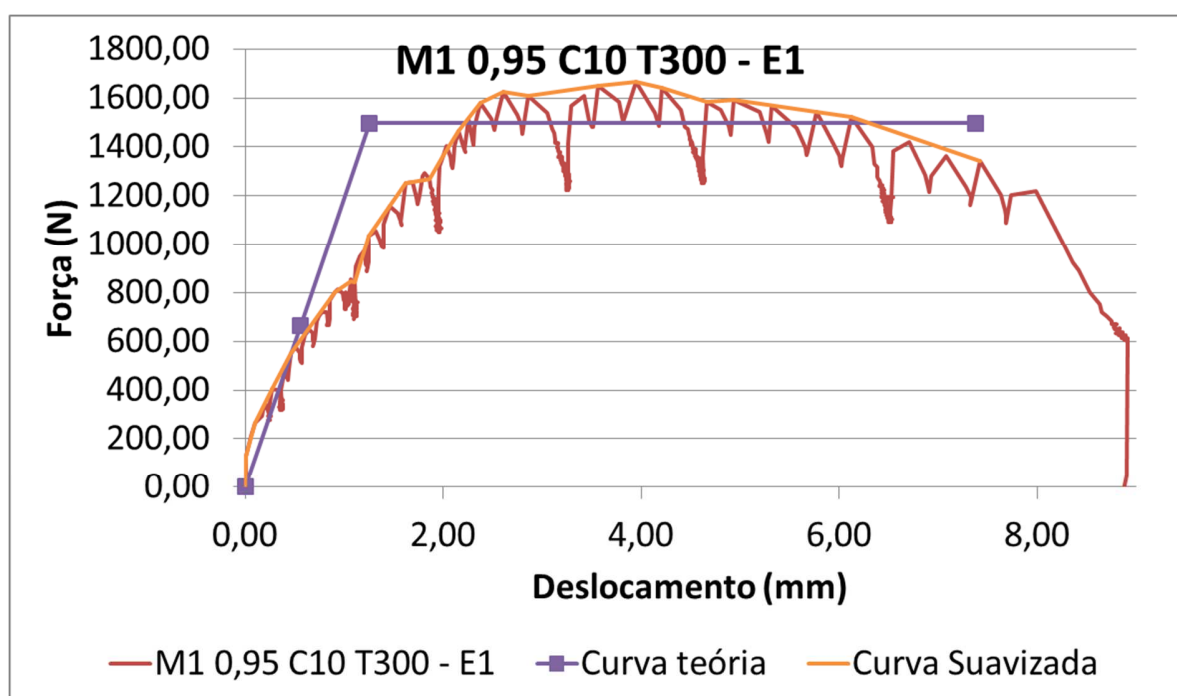


Figura 34 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

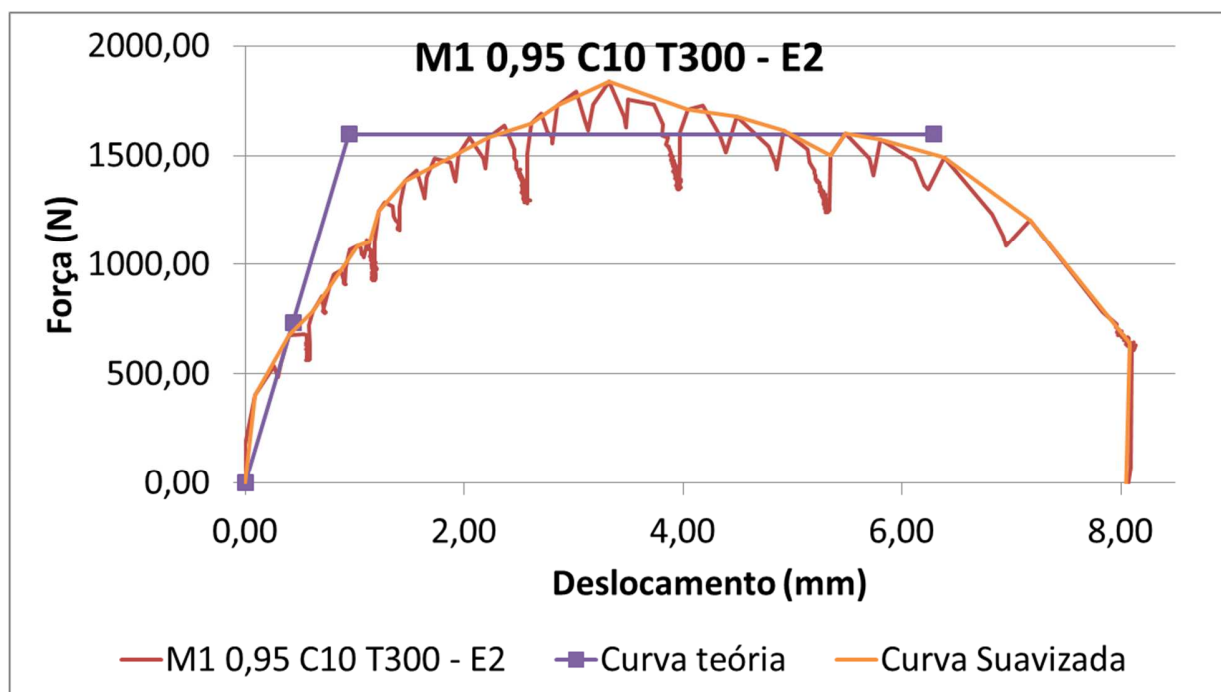


Figura 35 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

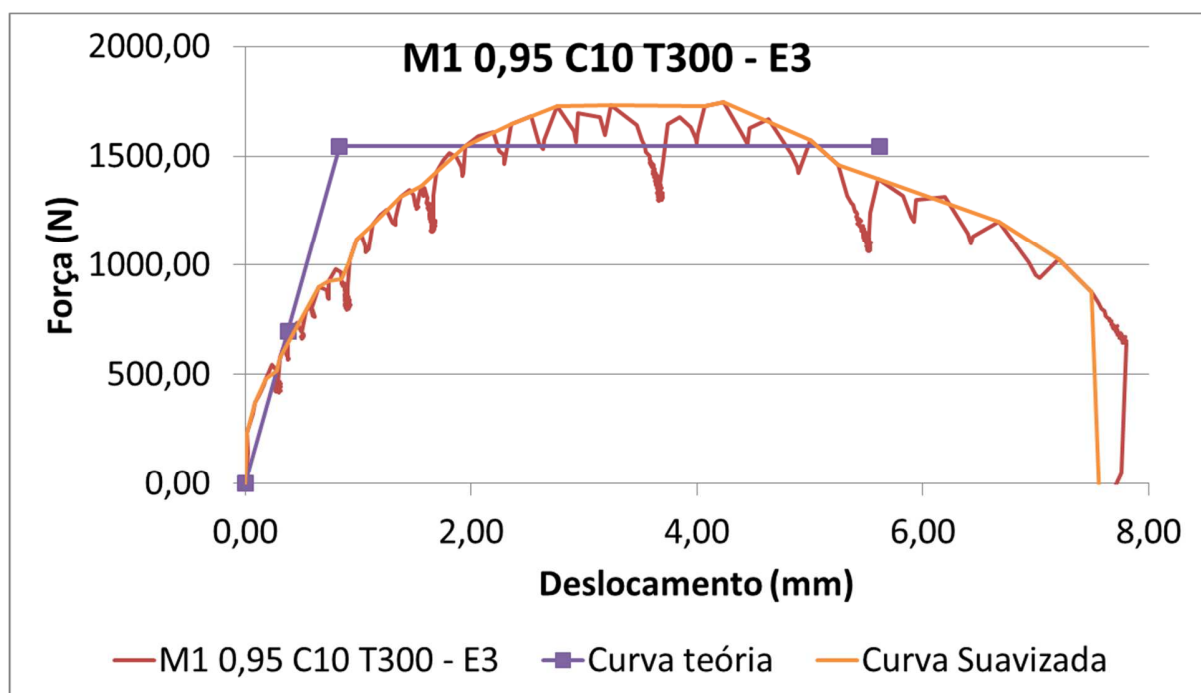


Figura 36 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 6 - Tabela resumo dos espécimes “M1 0,95 C10 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M1 0,95 C10 L300 - E1	1778,92	2140,92	9091,76	7,94
M1 0,95 C10 L300 - E2	1993,34	1862,58	9726,68	5,58
M1 0,95 C10 L300 - E3	1717,66	1514,39	9033,09	6,54
X_m	1829,97	1839,30	9283,85	6,69
$C_v \text{ (%)}$	7,91%	17,07%	4,14%	17,78%
M1 0,95 C10 T300 - E1	1665,82	1196,40	10109,85	5,90
M1 0,95 C10 T300 - E2	1835,47	1687,13	9293,93	6,65
M1 0,95 C10 T300 - E3	1748,29	1853,97	8033,17	6,74
X_m	1749,86	1579,16	9145,65	6,43
$C_v \text{ (%)}$	4,85%	21,65%	11,44%	7,20%

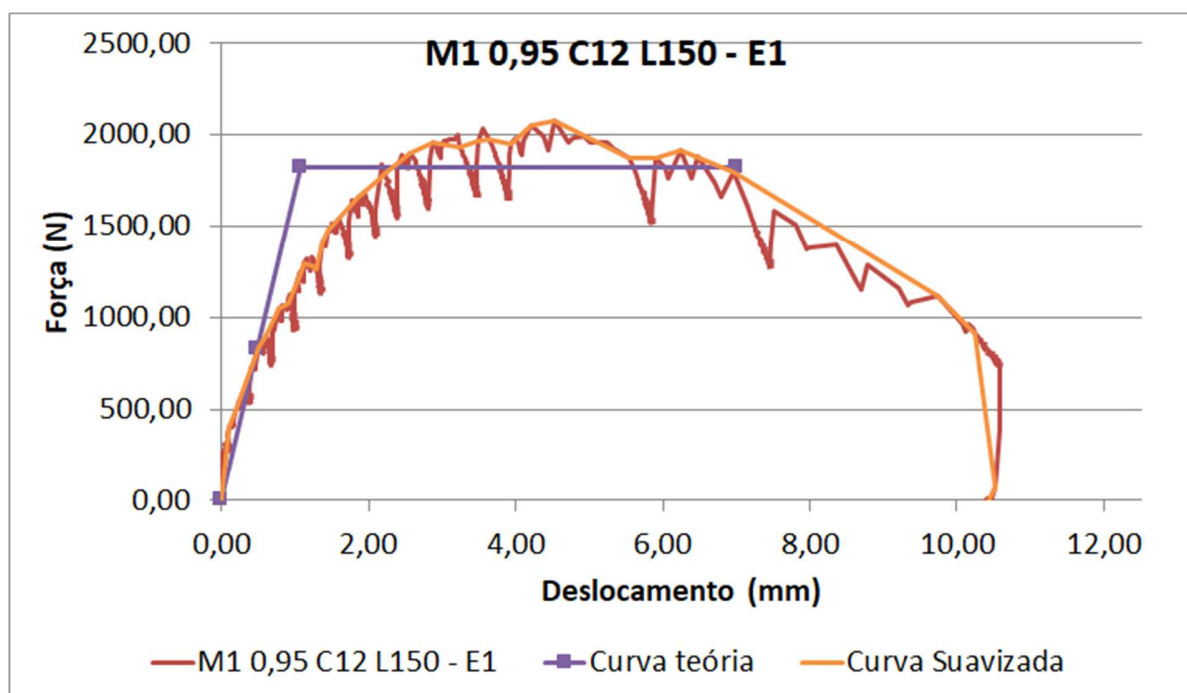


Figura 37 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

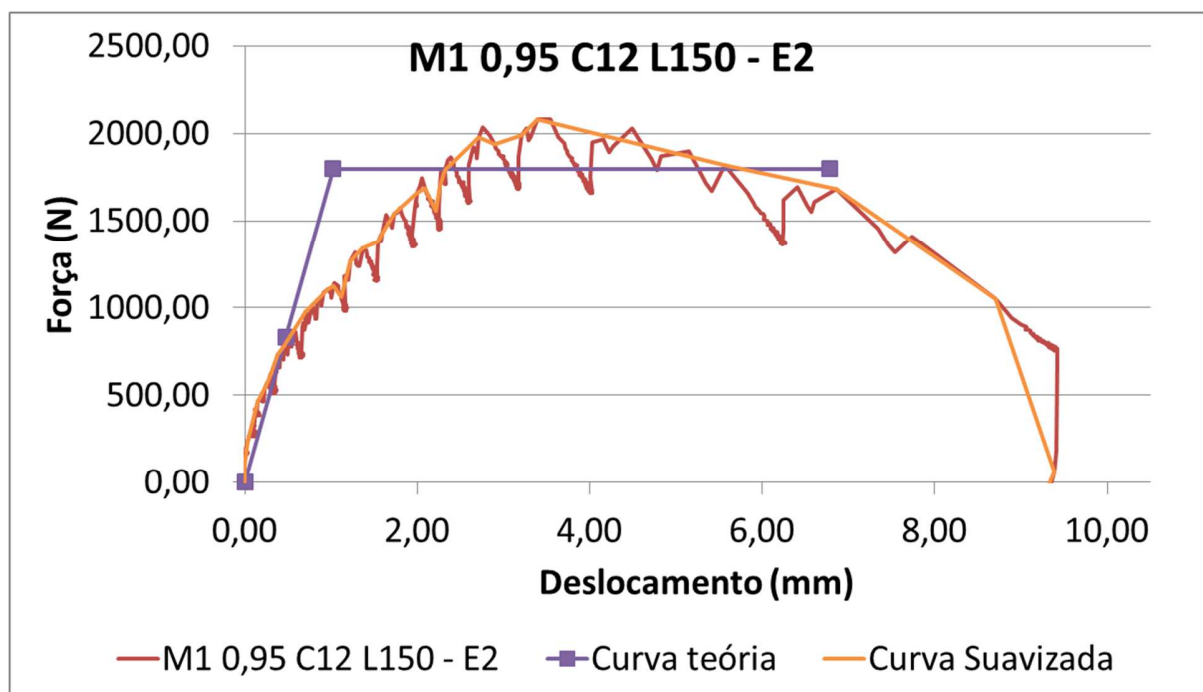


Figura 38 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

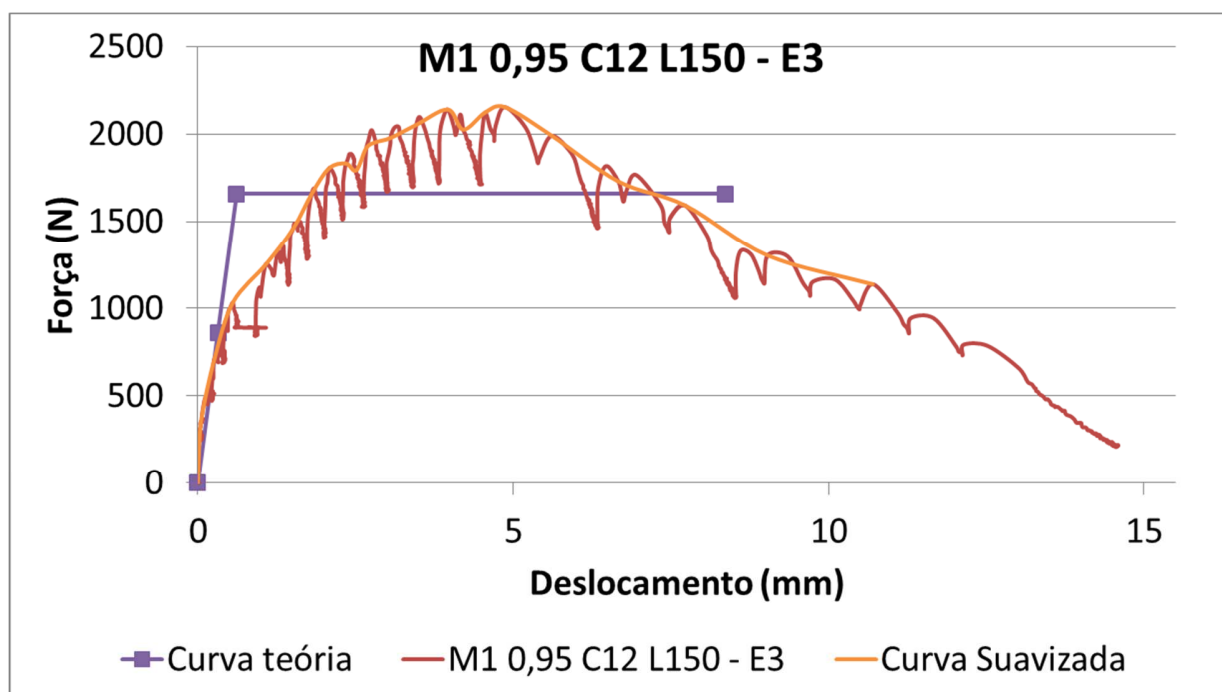


Figura 39 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

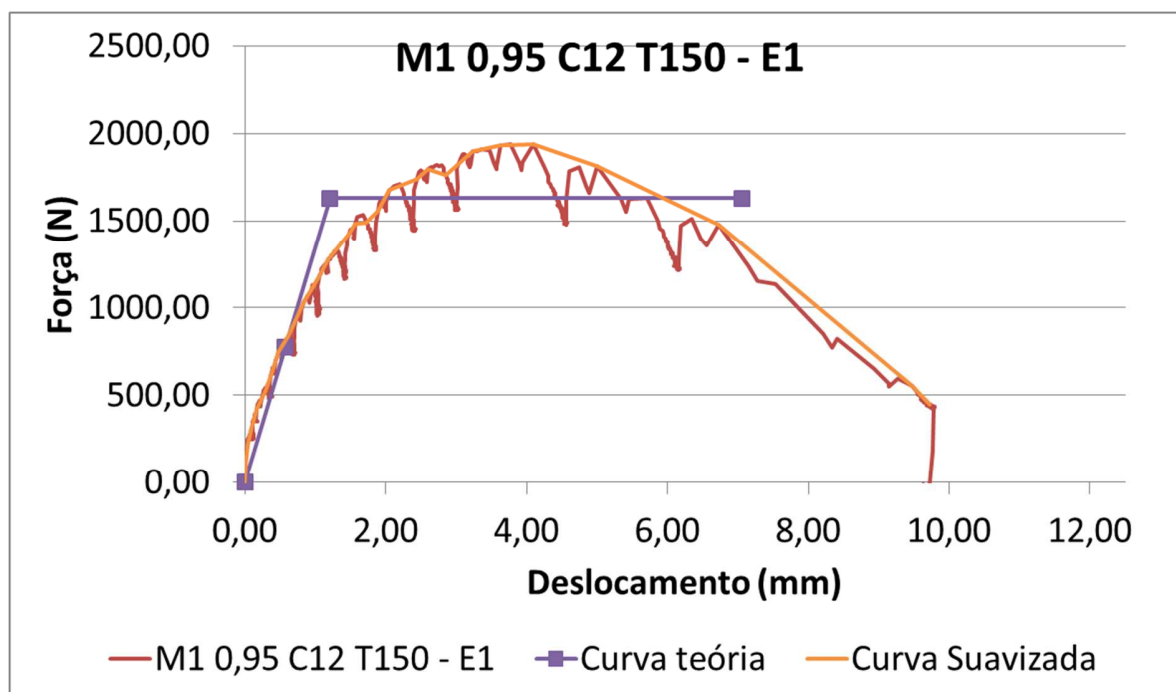


Figura 40 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

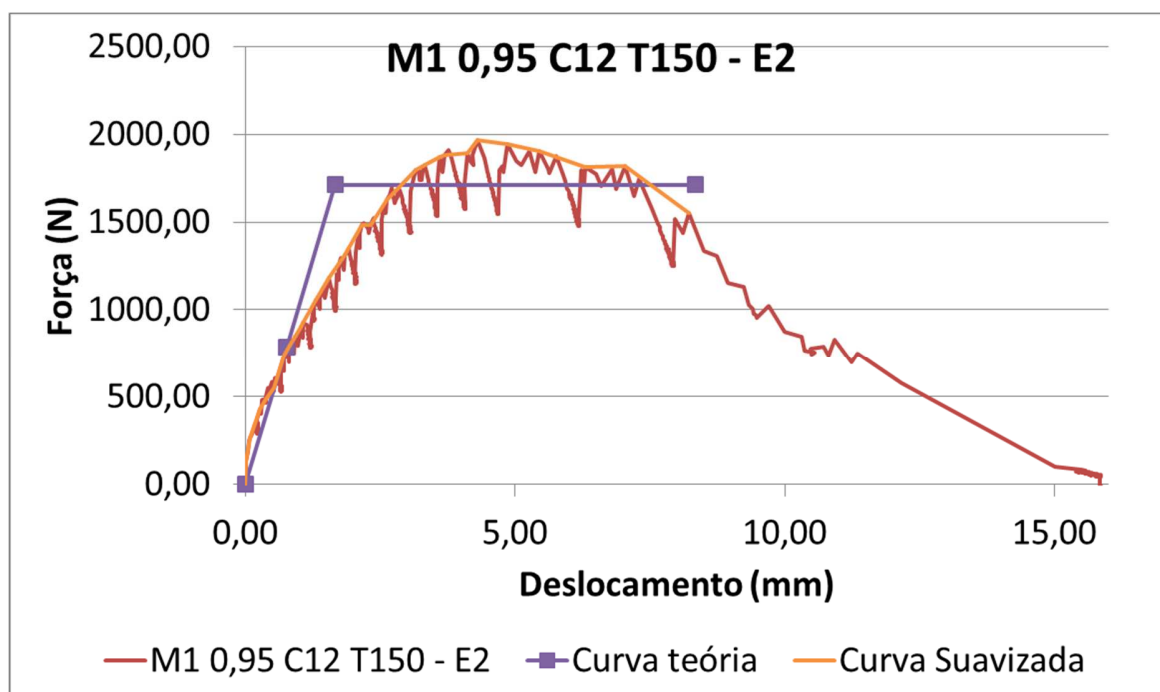


Figura 41 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

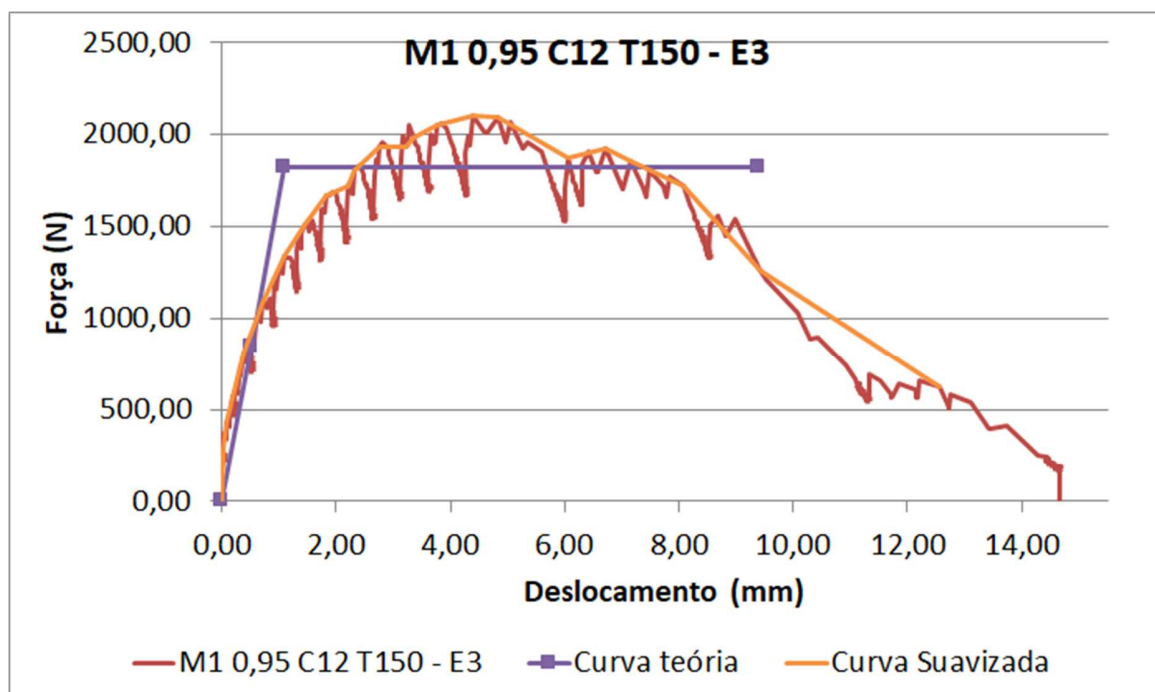


Figura 42 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C12 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 7 - Tabela resumo dos espécimes “M1 0,95 C12 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\max. \text{Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\max. \text{Paraf.}} \text{ (N)}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M1 0,95 C12 L150 - E1	2076,74	1694,70	11775,82	6,51
M1 0,95 C12 L150 - E2	2078,16	1757,28	11275,06	6,63
M1 0,95 C12 L150 - E3	2154,50	2696,94	13360,86	13,61
X_m	2103,13	2049,64	12137,25	8,92
$C_v \text{ (%)}$	2,12%	27,39%	8,97%	45,55%
M1 0,95 C12 T150 - E1	1939,61	1349,75	10511,69	5,85
M1 0,95 C12 T150 - E2	1966,47	1027,79	12853,70	5,01
M1 0,95 C12 T150 - E3	2105,02	1671,37	16161,50	8,61
X_m	2003,70	1349,64	13175,63	6,49
$C_v \text{ (%)}$	4,43%	23,84%	21,54%	28,97%

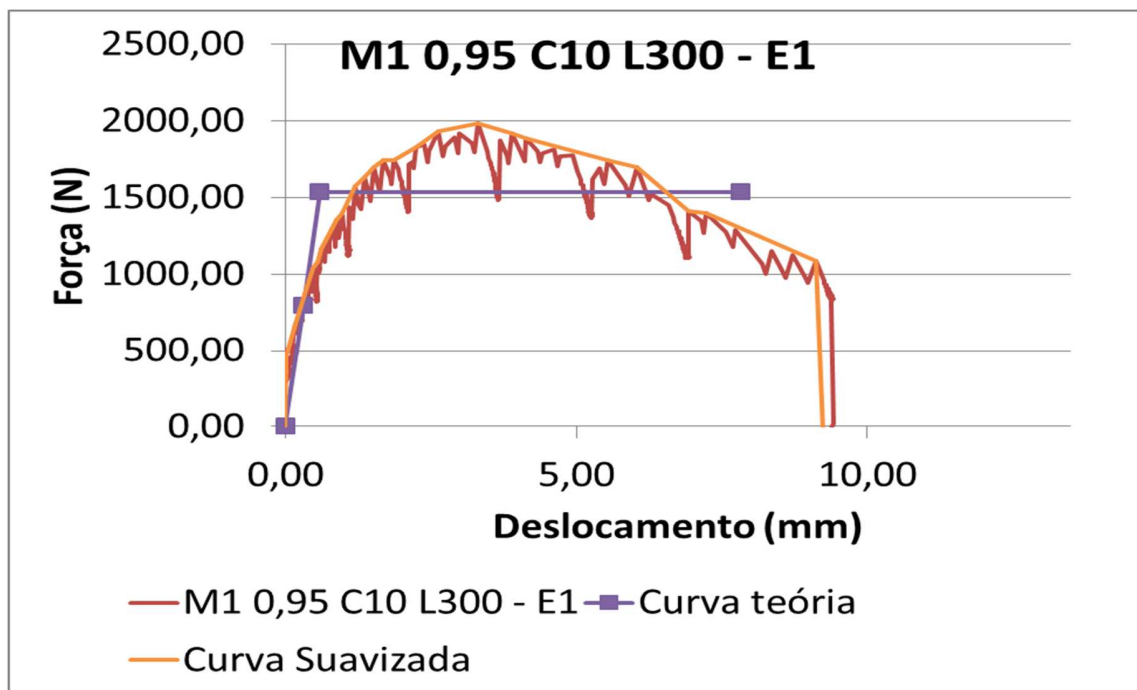


Figura 43 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

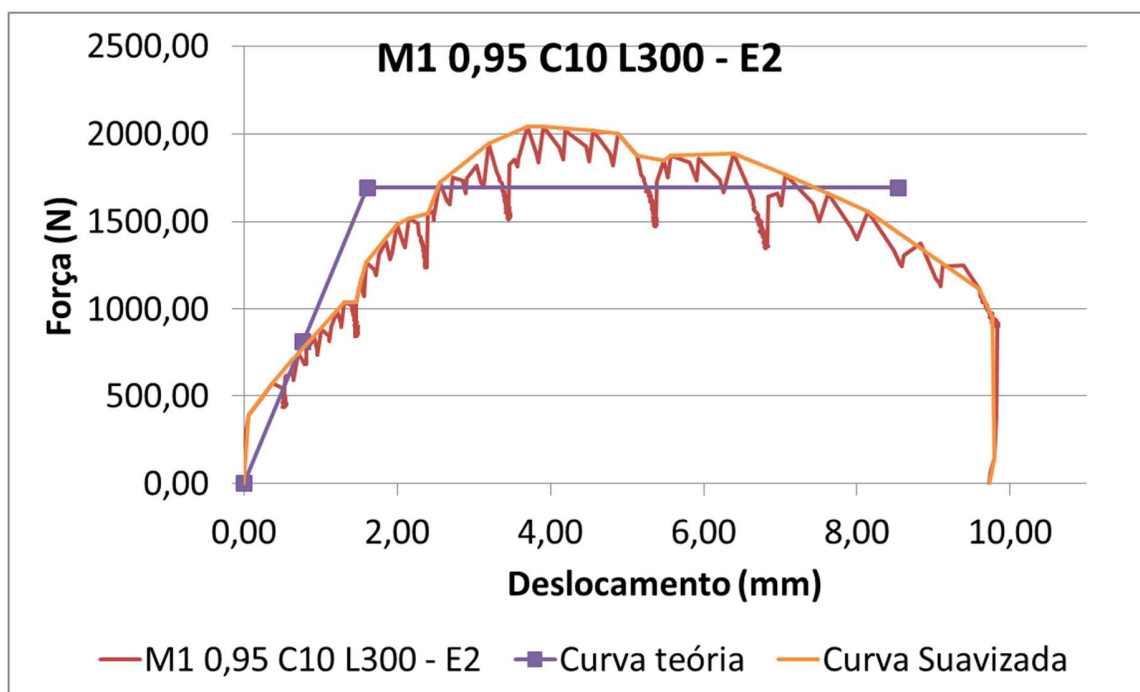


Figura 44 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

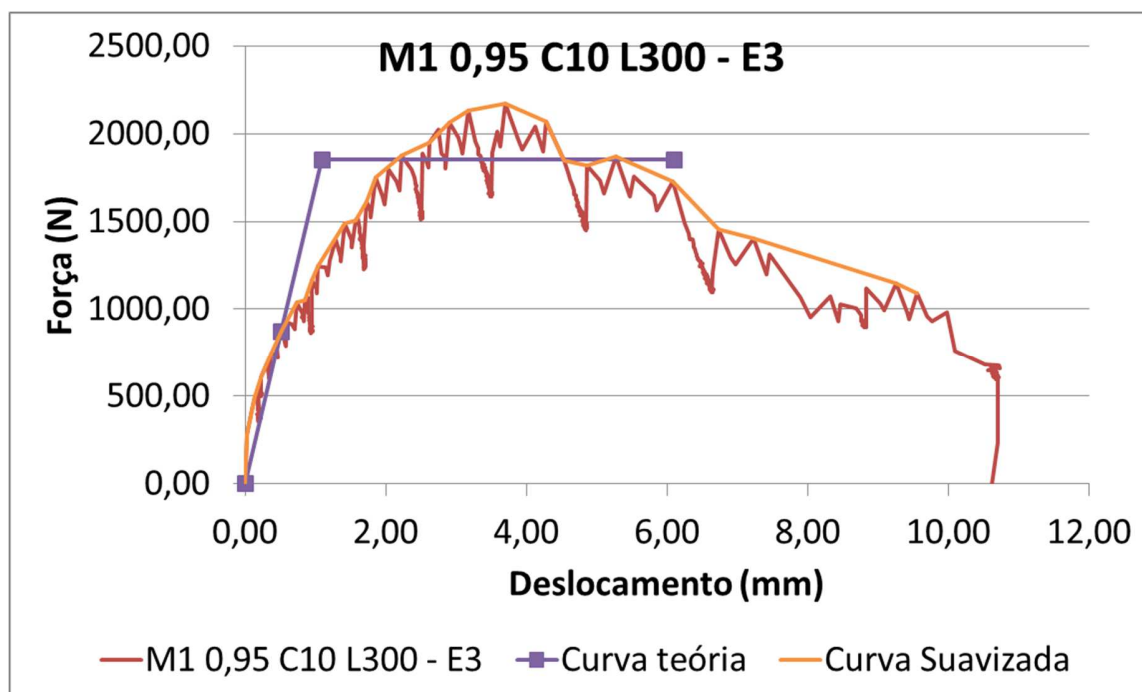


Figura 45 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

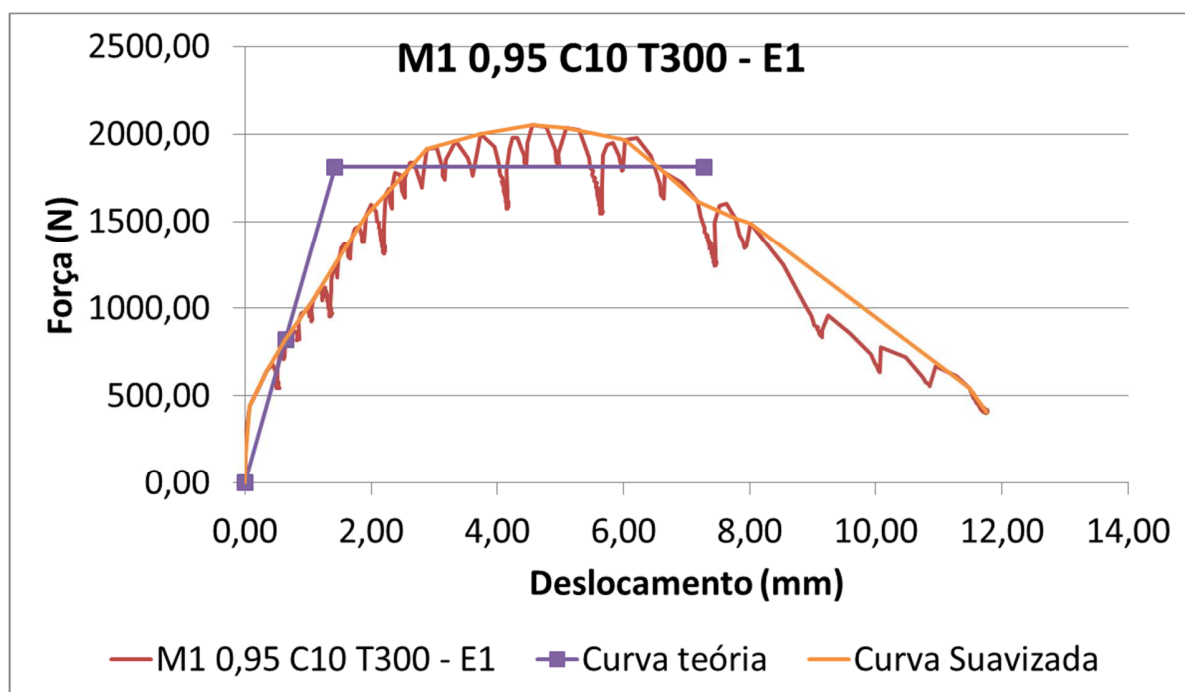


Figura 46 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

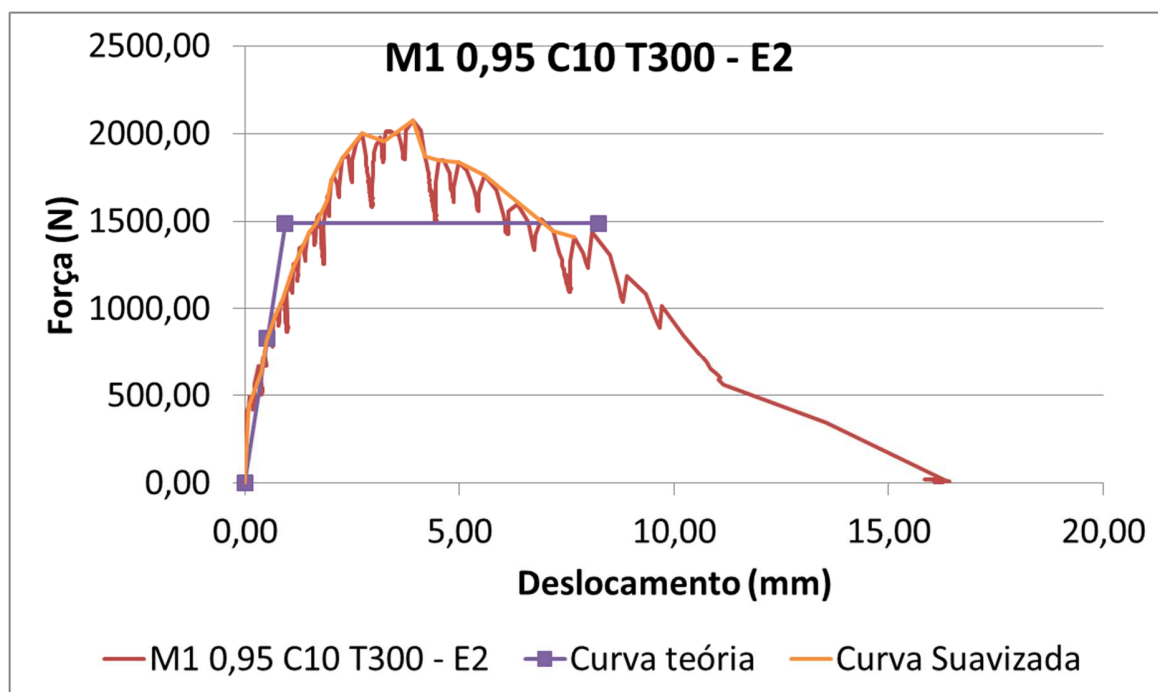


Figura 47 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

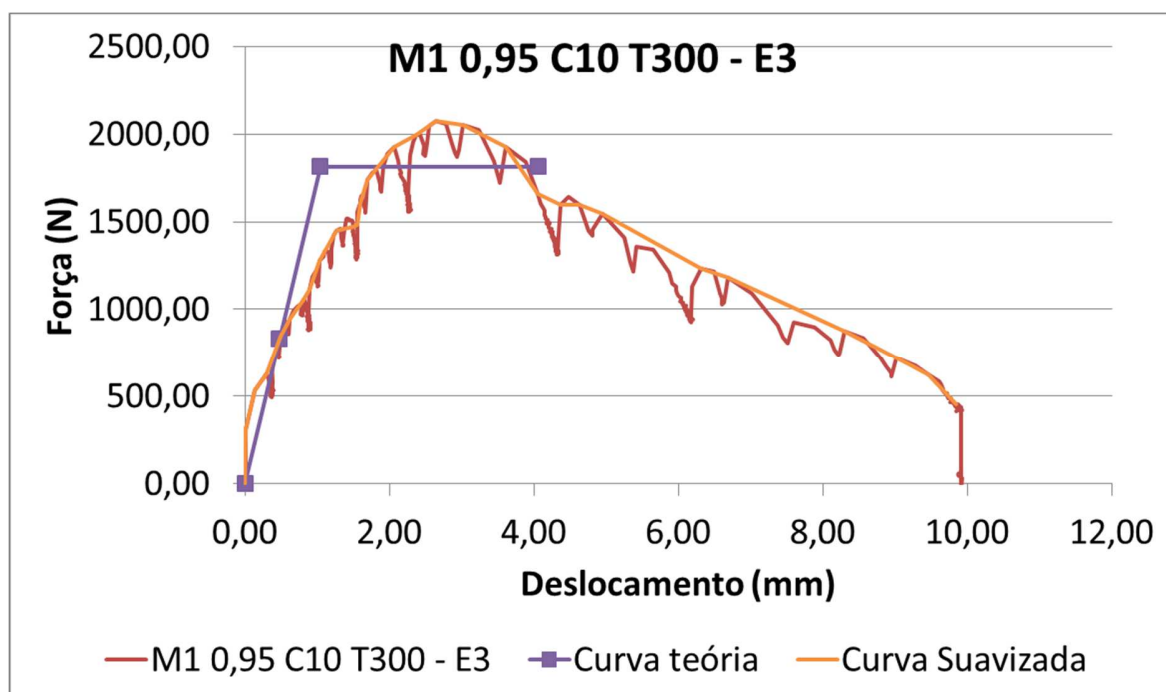


Figura 48 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M1 0,95 C10 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

Tabela 8 - Tabela resumo dos espécimes “M1 0,95 C10 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M1 0,95 C12 L300 - E1	1983,91	2582,27	11549,71	13,13
M1 0,95 C12 L300 - E2	2040,46	1052,70	13093,13	5,31
M1 0,95 C12 L300 - E3	2172,41	1697,61	10298,07	5,60
X_m	2065,59	1777,53	11646,97	8,01
C_v (%)	4,68%	43,20%	12,02%	55,36%
M1 0,95 C12 T300 - E1	2052,24	1268,53	11894,02	5,10
M1 0,95 C12 T300 - E2	2073,45	1590,10	11559,24	8,82
M1 0,95 C12 T300 - E3	2075,80	1738,48	6411,44	3,88
X_m	2067,16	1532,37	9954,90	5,94
C_v (%)	0,63%	15,68%	30,87%	43,35%

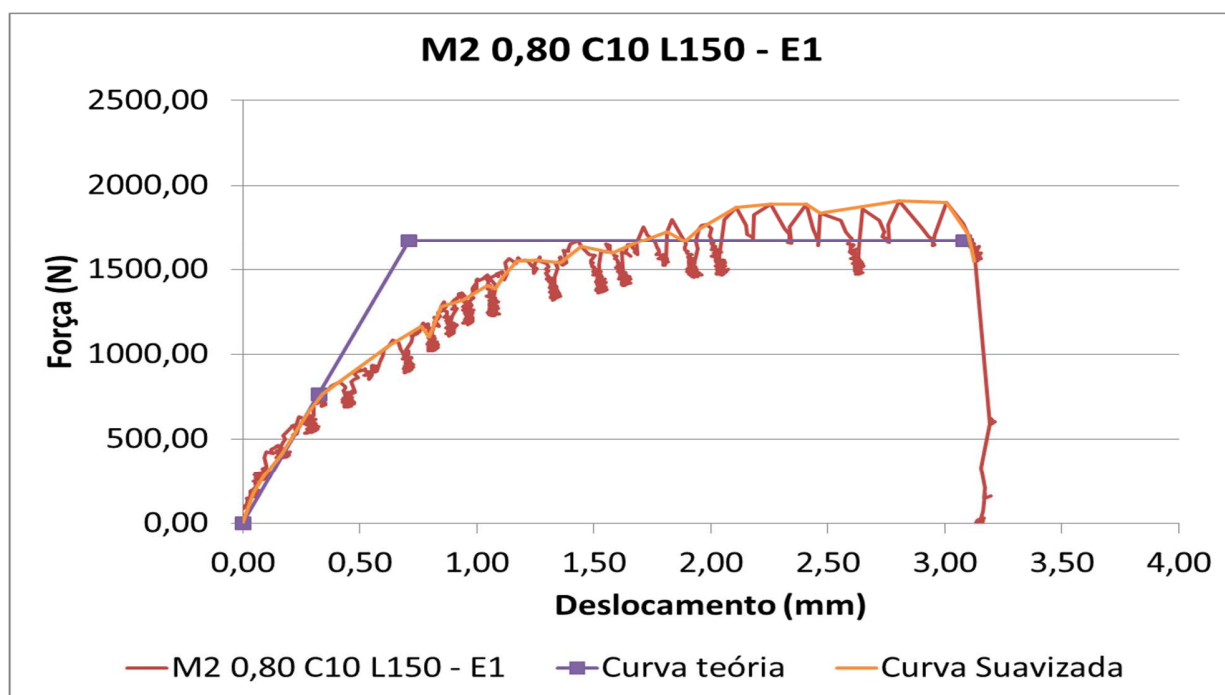


Figura 49 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

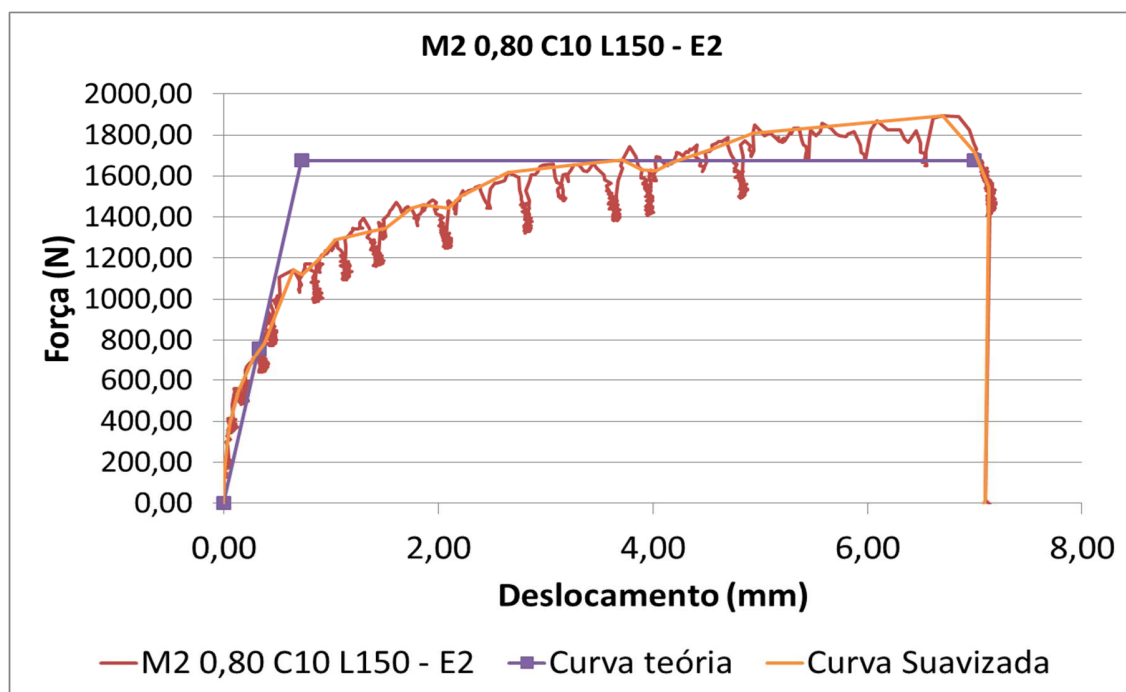


Figura 50 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

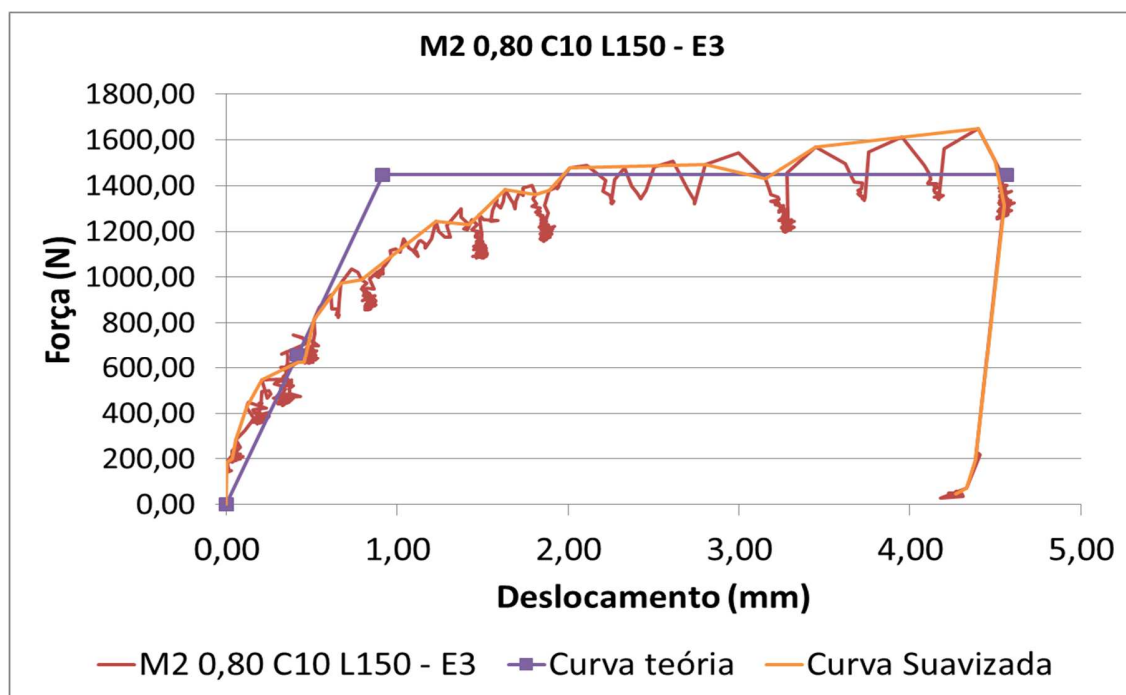


Figura 51 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

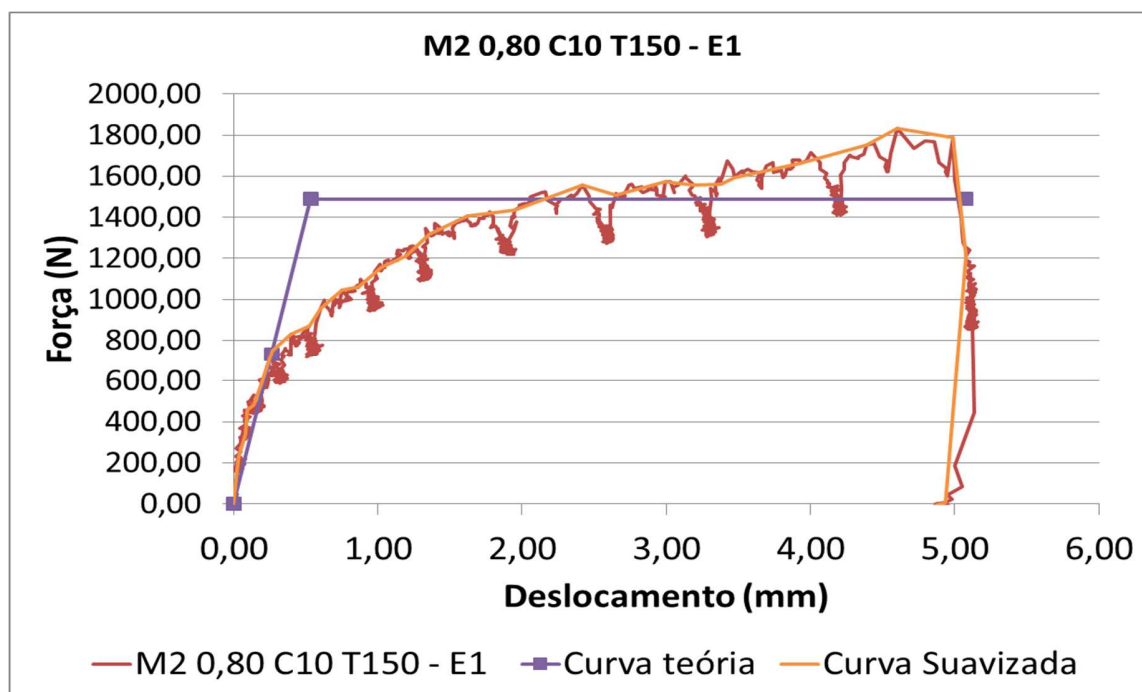


Figura 52 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

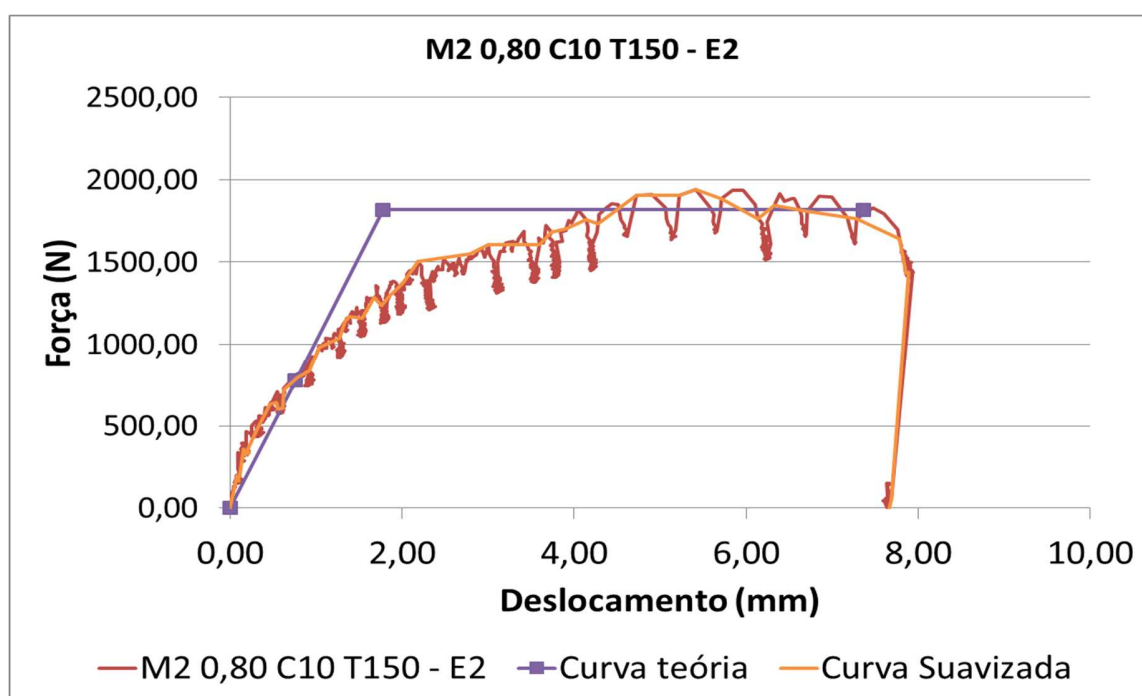


Figura 53 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

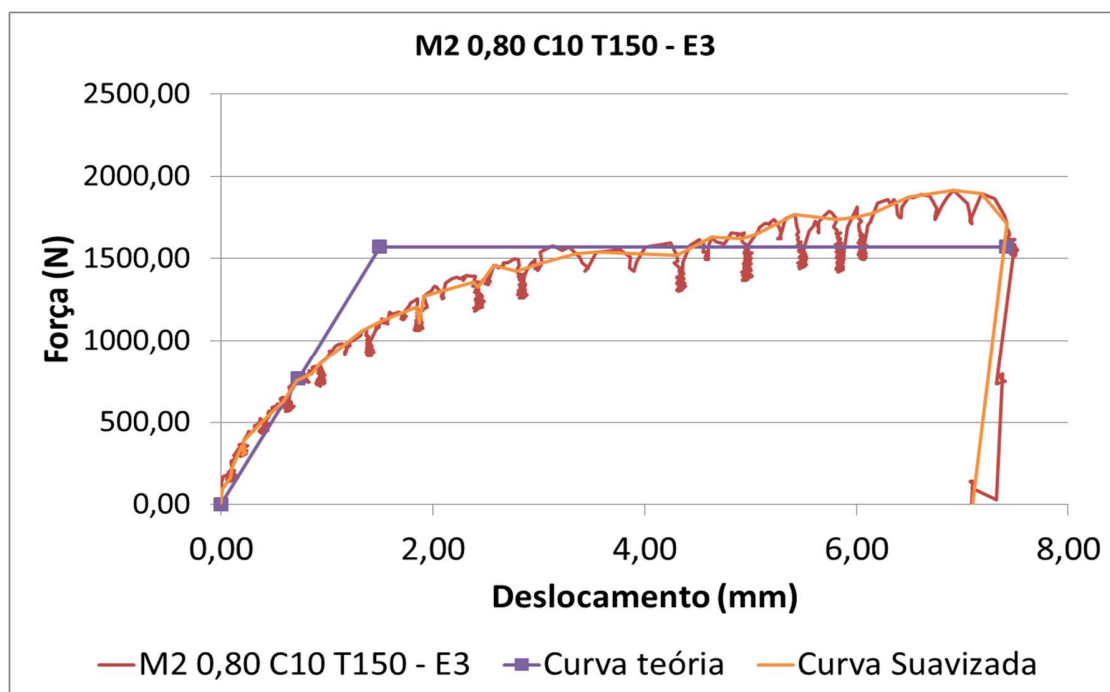


Figura 54 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 9 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,80 C10 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). $\bar{X}_m$ são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M2 0,80 C10 L150 - E1	1908,51	2354,71	4553,75	4,34
M2 0,80 C10 L150 - E2	1894,38	2311,52	11109,96	9,65
M2 0,80 C10 L150 - E3	1648,39	1581,98	5942,61	4,99
$\bar{X}_m$	1817,09	2082,73	7202,11	6,32
$C_v \text{ (%)}$	8,05%	20,85%	47,97%	45,78%
M2 0,80 C10 T150 - E1	1832,17	2782,38	7162,31	9,49
M2 0,80 C10 T150 - E2	1942,44	1022,77	11772,81	4,14
M2 0,80 C10 T150 - E3	1914,17	1049,74	10495,70	4,95
$\bar{X}_m$	1896,26	1618,30	9810,27	6,19
$C_v \text{ (%)}$	3,02%	62,30%	24,26%	46,59%

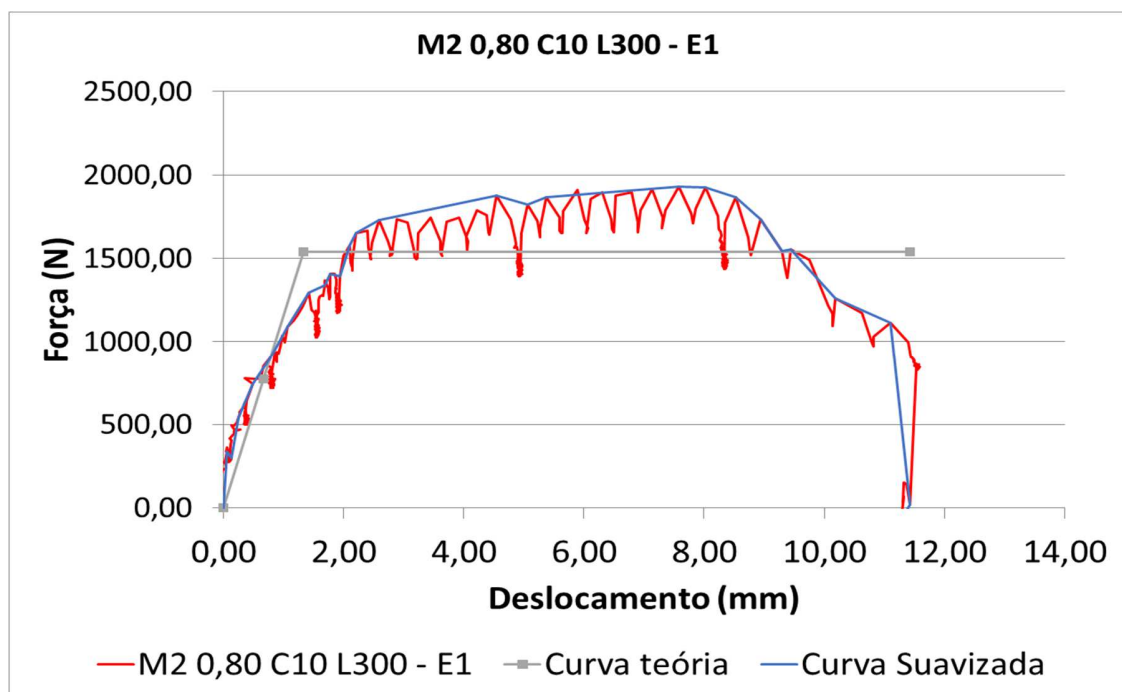


Figura 55 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

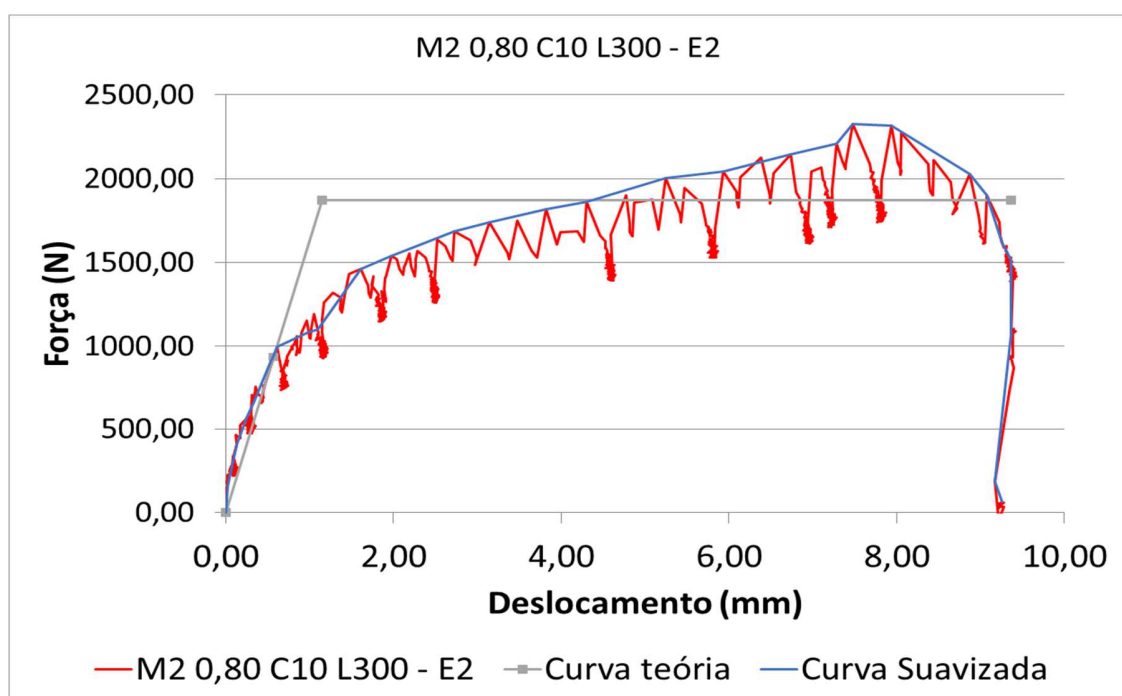


Figura 56 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

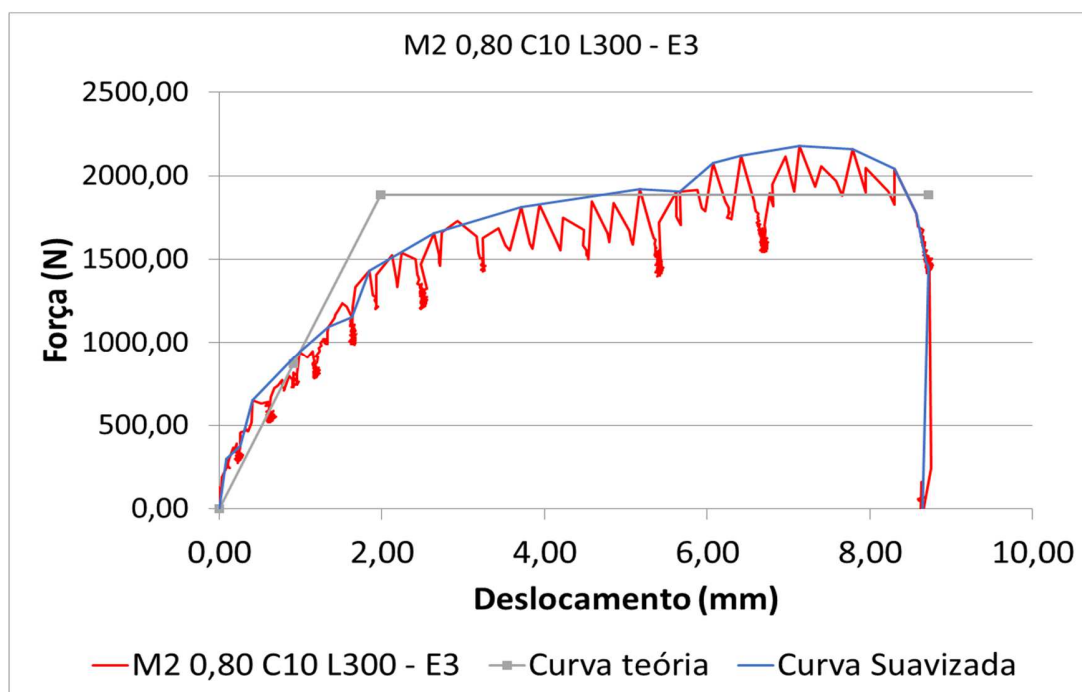


Figura 57 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

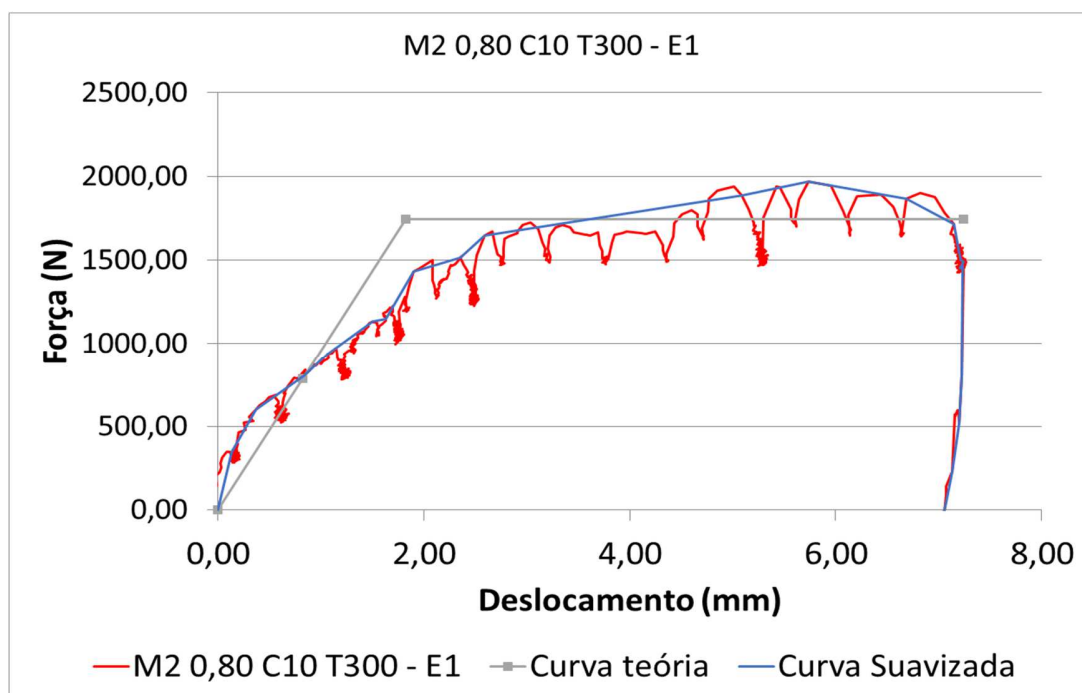


Figura 58 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

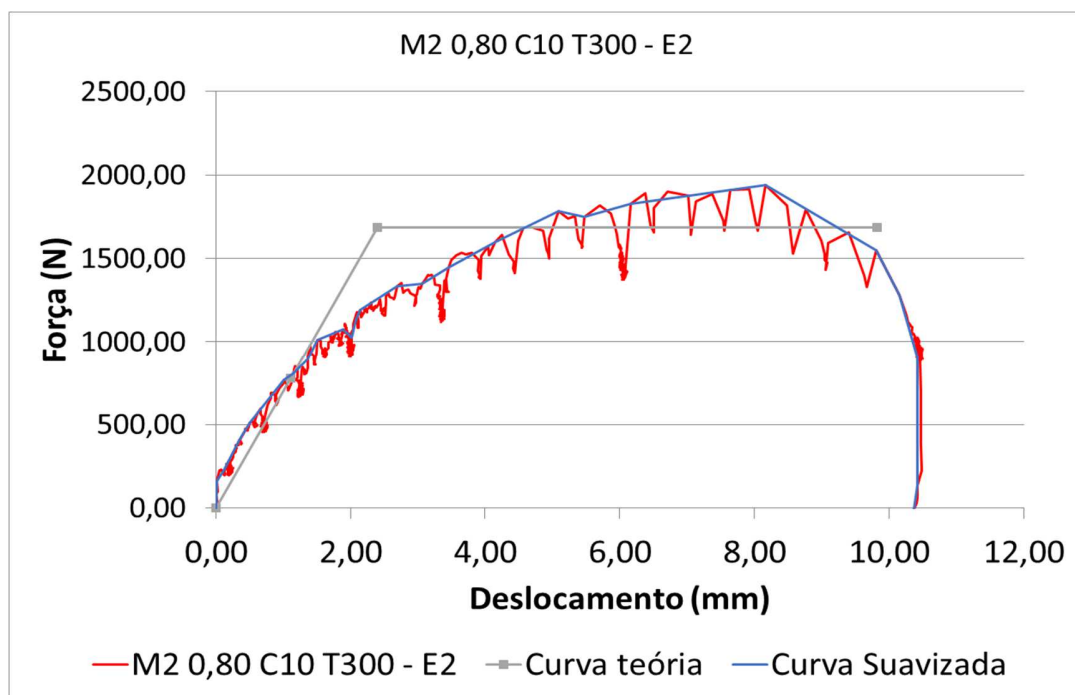


Figura 59 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

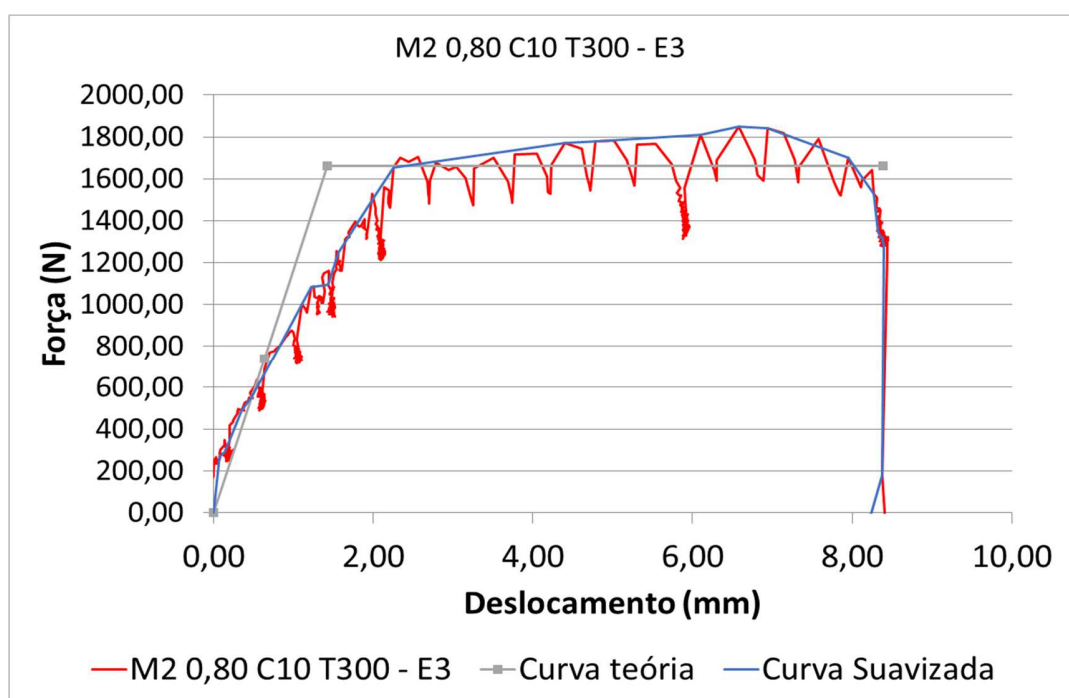


Figura 60 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C10 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 10 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,80 C10 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M2 0,80 C10 L300 - E1	1932,07	1158,61	16584,15	8,60
M2 0,80 C10 L300 - E2	2327,92	1622,86	16446,22	8,13
M2 0,80 C10 L300 - E3	2177,12	949,32	14577,66	4,39
X_m	2145,70	1243,60	15869,34	7,04
C_v (%)	9,31%	27,72%	7,06%	32,78%
M2 0,80 C10 T300 - E1	1969,77	954,01	11030,81	3,96
M2 0,80 C10 T300 - E2	1941,50	700,50	14524,06	4,08
M2 0,80 C10 T300 - E3	1847,25	1164,85	12739,92	5,89
X_m	1919,51	939,79	12764,93	4,65
C_v (%)	3,34%	24,74%	13,68%	23,24%

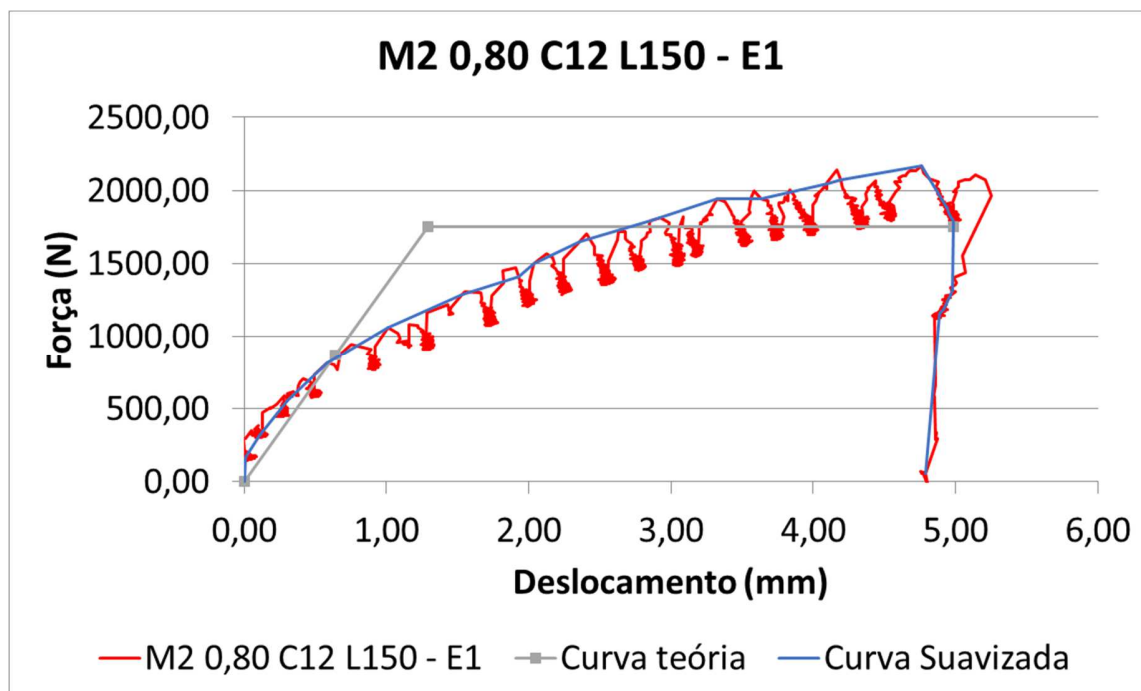


Figura 61- Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

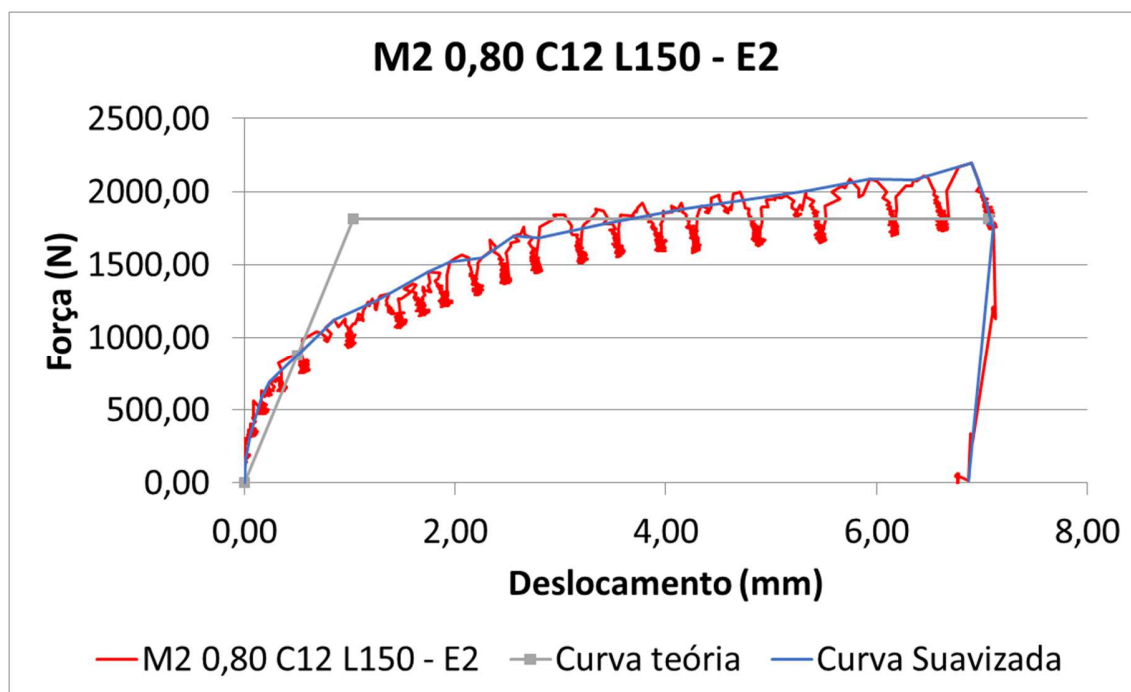


Figura 62 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

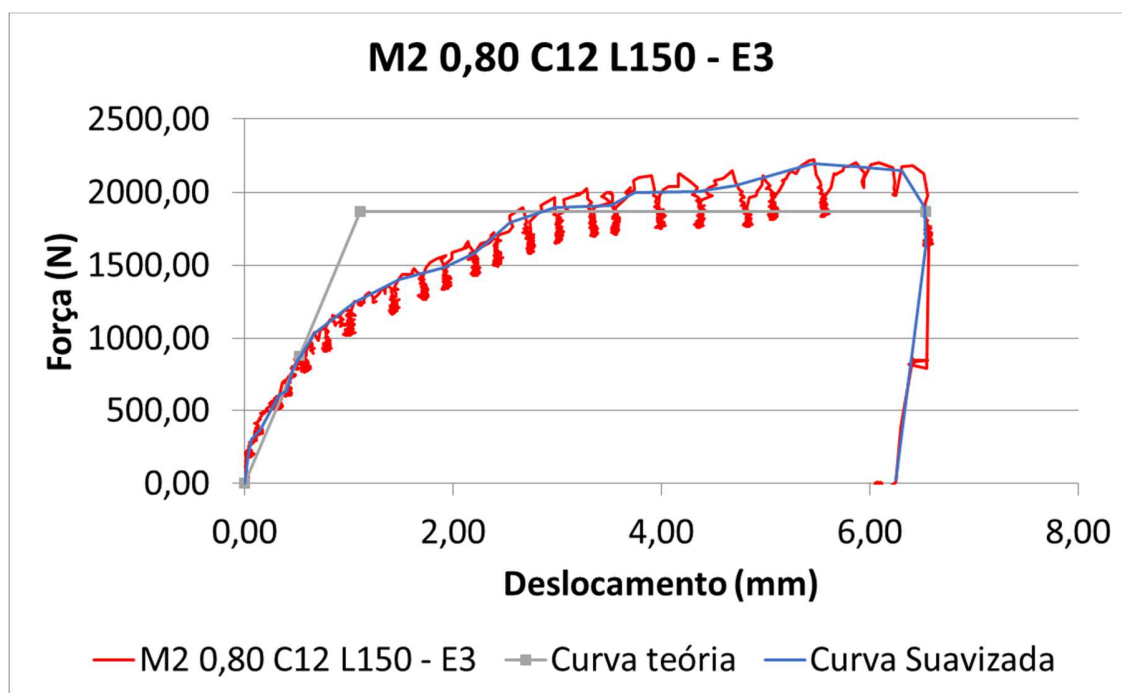


Figura 63 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

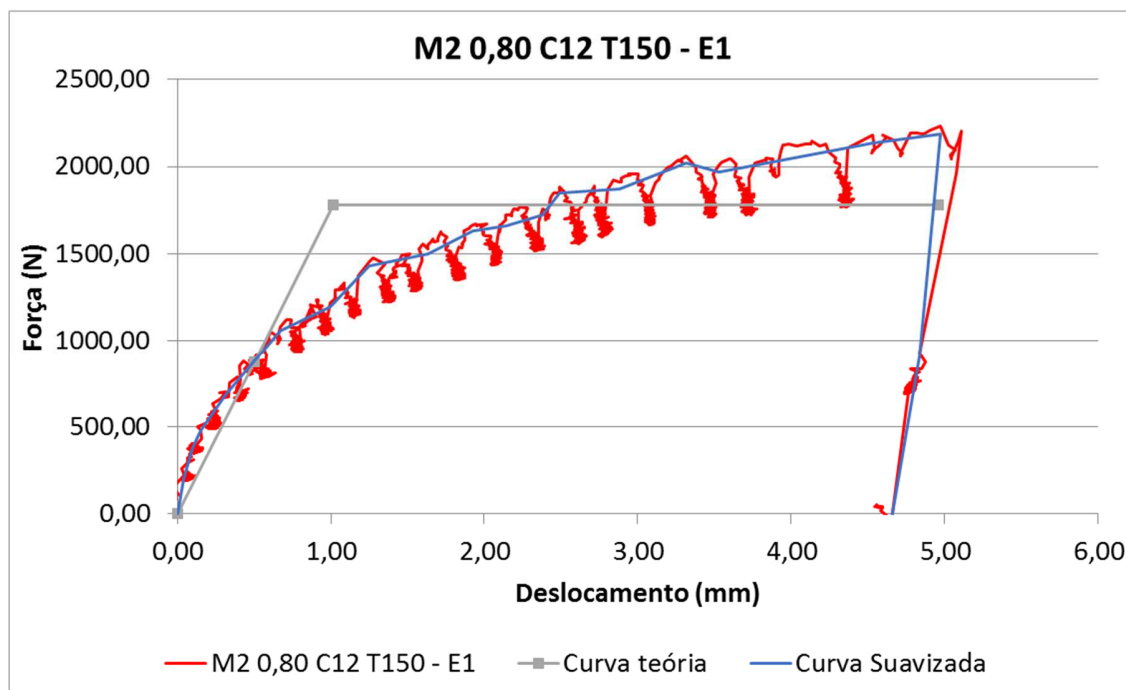


Figura 64 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

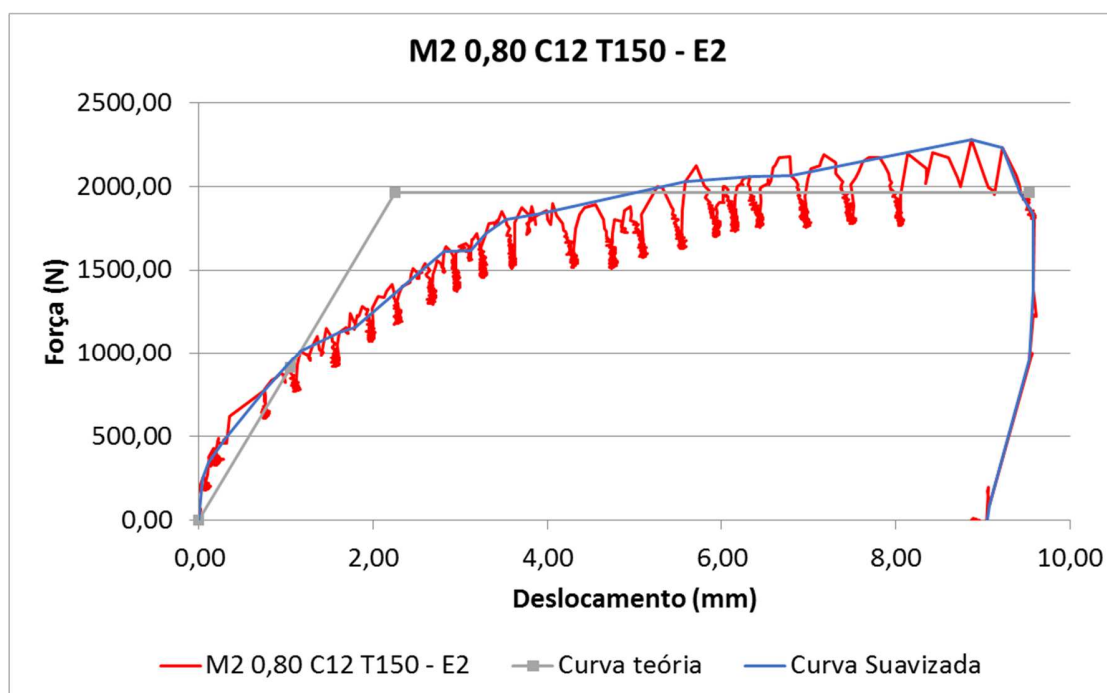


Figura 65 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

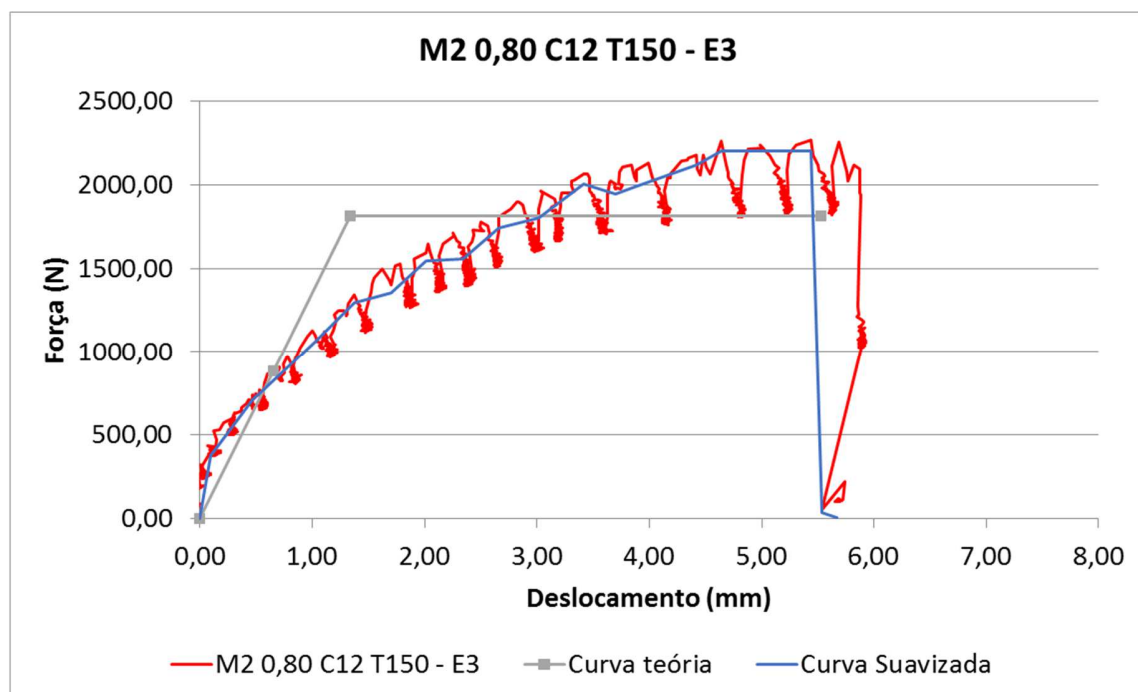


Figura 66 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 11 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,80 C12 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M2 0,80 C12 L150 - E1	2168,64	1355,40	7608,57	3,86
M2 0,80 C12 L150 - E2	2196,91	1757,53	11875,18	6,84
M2 0,80 C12 L150 - E3	2194,08	1673,39	11156,00	5,87
X_m	2186,54	1595,44	10213,25	5,52
$C_v \text{ (%)}$	0,71%	13,29%	22,37%	27,54%
M2 0,80 C12 T150 - E1	2188,43	1750,74	7919,73	4,88
M2 0,80 C12 T150 - E2	2278,91	869,84	16487,64	4,23
M2 0,80 C12 T150 - E3	2205,39	1353,27	8817,71	4,12
X_m	2224,24	1324,62	11075,03	4,41
$C_v \text{ (%)}$	2,16%	33,30%	42,52%	9,30%

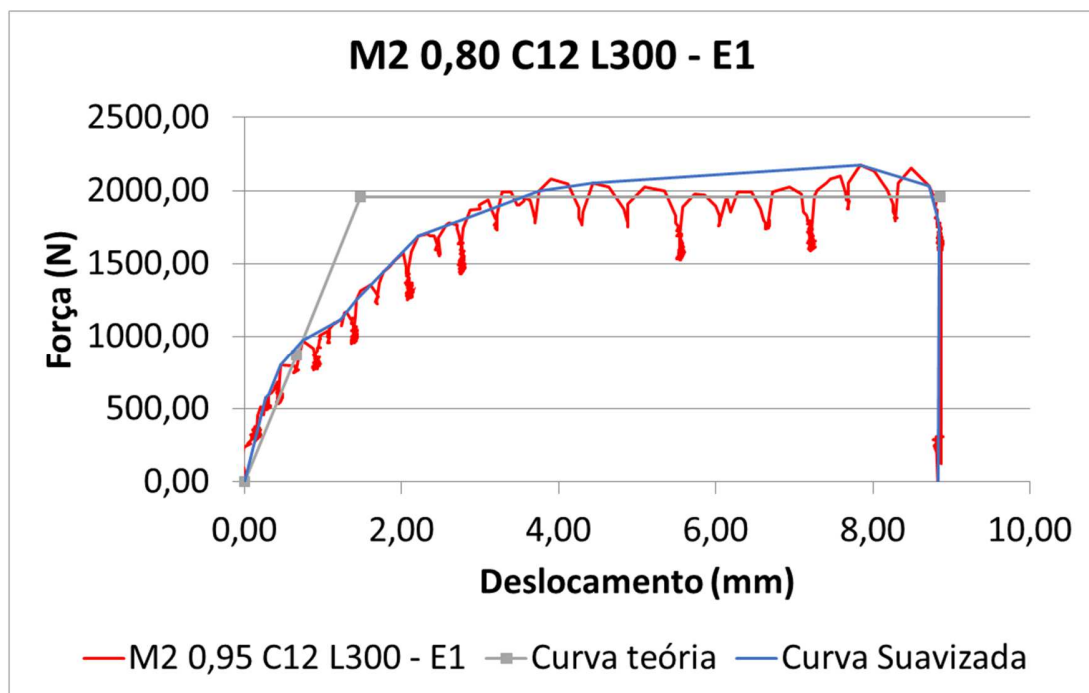


Figura 67 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

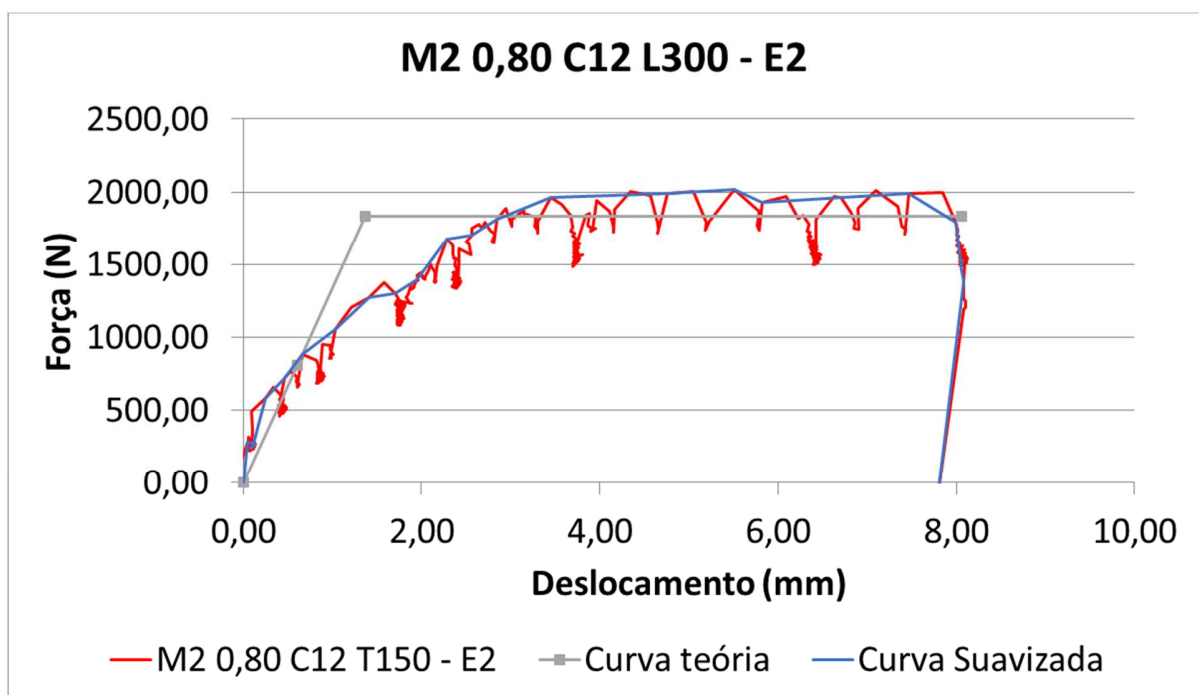


Figura 68 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

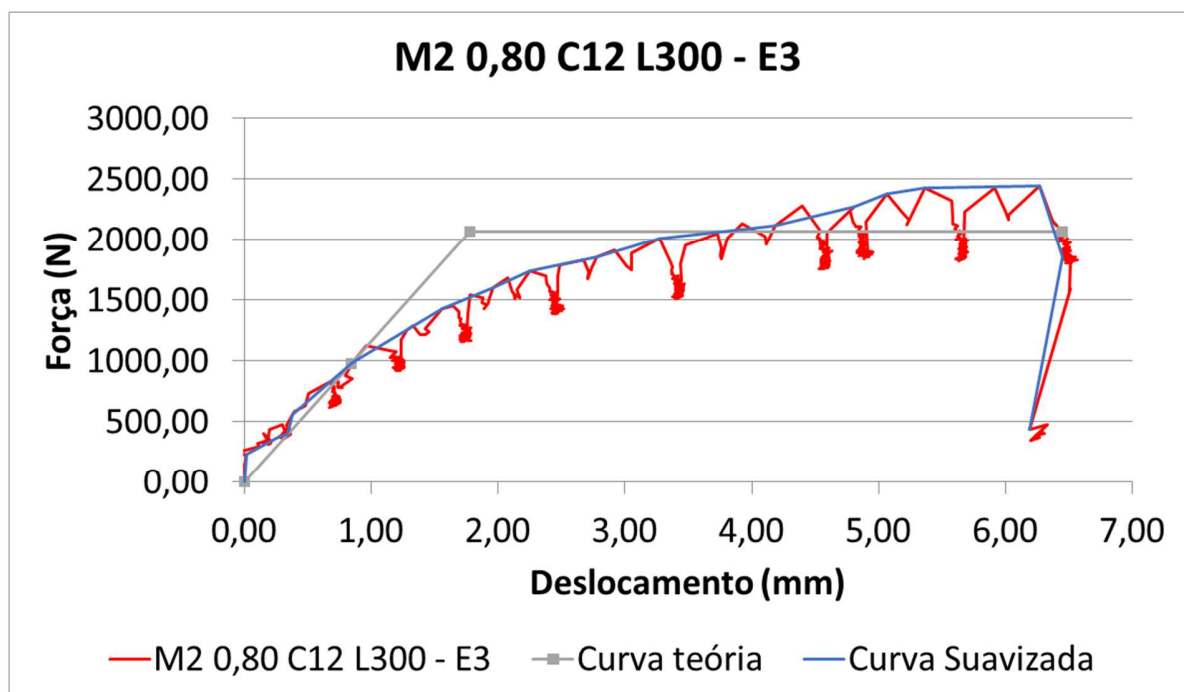


Figura 69 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

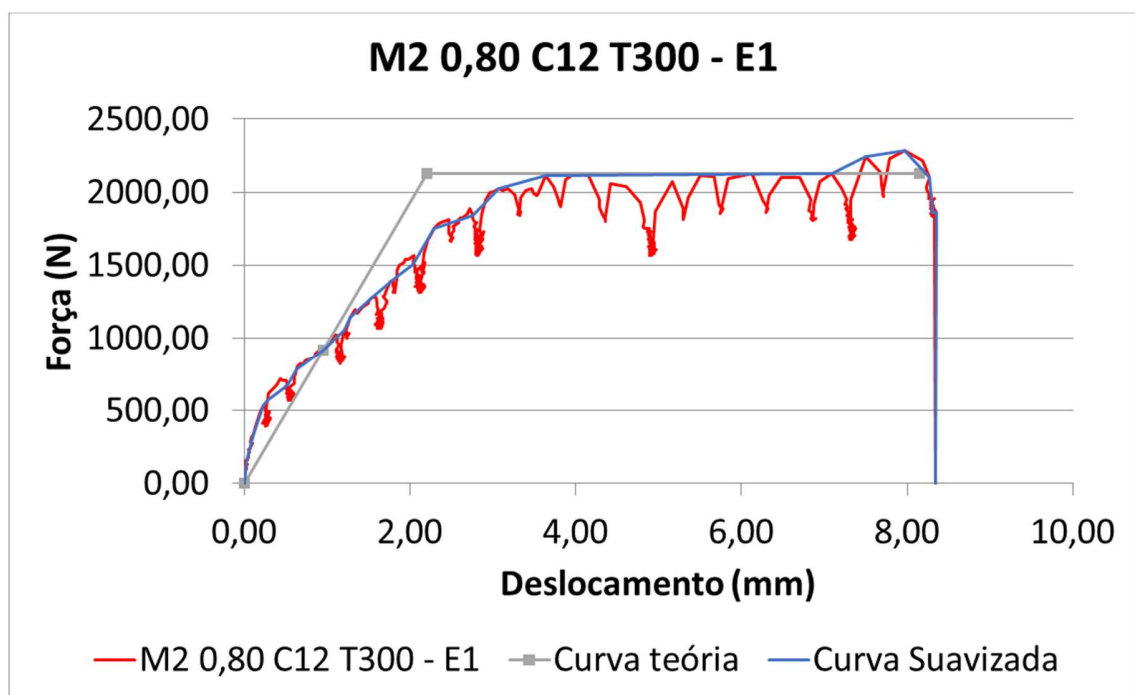


Figura 70 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

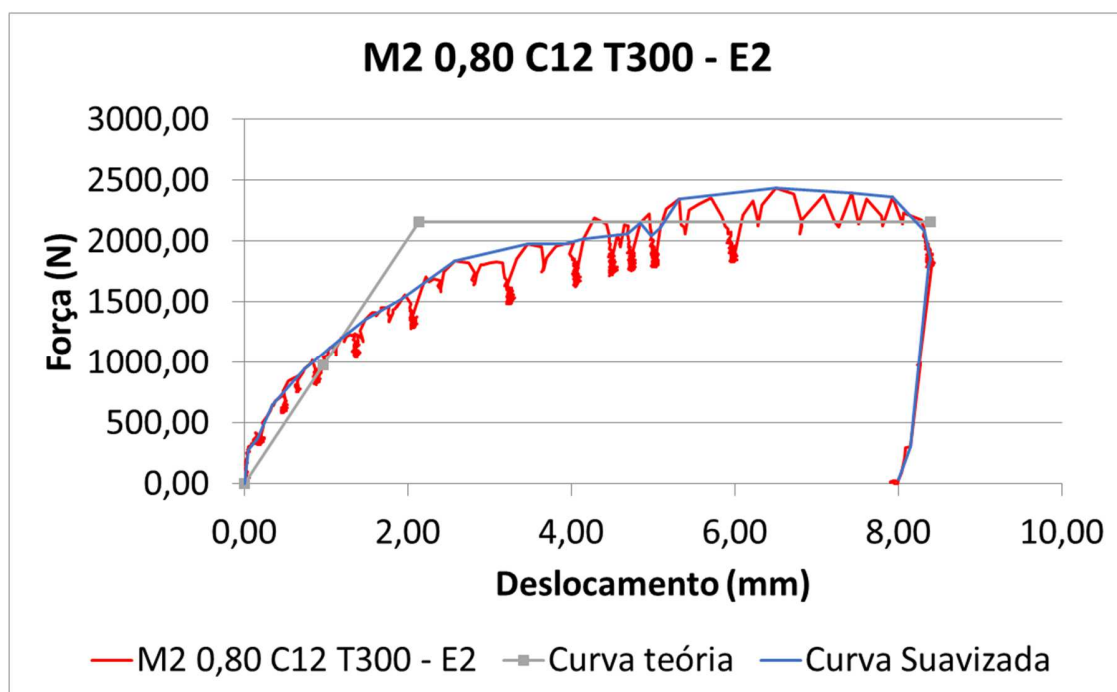


Figura 71 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

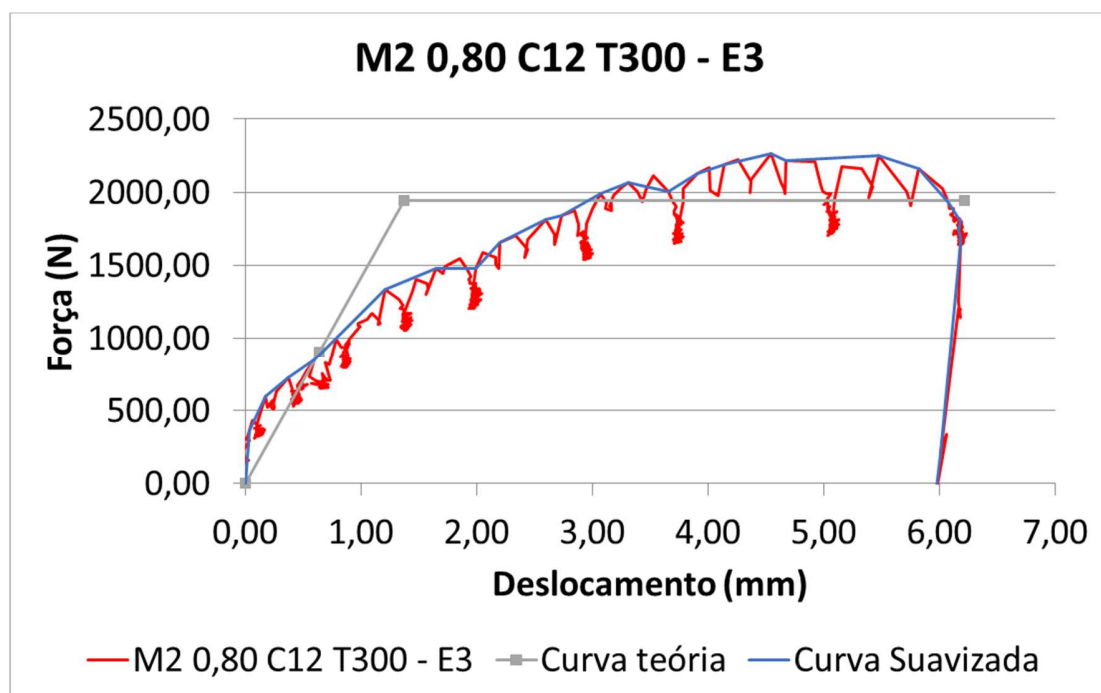


Figura 72 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,80 C12 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 12 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,80 C12 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso (P_{max. Paraf.}), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome (	P _{máx} Paraf. (N)	k _e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M2 0,80 C12 L150 - E1	2177,12	1323,62	15880,20	6,00
M2 0,80 C12 L150 - E2	2016,90	1337,53	13535,95	5,87
M2 0,80 C12 L150 - E3	2445,72	1162,87	11503,28	3,63
X_m	2213,25	1274,67	13639,81	5,17
C_v (%)	9,79%	7,62%	16,06%	25,86%
M2 0,80 C12 T150 - E1	2285,50	961,72	14972,45	3,69
M2 0,80 C12 T150 - E2	2436,30	1008,50	15812,21	3,92
M2 0,80 C12 T150 - E3	2261,94	1415,05	10746,49	4,52
X_m	2327,91	1128,42	13843,72	4,04
C_v (%)	4,06%	22,09%	19,61%	10,57%

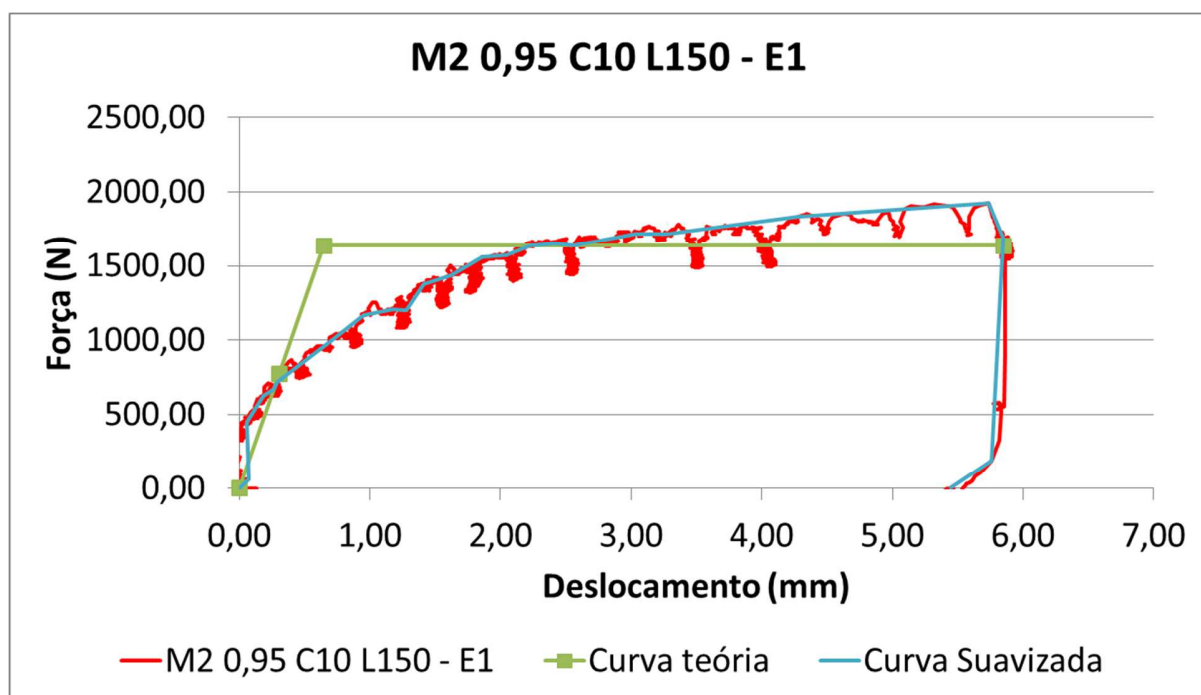


Figura 73 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

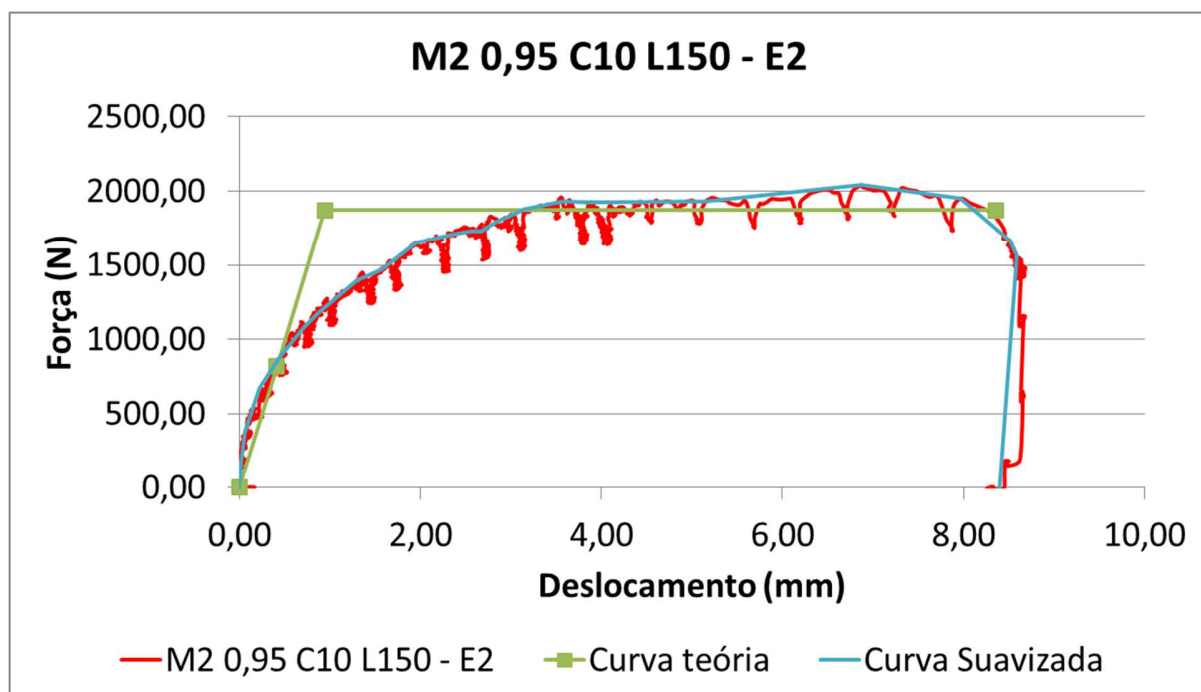


Figura 74 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

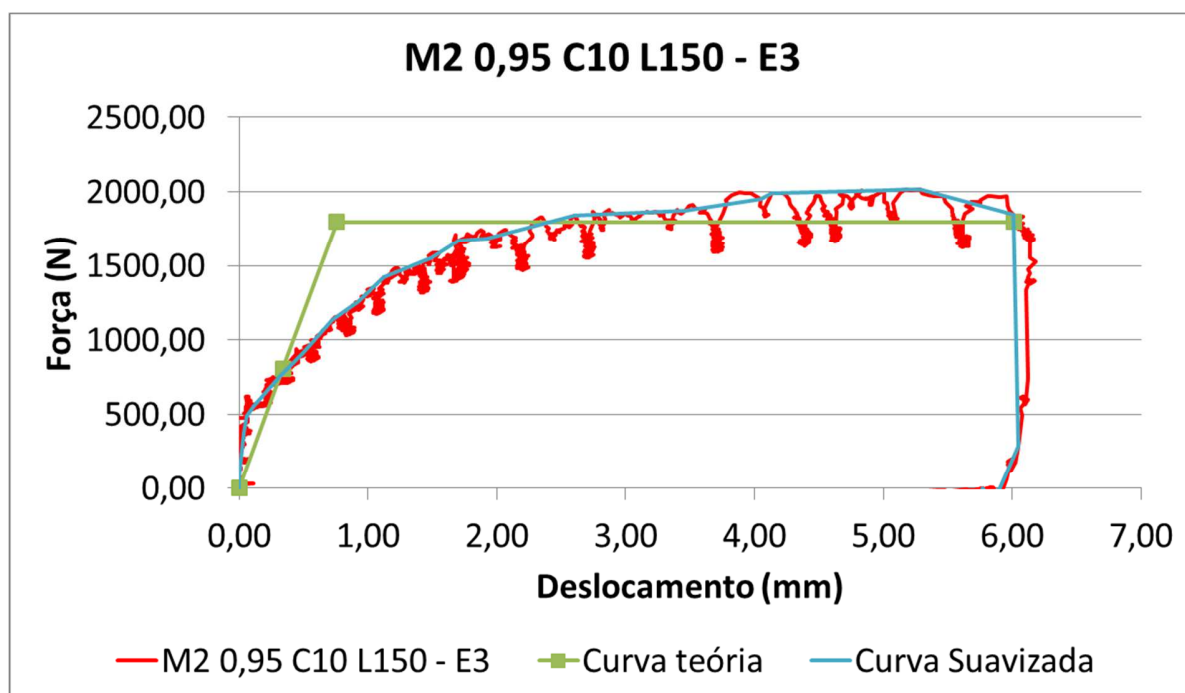


Figura 75 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

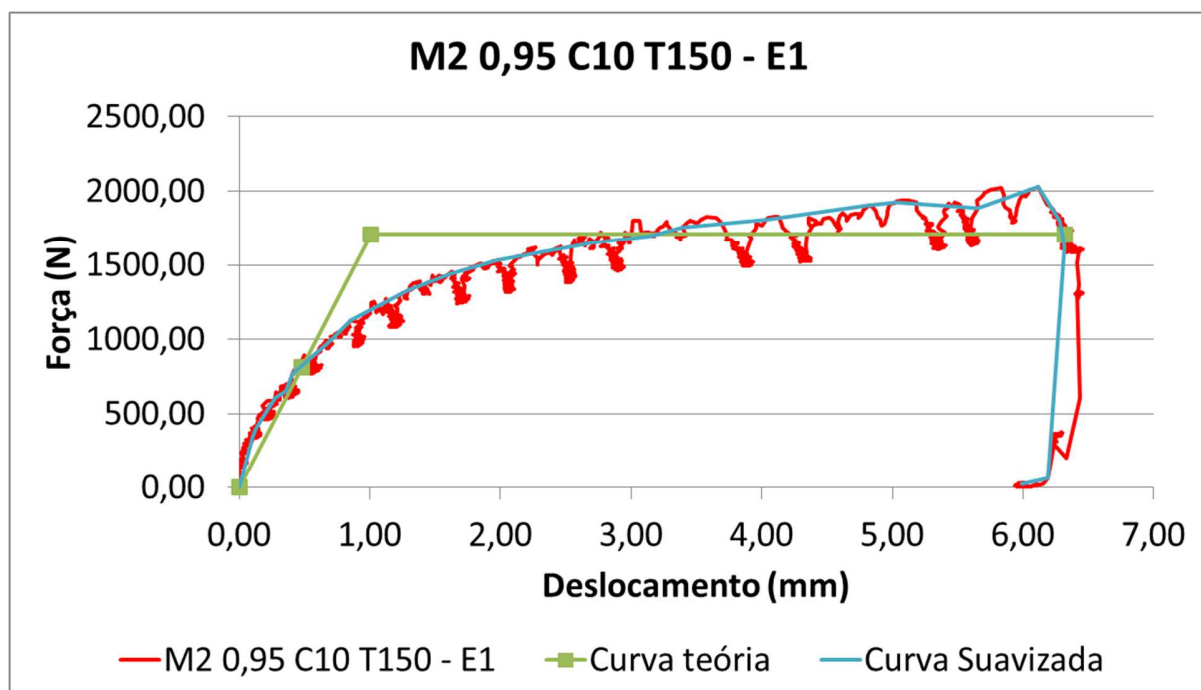


Figura 76 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

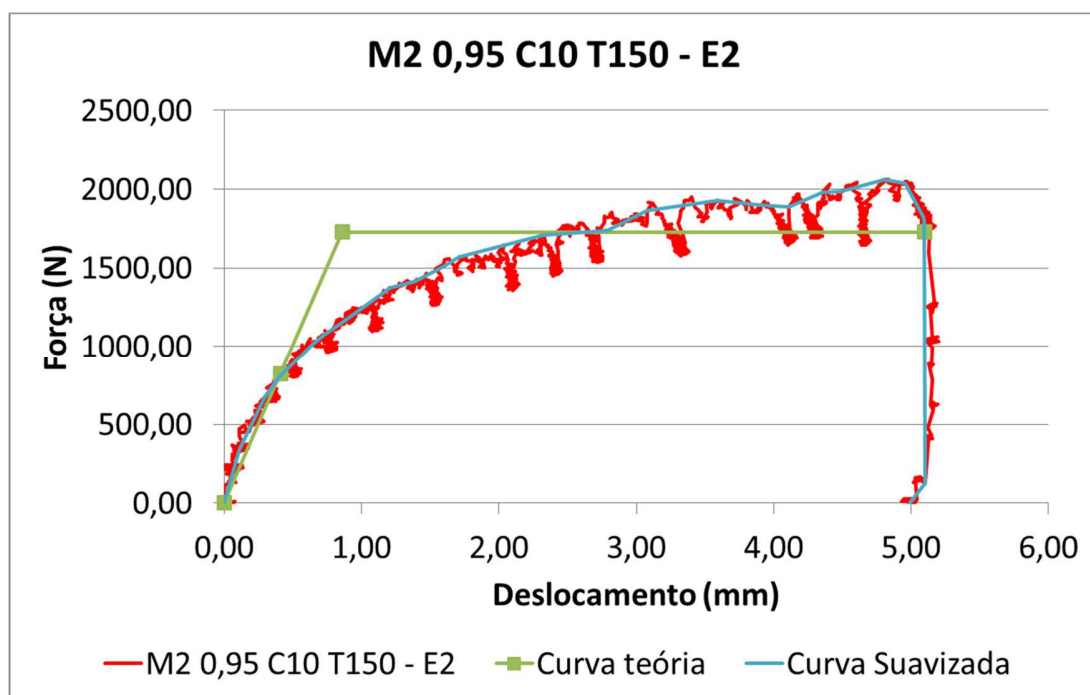


Figura 77 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

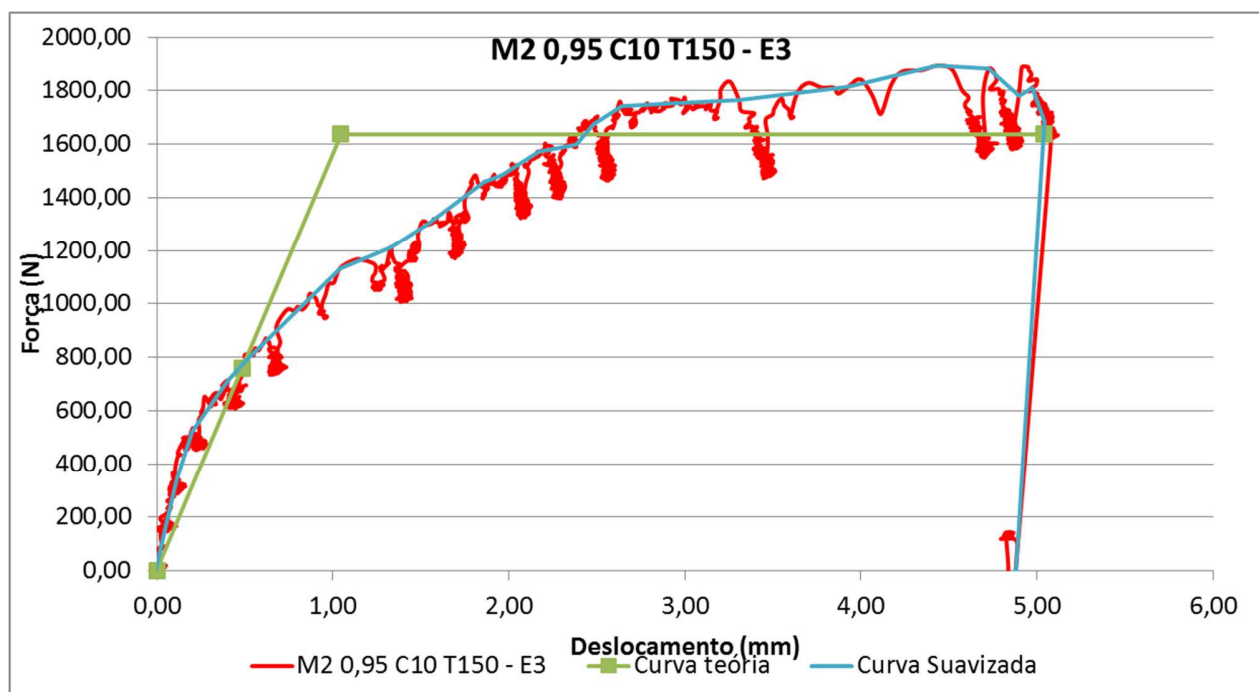


Figura 78 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 13 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,95 C10 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M2 0,95 C10 L150 - E1	1928,30	2524,37	9041,21	9,02
M2 0,95 C10 L150 - E2	2041,40	1979,99	14780,37	8,84
M2 0,95 C10 L150 - E3	2015,96	2369,37	10120,52	7,92
X_m	1995,22	2291,25	11314,03	8,60
C_v (%)	2,97%	12,24%	26,96%	6,85%
M2 0,95 C10 T150 - E1	2032,92	1694,10	9940,74	6,26
M2 0,95 C10 T150 - E2	2058,37	2007,34	8061,30	5,93
M2 0,95 C10 T150 - E3	1894,38	1567,80	7399,55	4,82
X_m	1995,22	1756,41	8467,20	5,67
C_v (%)	4,42%	12,88%	15,57%	13,29%

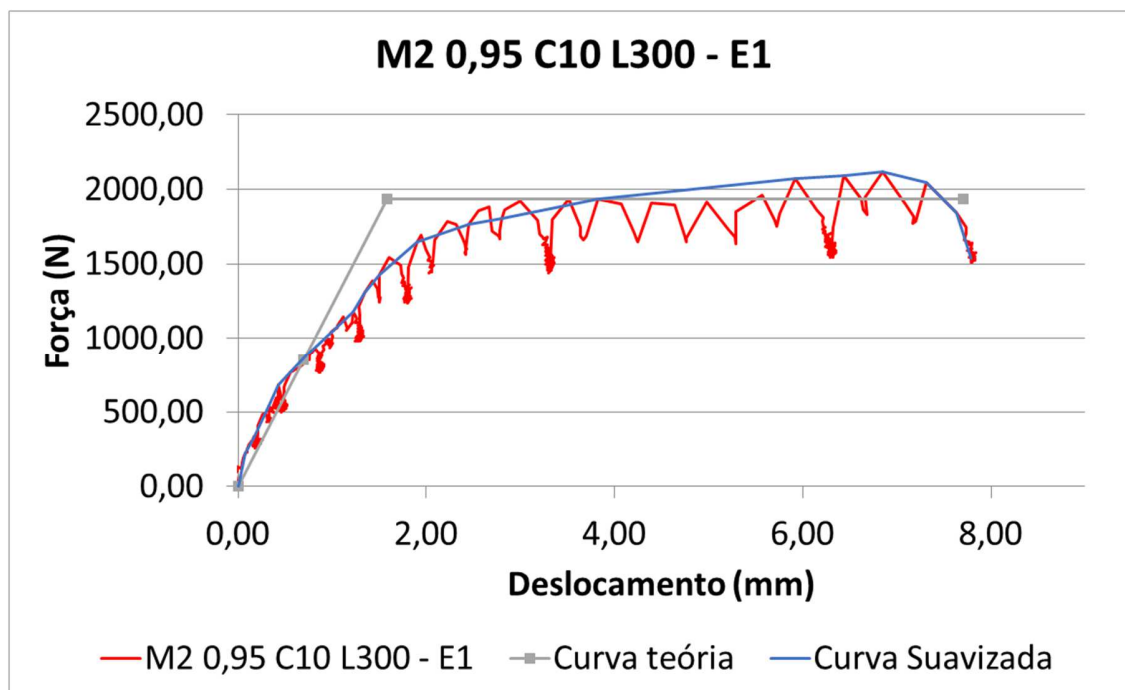


Figura 79 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

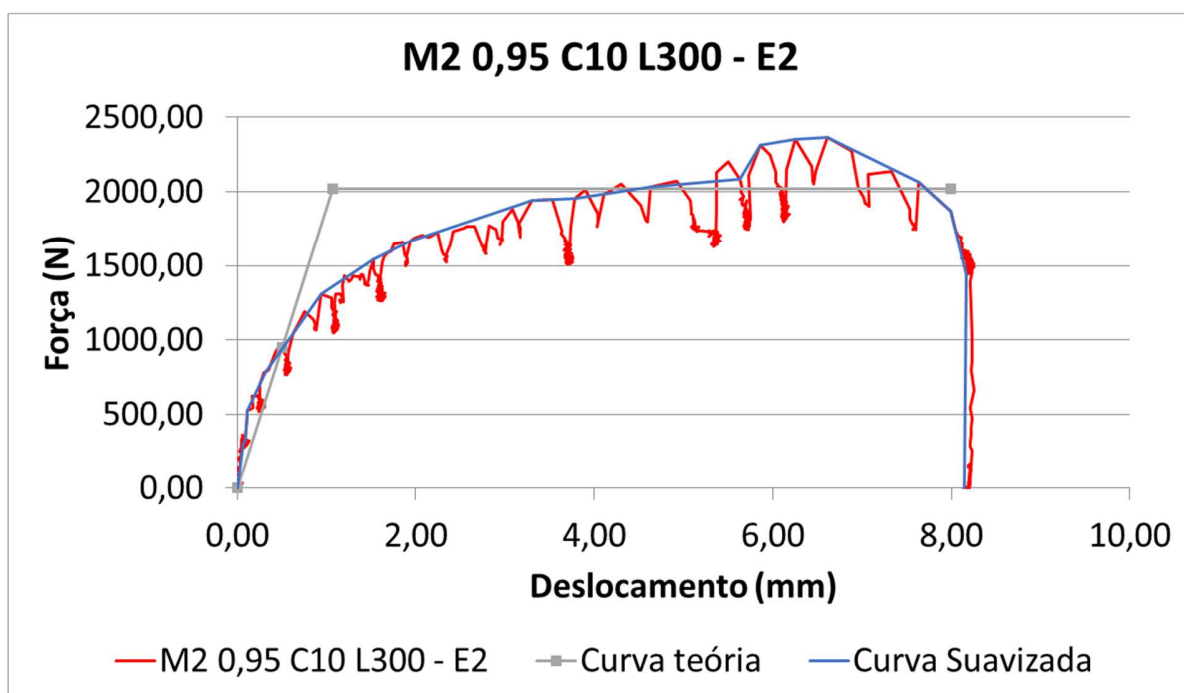


Figura 80 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

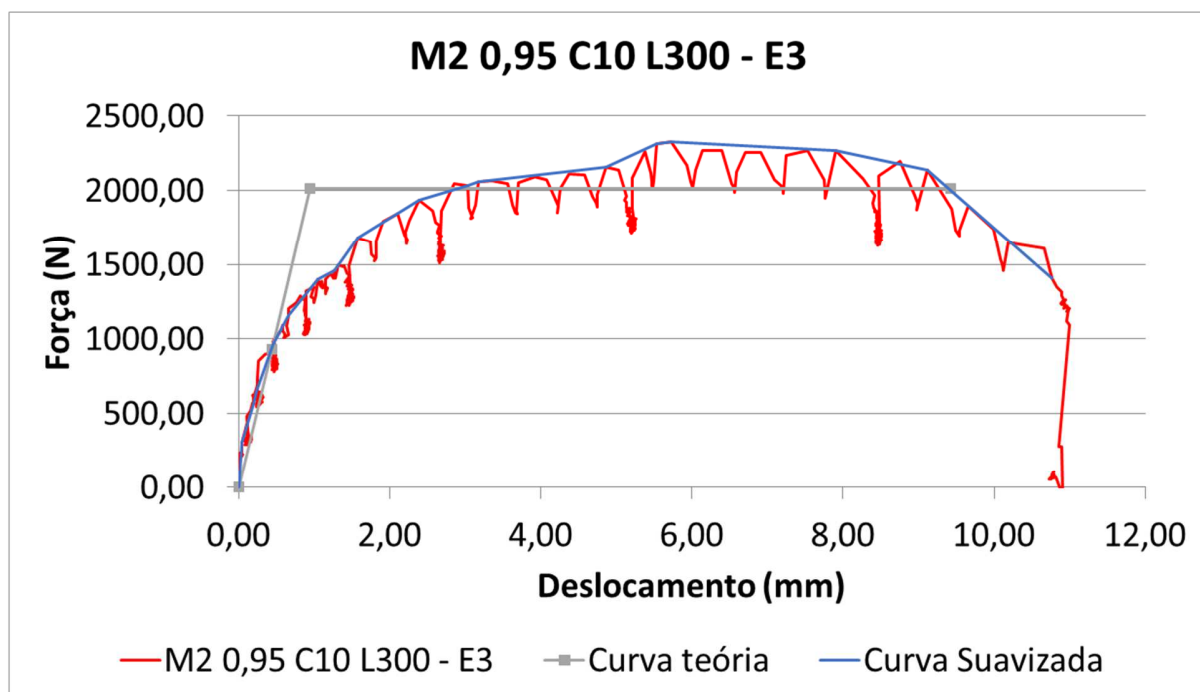


Figura 81 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

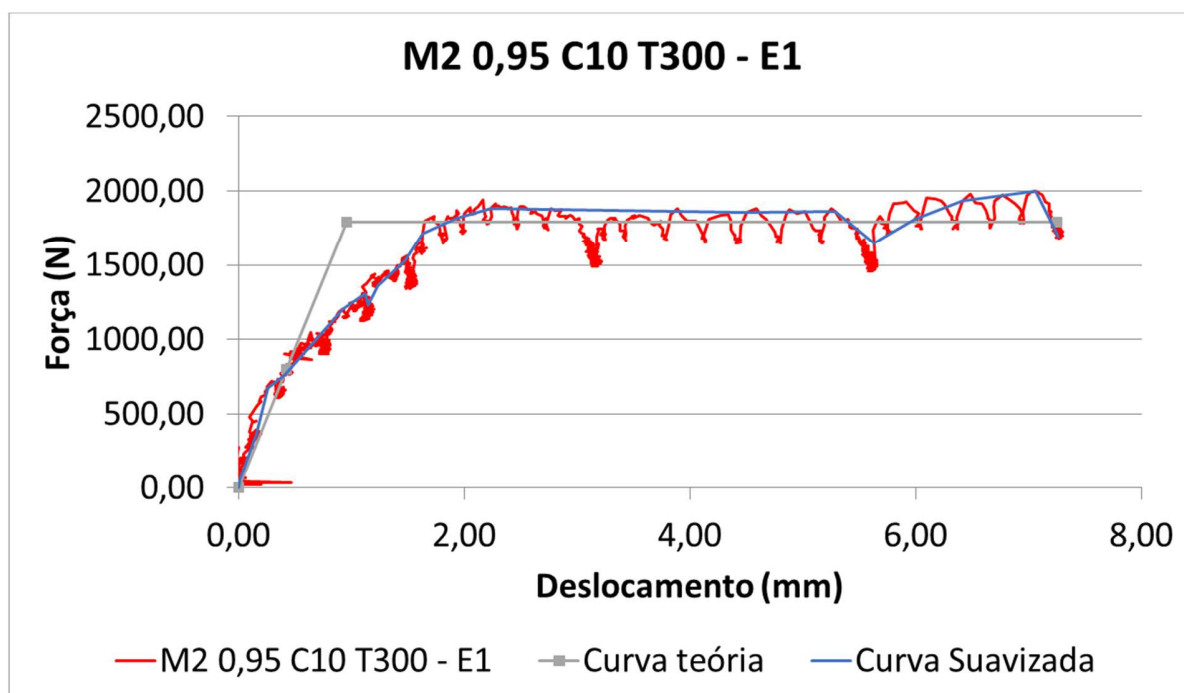


Figura 82 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

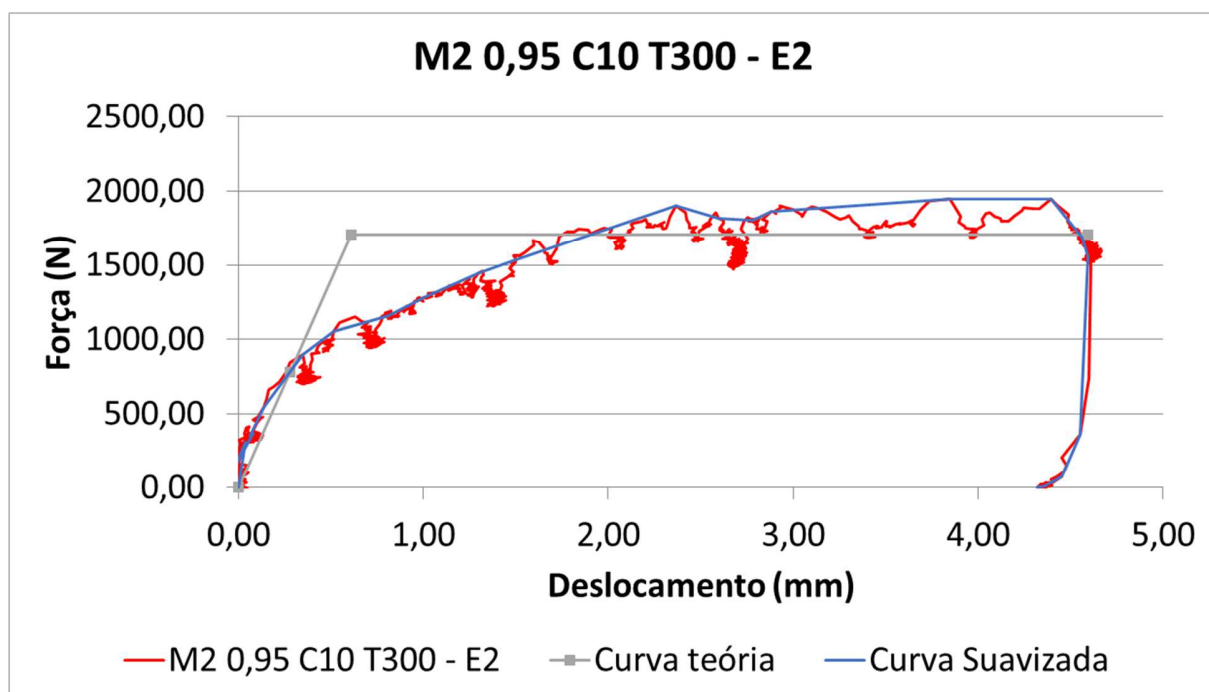


Figura 83 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

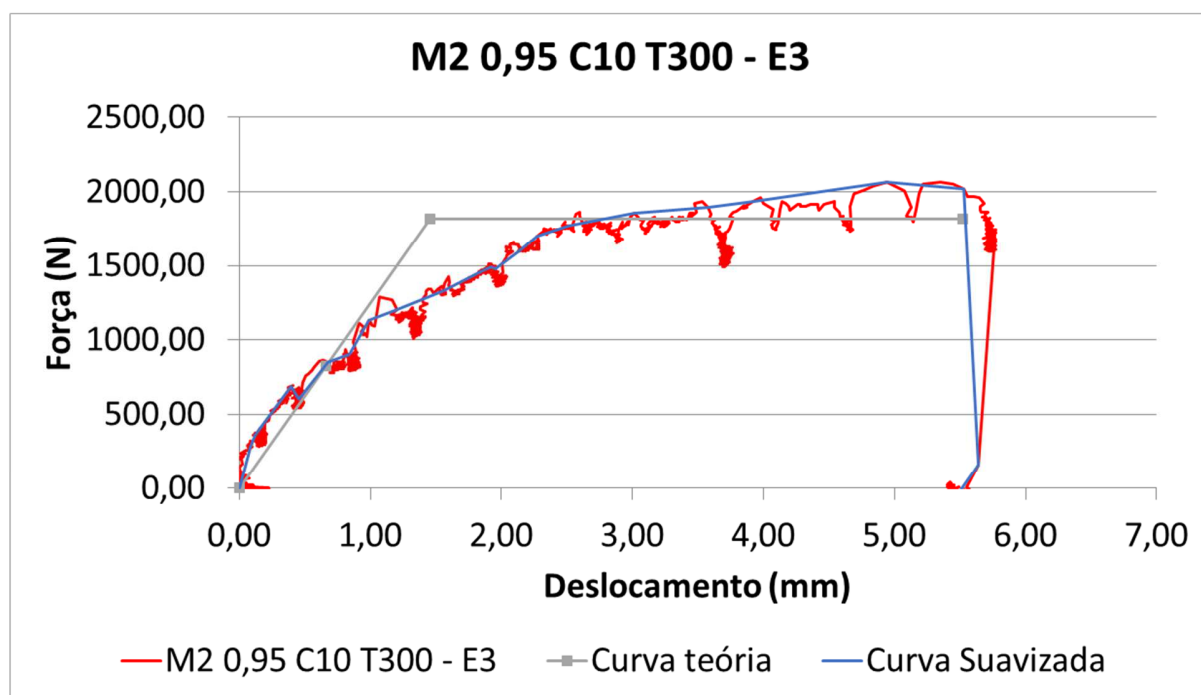


Figura 84 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C10 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 14 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,95 C10 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M2 0,95 C10 L300 - E1	2120,57	1219,18	13358,64	4,85
M2 0,95 C10 L300 - E2	2365,61	1892,49	15054,10	7,50
M2 0,95 C10 L300 - E3	2327,91	2128,94	18011,97	9,96
X_m	2271,37	1746,87	15474,90	7,44
C_v (%)	5,81%	27,02%	15,22%	34,35%
M2 0,95 C10 T300 - E1	1998,05	1872,76	12151,03	7,57
M2 0,95 C10 T300 - E2	1950,92	2787,03	7322,95	7,49
M2 0,95 C10 T300 - E3	2068,73	1247,39	8703,50	3,79
X_m	2005,90	1969,06	9392,50	6,28
C_v (%)	2,96%	39,32%	26,48%	34,35%

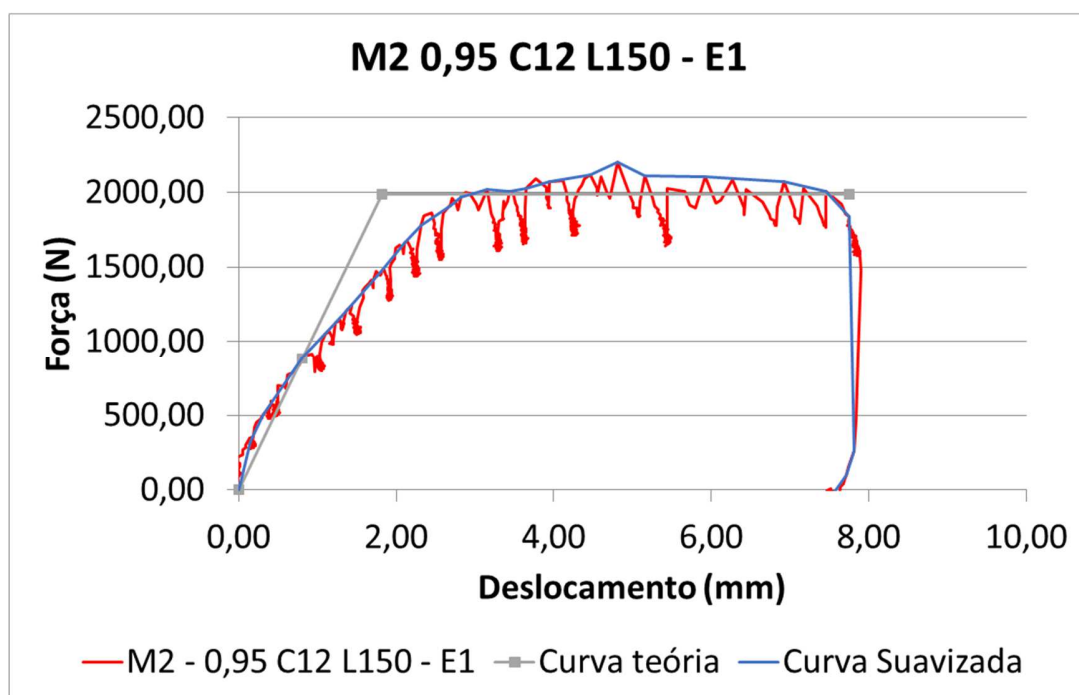


Figura 85 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

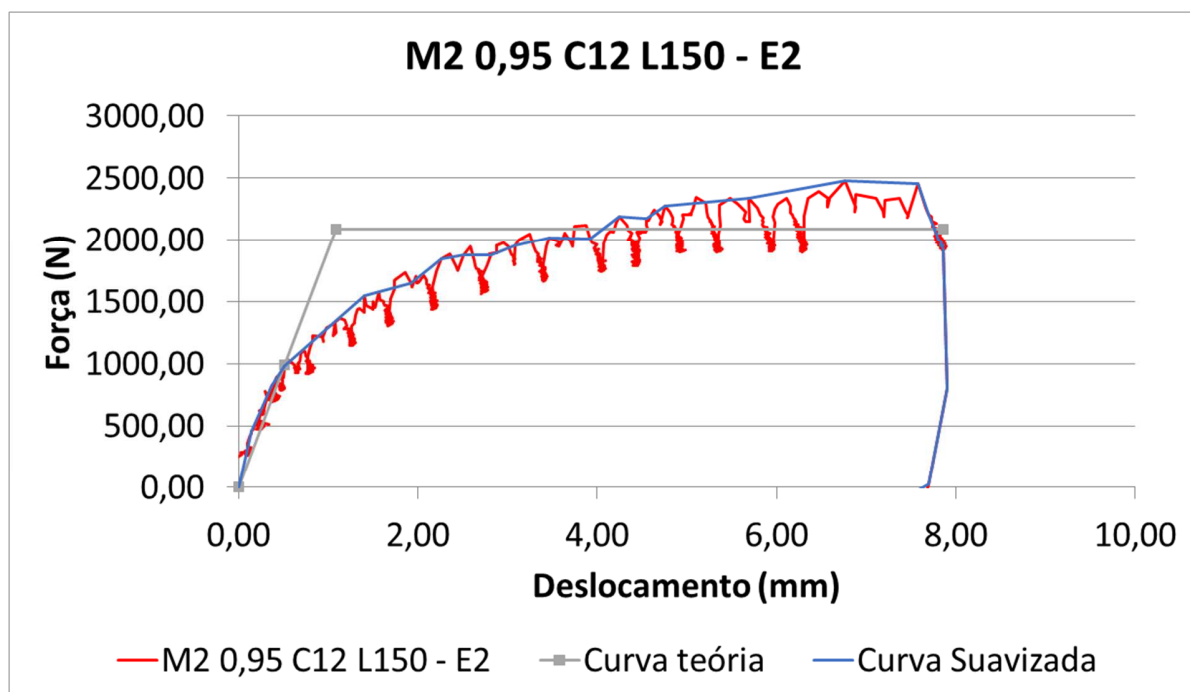


Figura 86 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

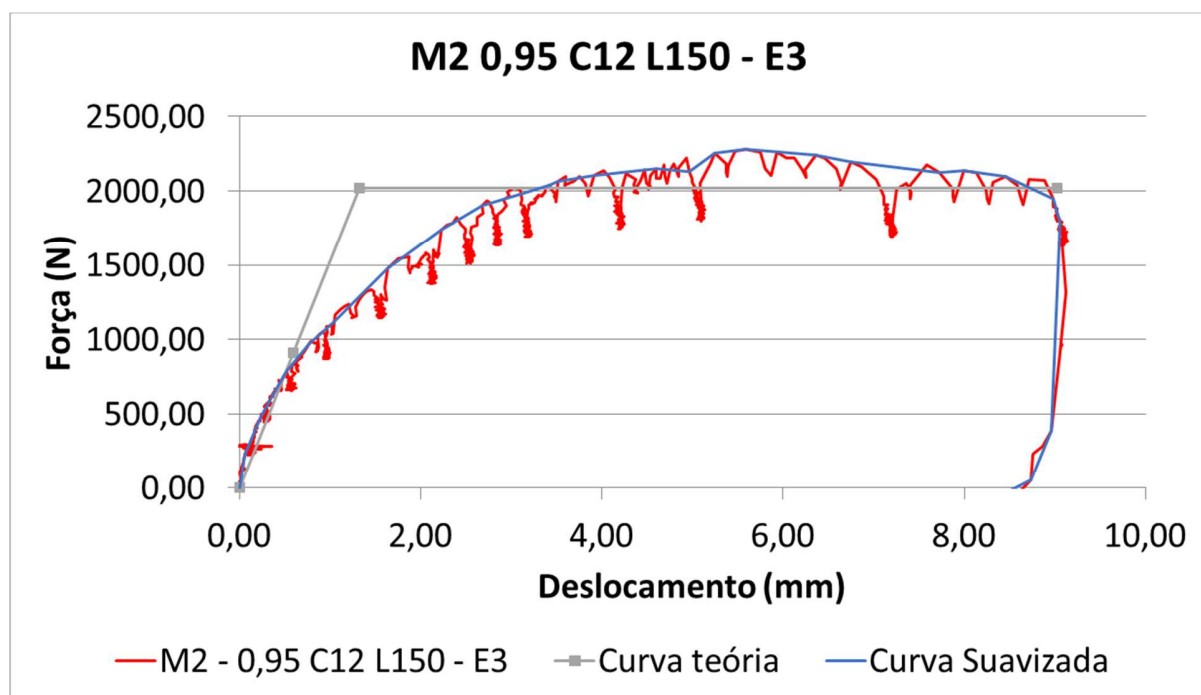


Figura 87 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

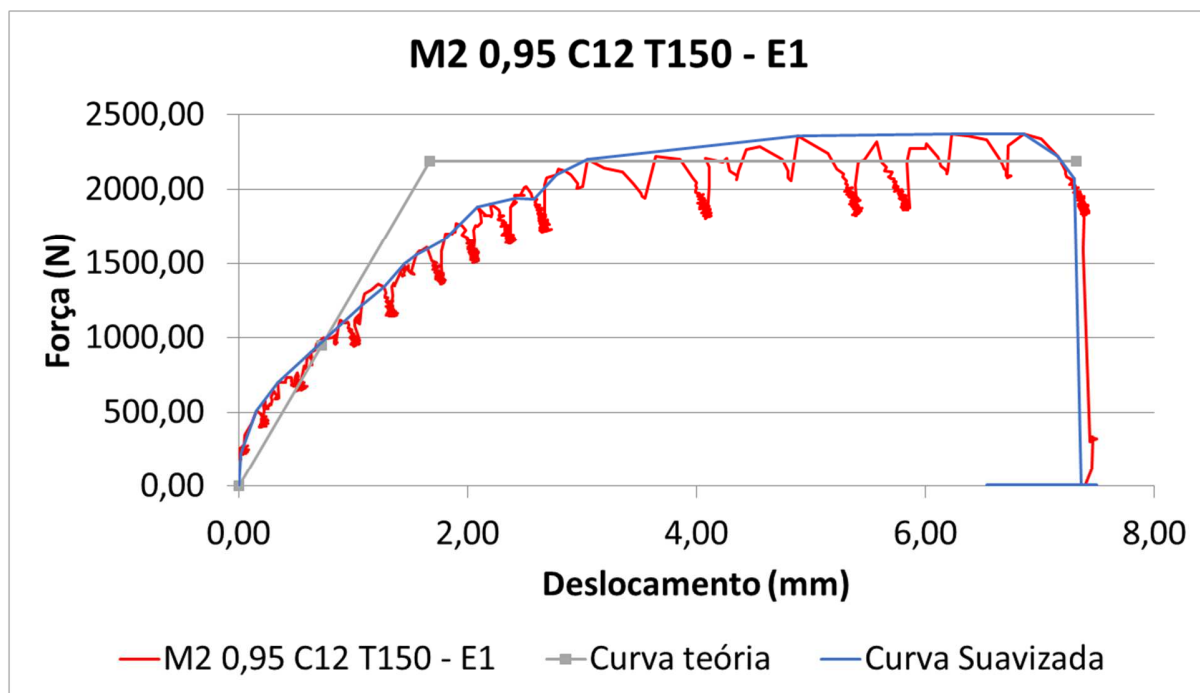


Figura 88 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

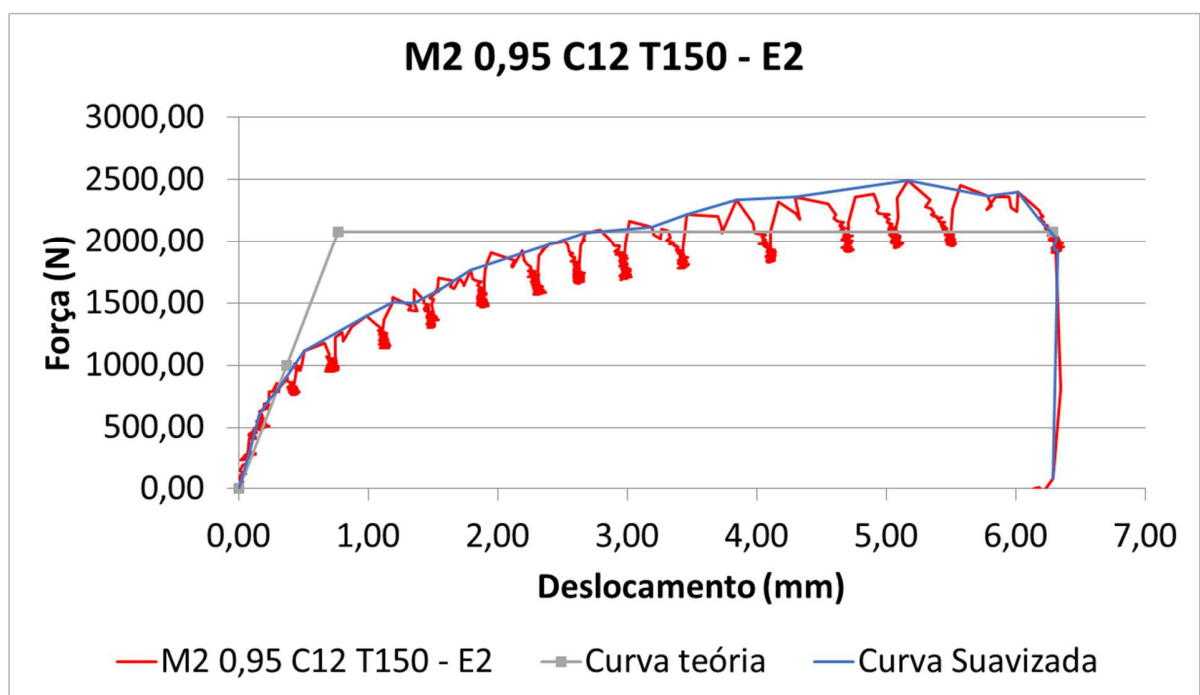


Figura 89 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

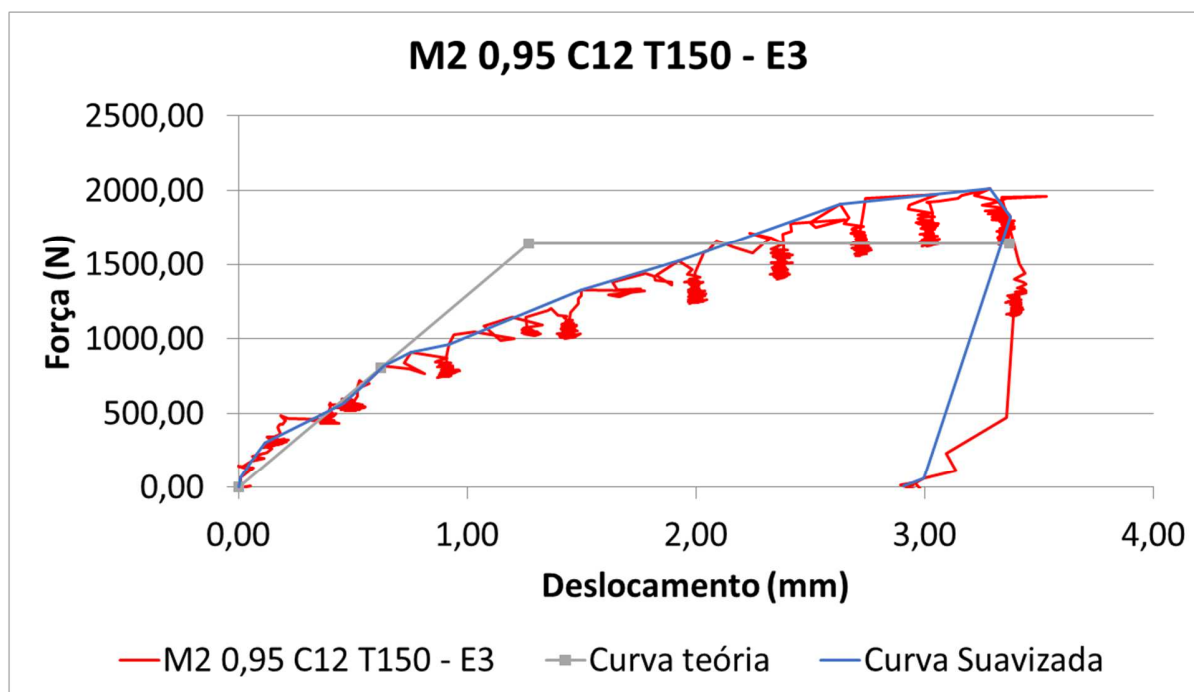


Figura 90 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 15 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,95 C12 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M2 0,95 C12 L150 - E1	2205,39	1090,30	13586,67	4,25
M2 0,95 C12 L150 - E2	2479,65	1920,19	15246,16	7,24
M2 0,95 C12 L150 - E3	2281,73	1527,73	16885,96	6,84
X_m	2322,26	1512,74	15239,60	6,11
C_v (%)	6,10%	27,44%	10,82%	26,54%
M2 0,95 C12 T150 - E1	2375,04	1313,19	14214,15	4,39
M2 0,95 C12 T150 - E2	2490,96	2707,24	12274,50	8,19
M2 0,95 C12 T150 - E3	2013,13	1291,61	4484,93	2,65
X_m	2293,04	1770,68	10324,53	5,08
C_v (%)	10,87%	45,81%	49,88%	55,80%

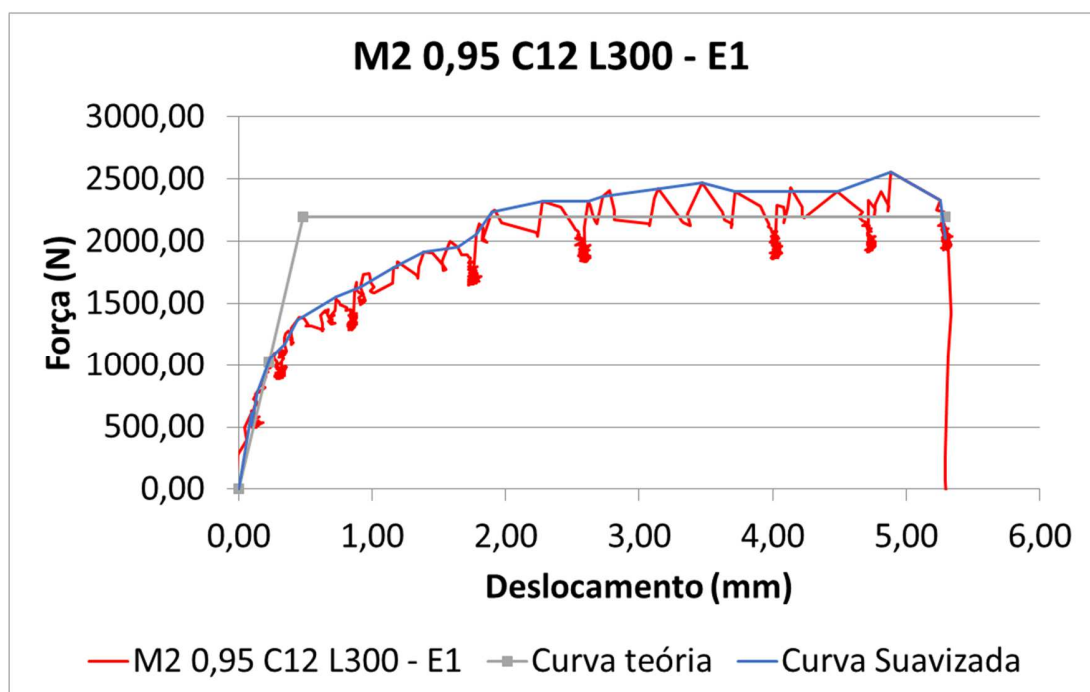


Figura 91 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

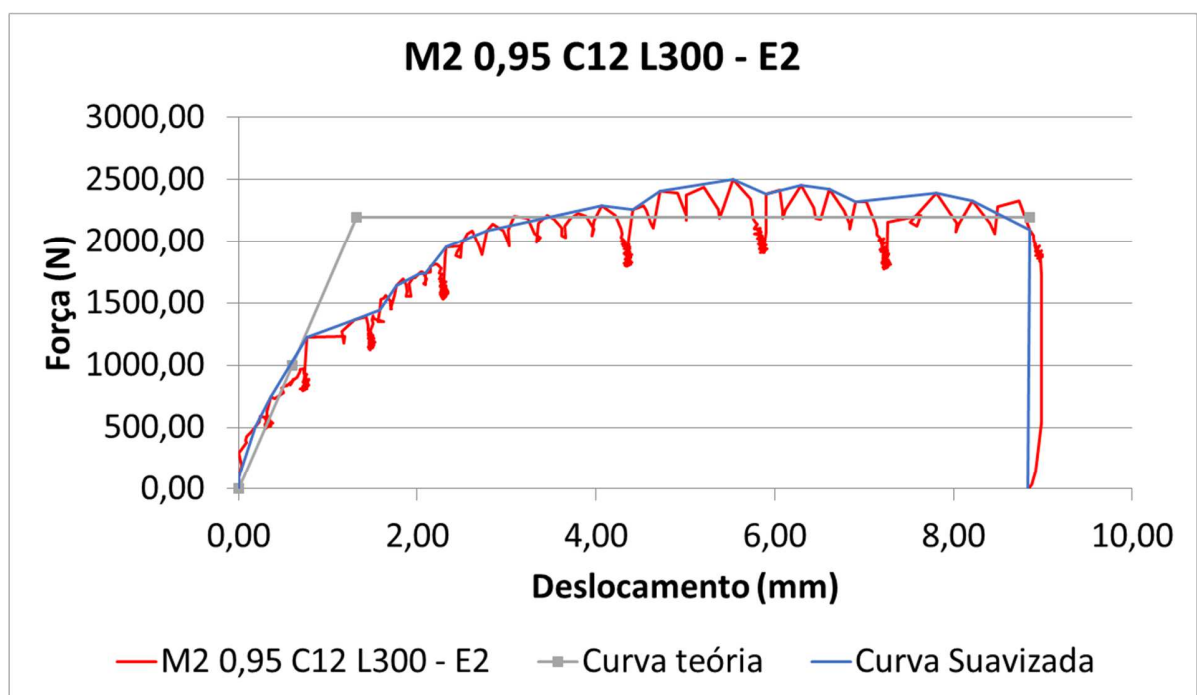


Figura 92 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

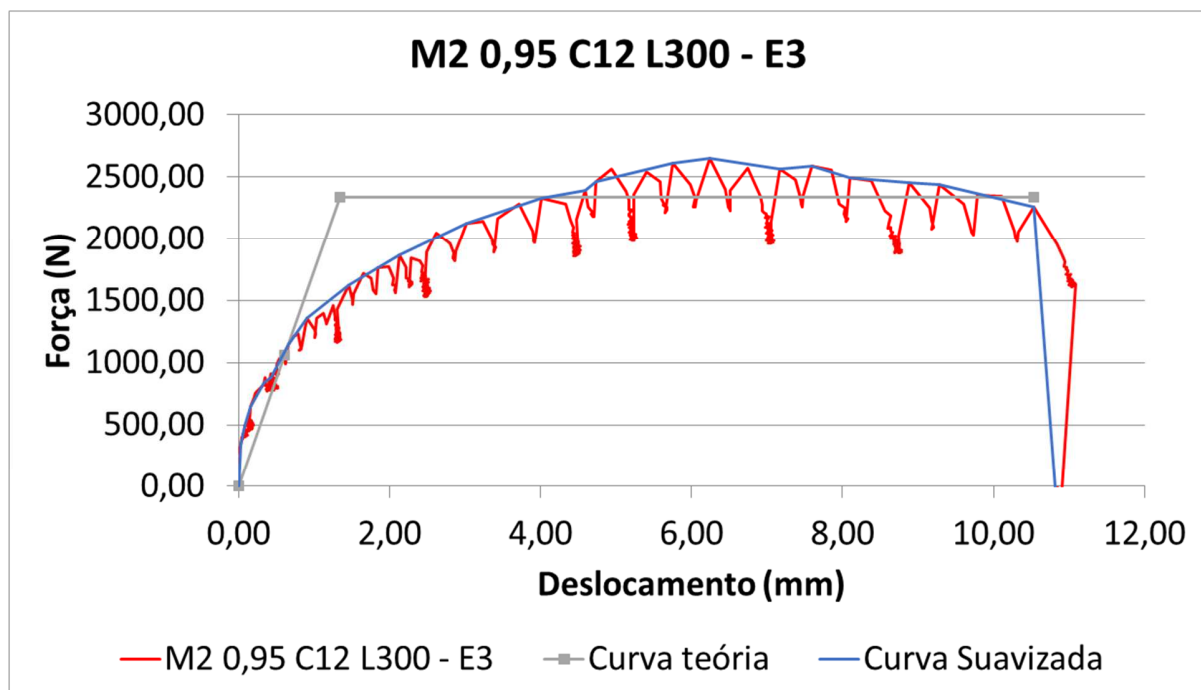


Figura 93 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

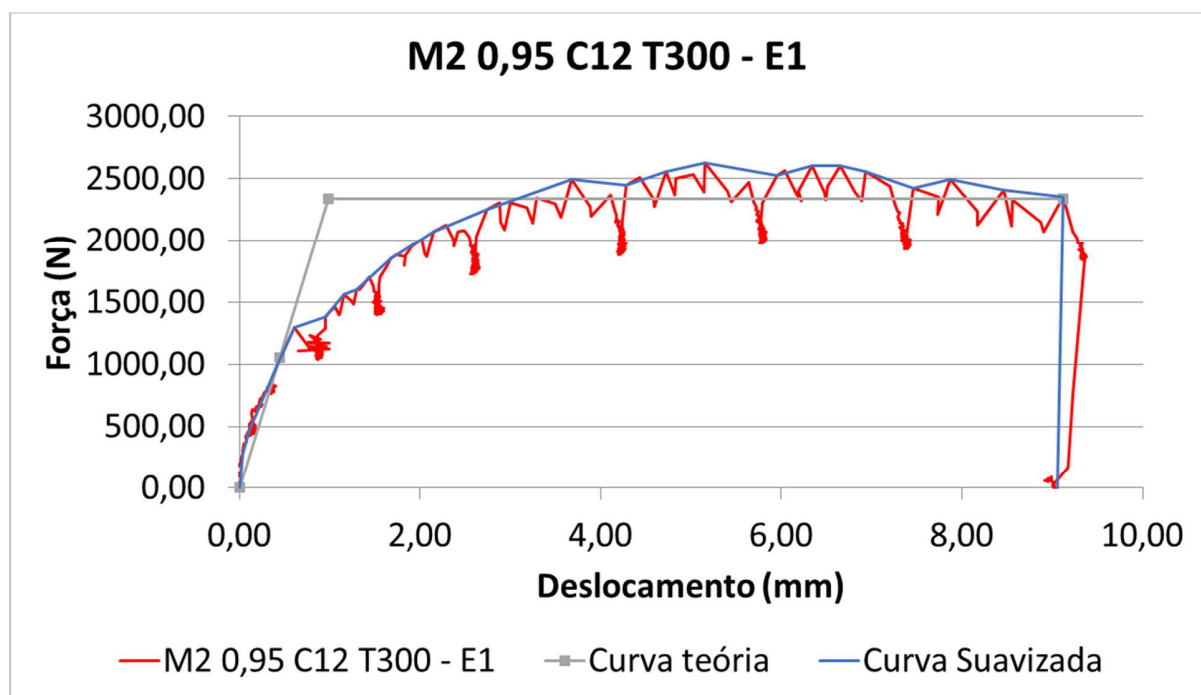


Figura 94 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

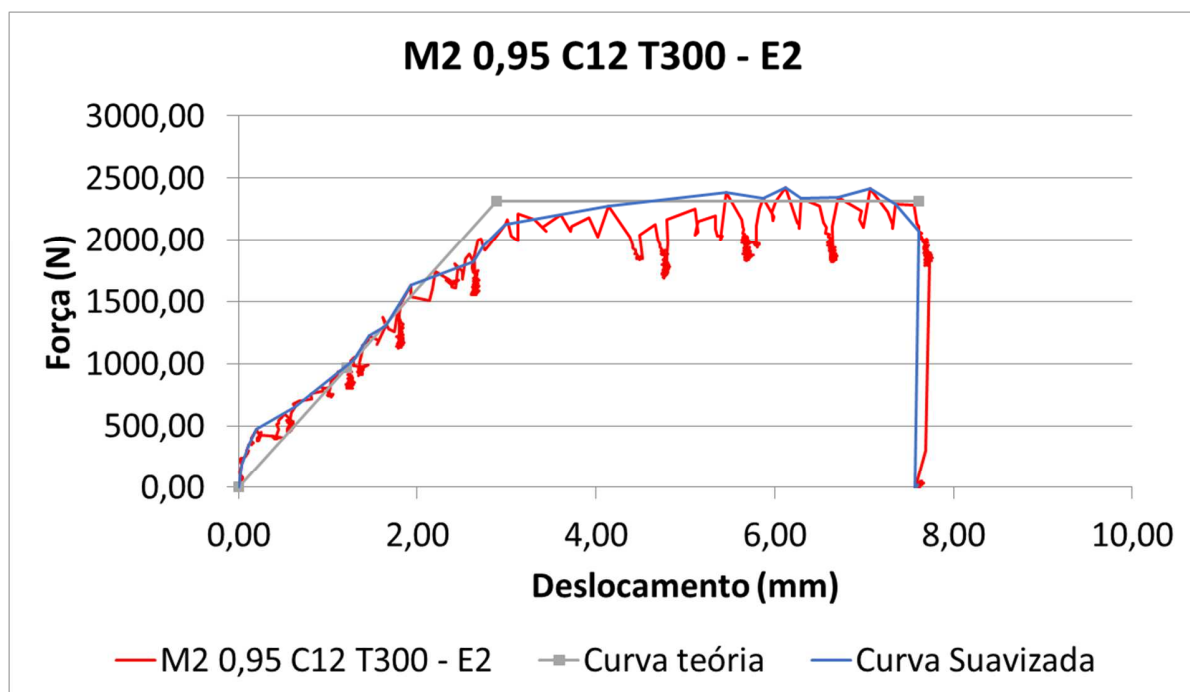


Figura 95 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

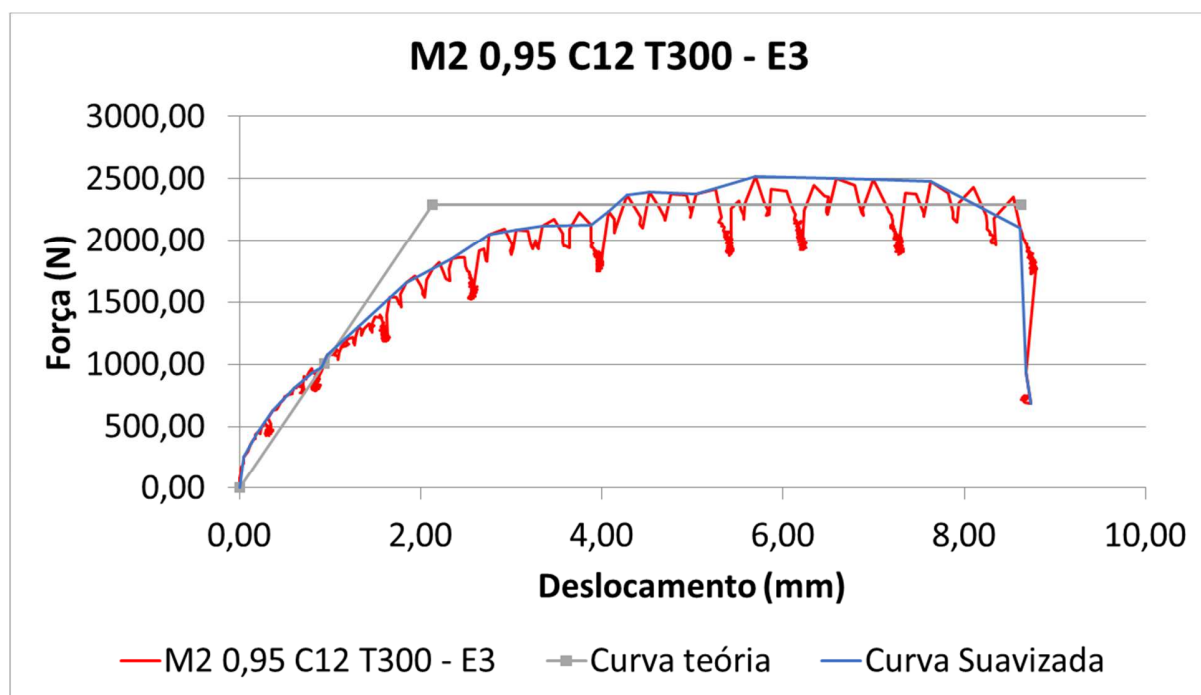


Figura 96 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M2 0,95 C12 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 16 - Tabela resumo dos espécimes “M2 0,95 C12 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso (P_{max. Paraf.}), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	P _{máx} Paraf. (N)	k _e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M2 0,80 C10 L300 - E1	2558,82	4555,38	11093,38	10,97
M2 0,80 C10 L300 - E2	2502,27	1668,18	17965,31	6,73
M2 0,80 C10 L300 - E3	2648,36	1746,31	23048,15	7,87
X_m	2569,82	2656,62	17368,95	8,52
C_v (%)	2,87%	61,91%	34,54%	25,75%
M2 0,80 C10 T300 - E1	2624,79	2367,21	20181,17	9,23
M2 0,80 C10 T300 - E2	2422,16	800,78	14271,97	2,63
M2 0,80 C10 T300 - E3	2516,41	1073,94	17316,12	4,05
X_m	2521,12	1413,98	17256,42	5,30
C_v (%)	4,02%	59,18%	17,12%	65,47%

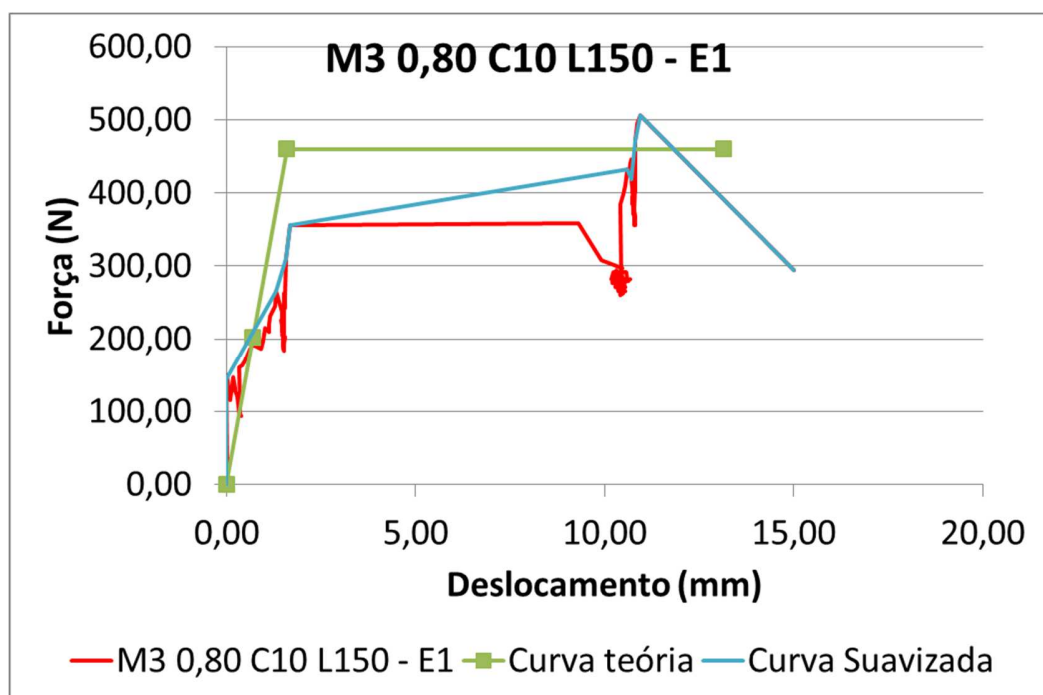


Figura 97 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

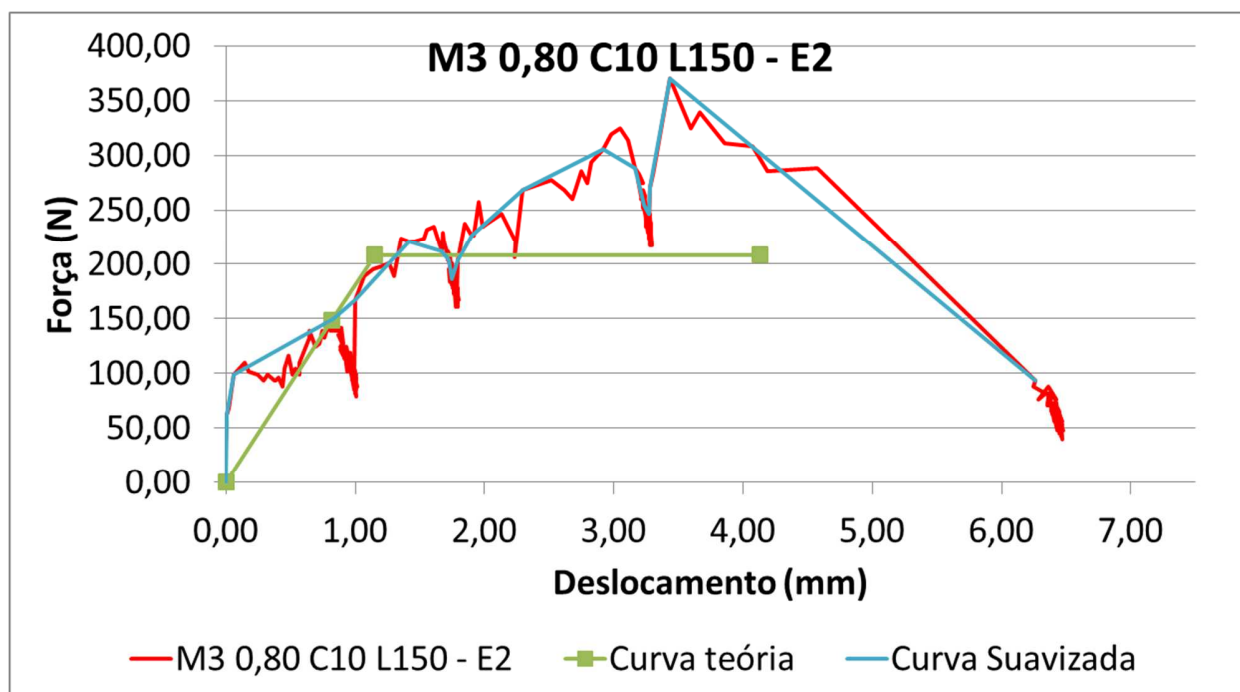


Figura 98 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

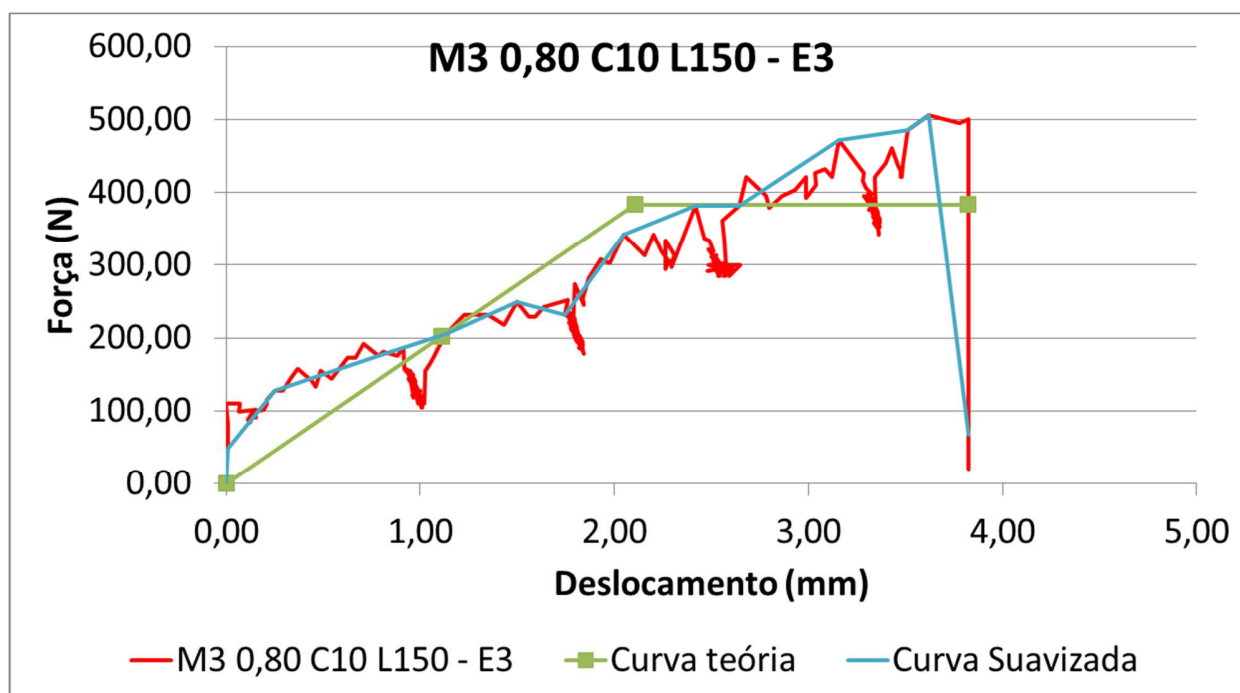


Figura 99 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

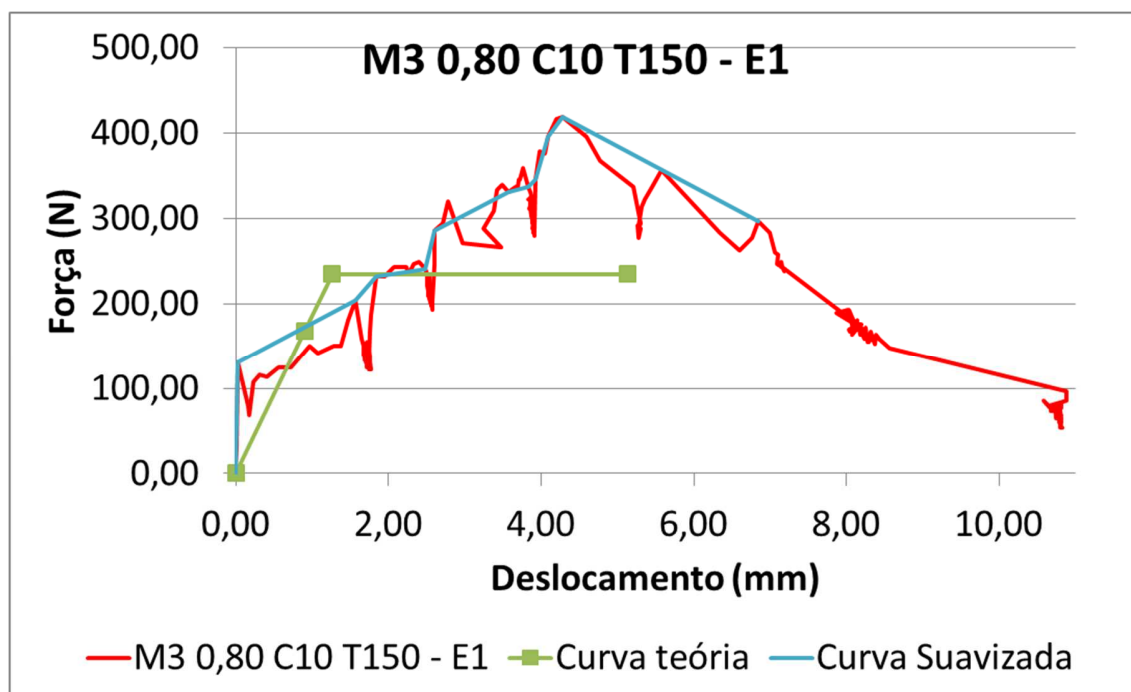


Figura 100 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

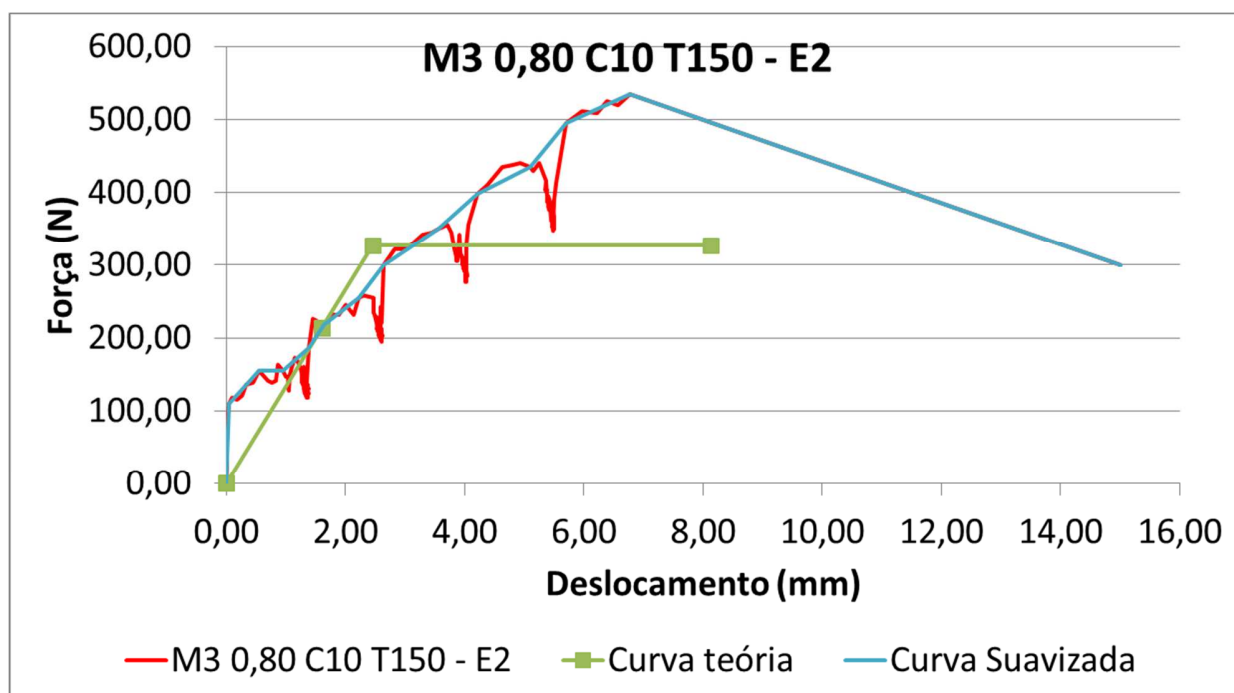


Figura 101 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

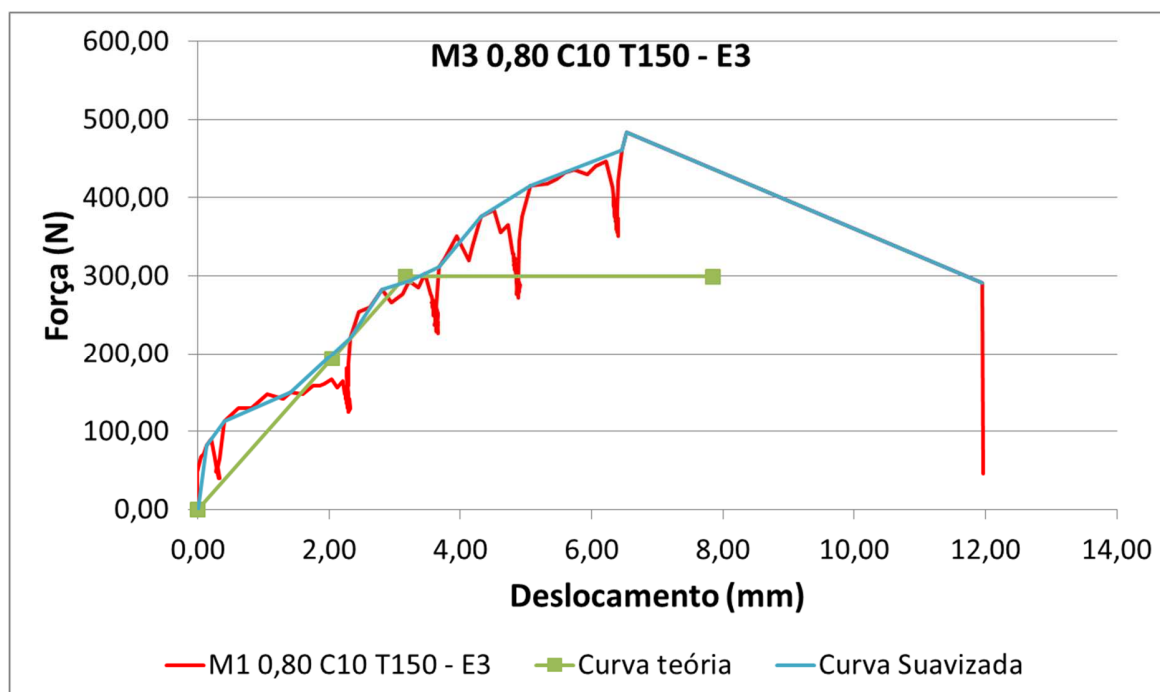


Figura 102 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

Tabela 17 - Tabela resumo dos espécimes “M3 0,80 C10 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M3 0,80 C10 L150 - E1	506,11	289,21	5677,18	8,26
M3 0,80 C10 L150 - E2	370,39	181,26	740,95	3,59
M3 0,80 C10 L150 - E3	506,11	182,11	1060,98	1,81
X_m	460,87	217,52	2493,04	4,56
$C_v \text{ (%)}$	17,00%	28,54%	110,80%	73,10%
M3 0,80 C10 T150 - E1	418,46	185,98	1057,60	4,08
M3 0,80 C10 T150 - E2	534,38	132,95	2259,92	3,31
M3 0,80 C10 T150 - E3	483,49	94,74	1877,14	2,48
X_m	478,78	137,89	1731,55	3,29
$C_v \text{ (%)}$	12,14%	33,23%	35,47%	24,20%

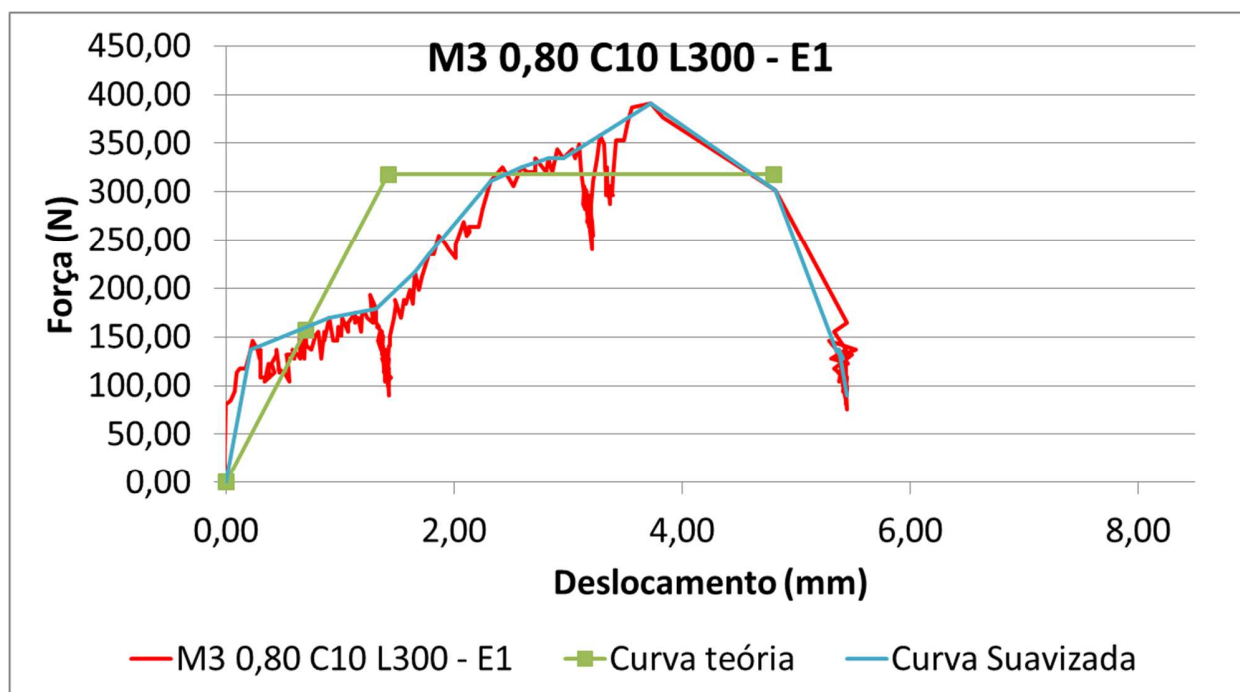


Figura 103 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

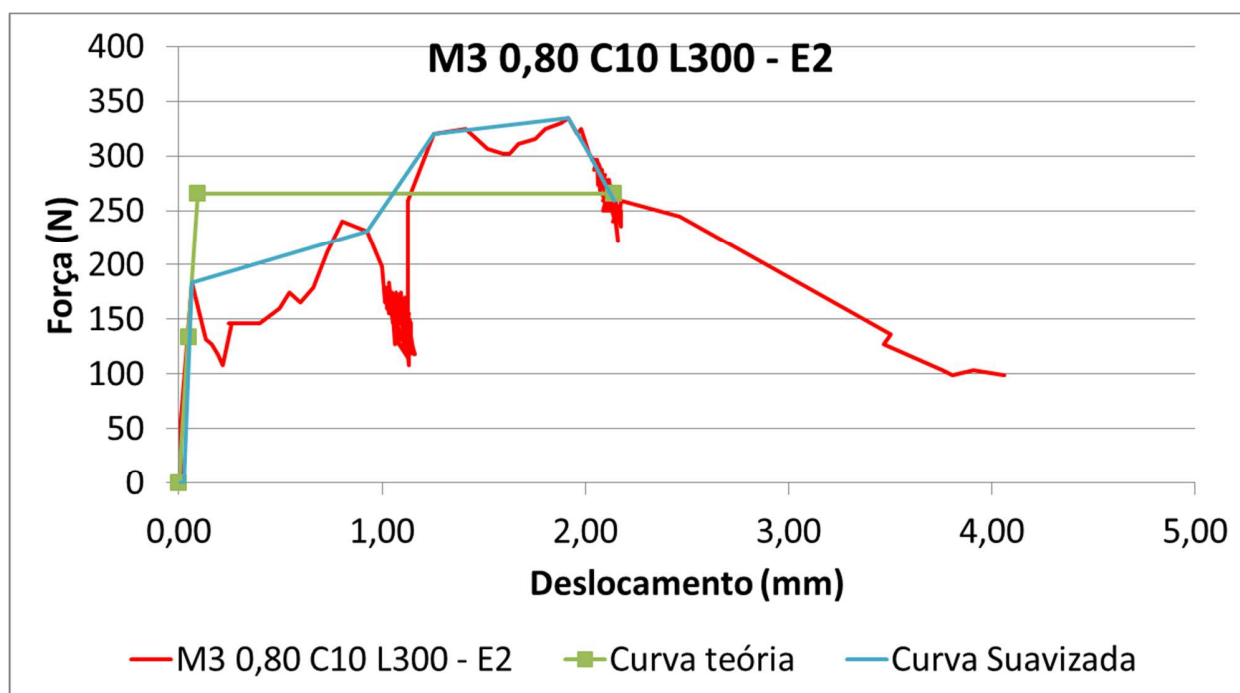


Figura 104 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

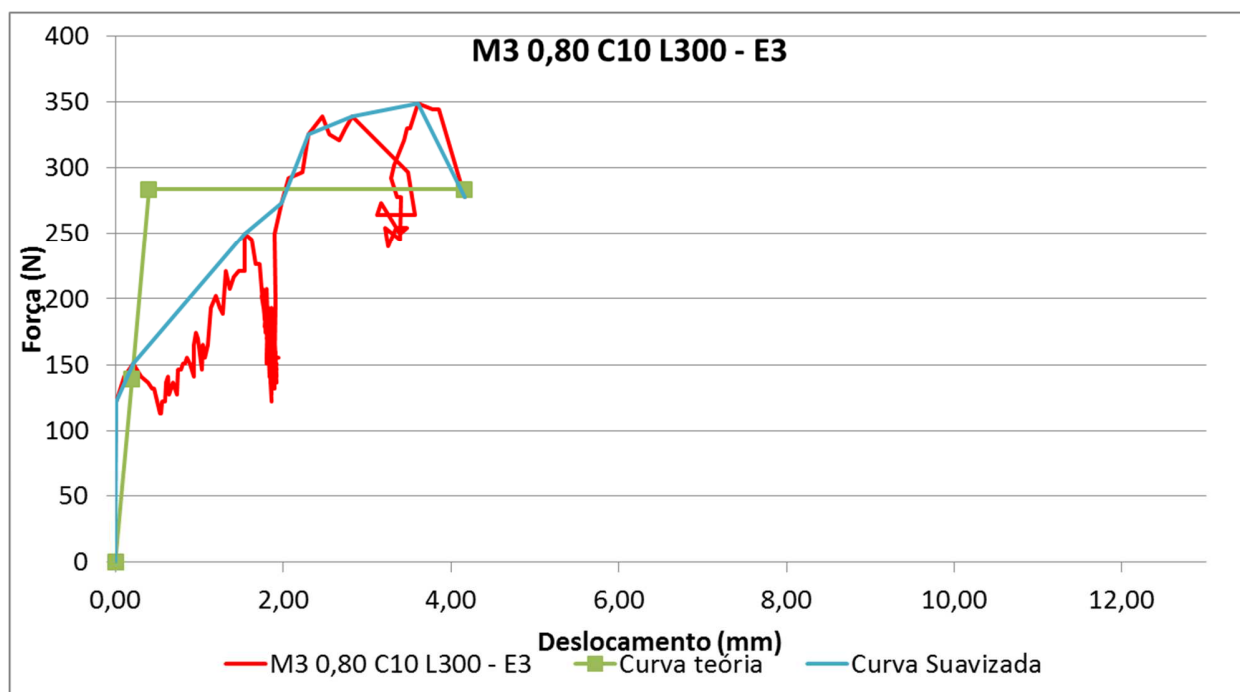


Figura 105 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

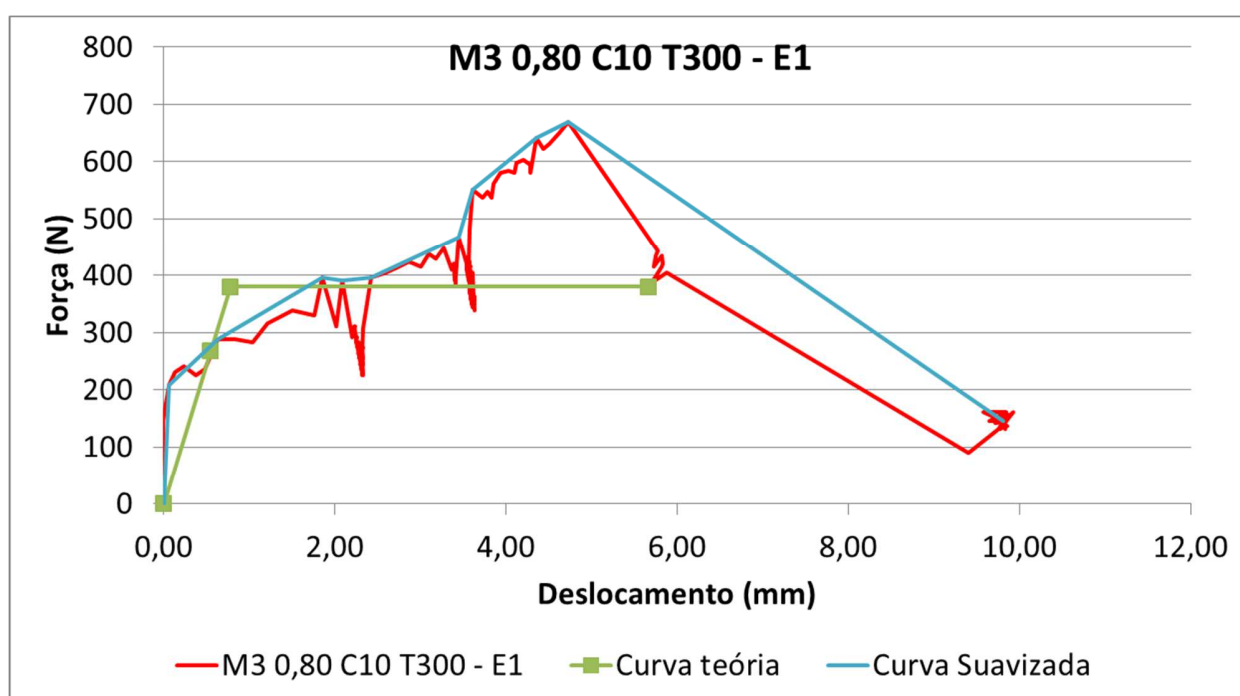


Figura 106 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

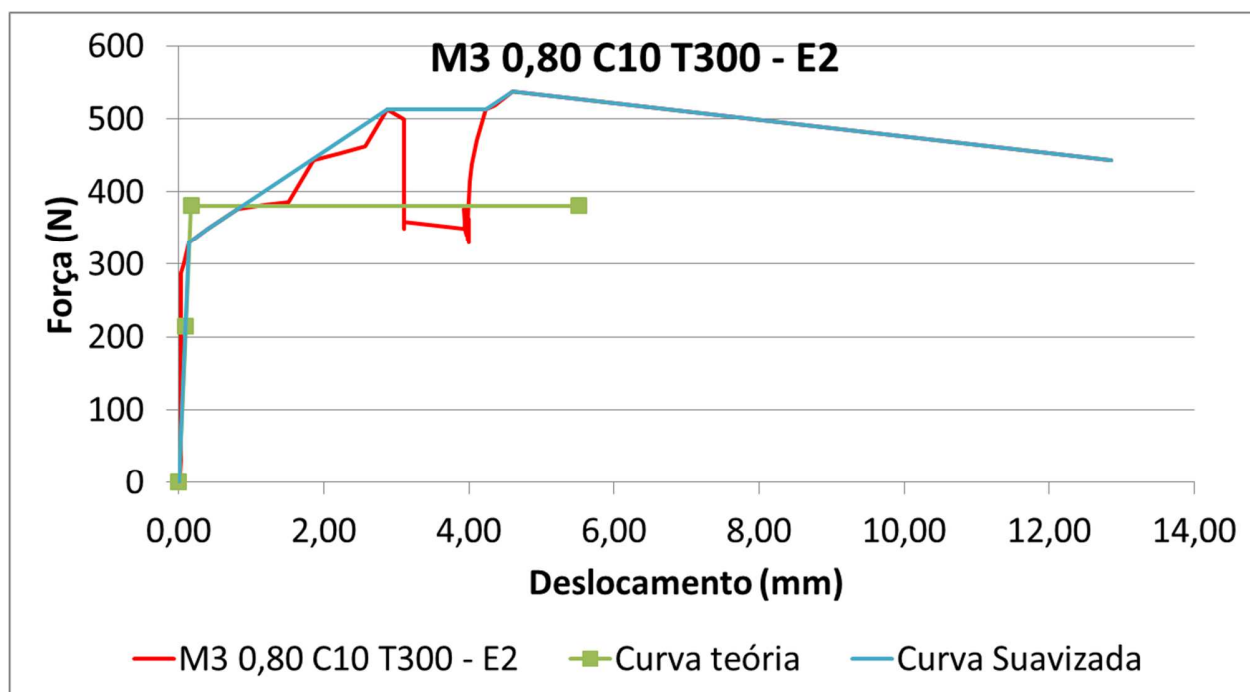


Figura 107 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

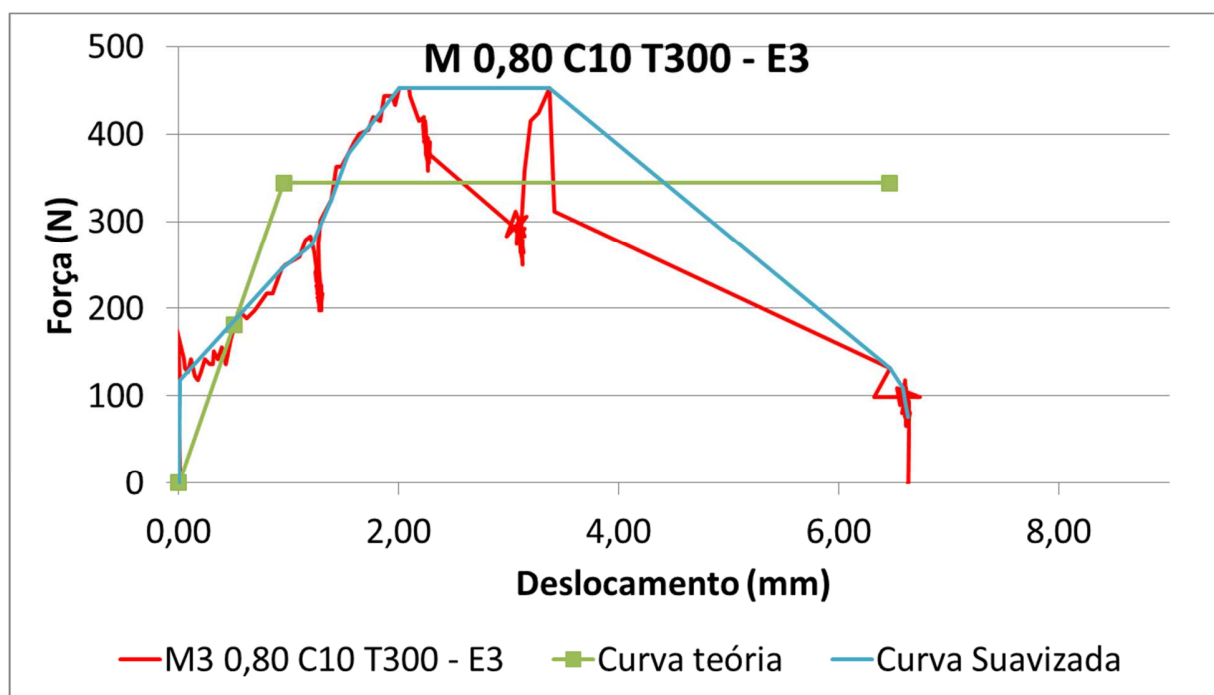


Figura 108 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C10 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 18 - Tabela resumo dos espécimes “M3 0,80 C10 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx. Paraf.}}$ (N)	k_e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M3 0,80 C10 L300 - E1	391,13	223,50	1300,27	3,37
M3 0,80 C10 L300 - E2	334,58	2847,36	556,27	22,93
M3 0,80 C10 L300 - E3	348,72	717,42	1123,40	10,53
X_m	358,14	1262,76	993,31	12,28
C_v (%)	8,22%	110,42%	39,13%	80,60%
M3 0,80 C10 T300 - E1	669,16	486,66	2003,41	7,27
M3 0,80 C10 T300 - E2	537,21	2290,70	2070,92	33,20
M3 0,80 C10 T300 - E3	452,39	361,91	2060,89	6,79
X_m	552,92	1046,42	2045,07	15,75
C_v (%)	19,76%	103,15%	1,78%	95,91%

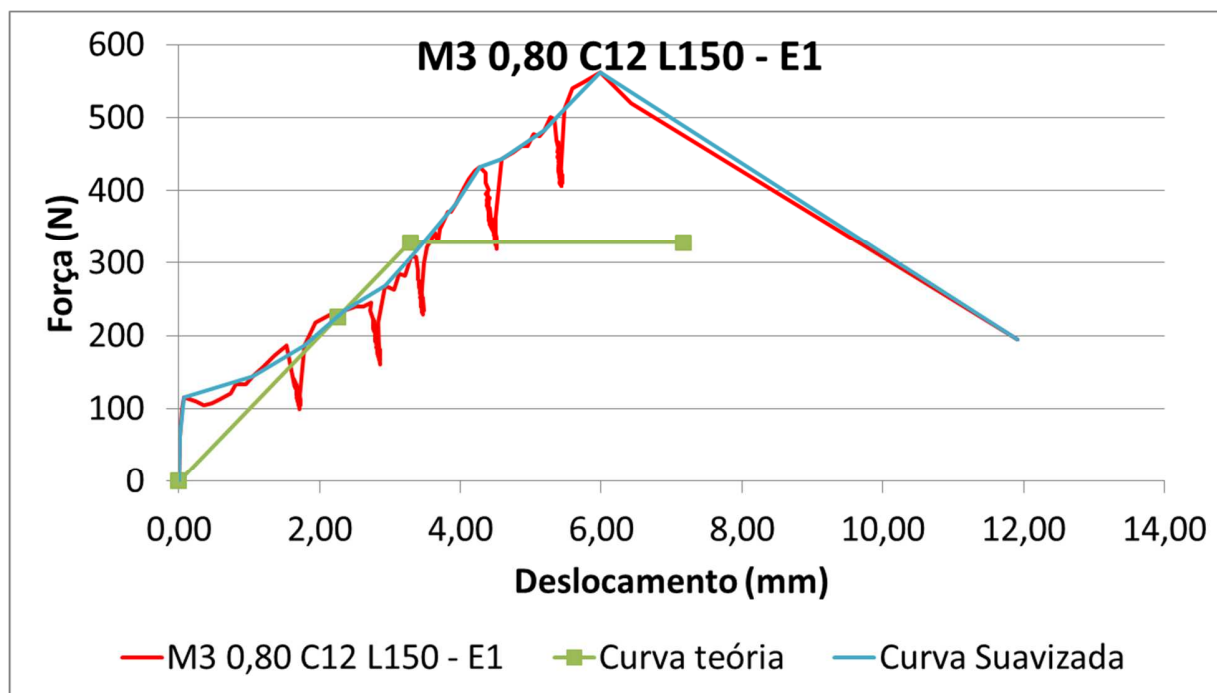


Figura 109 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

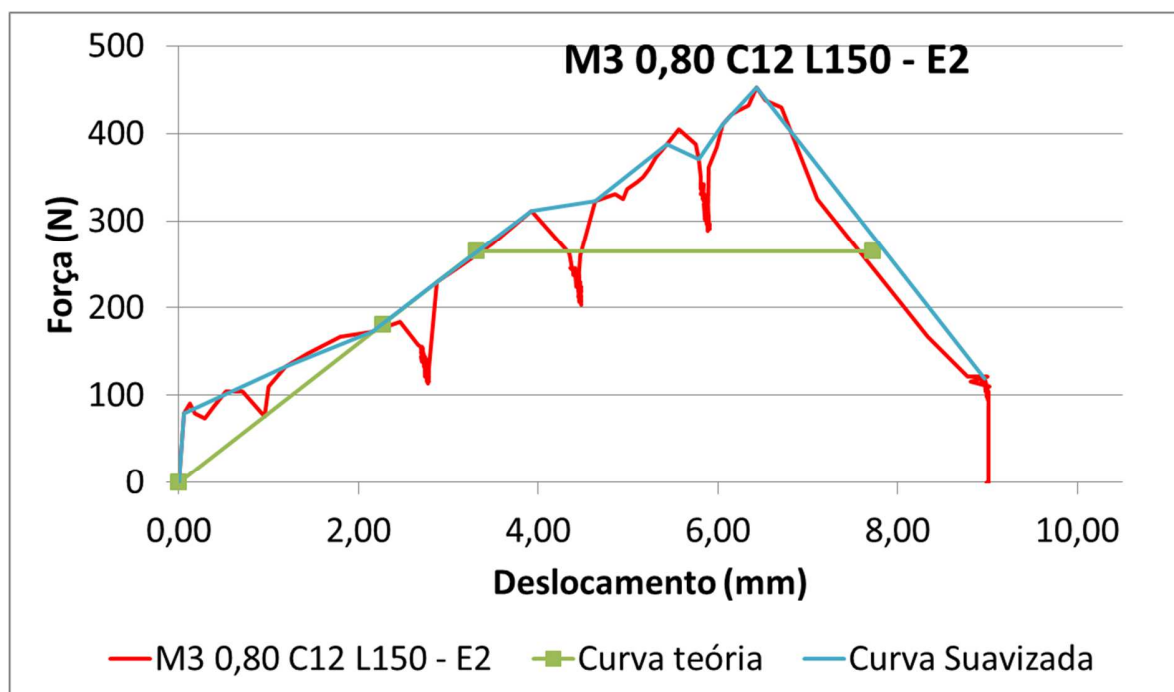


Figura 110 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

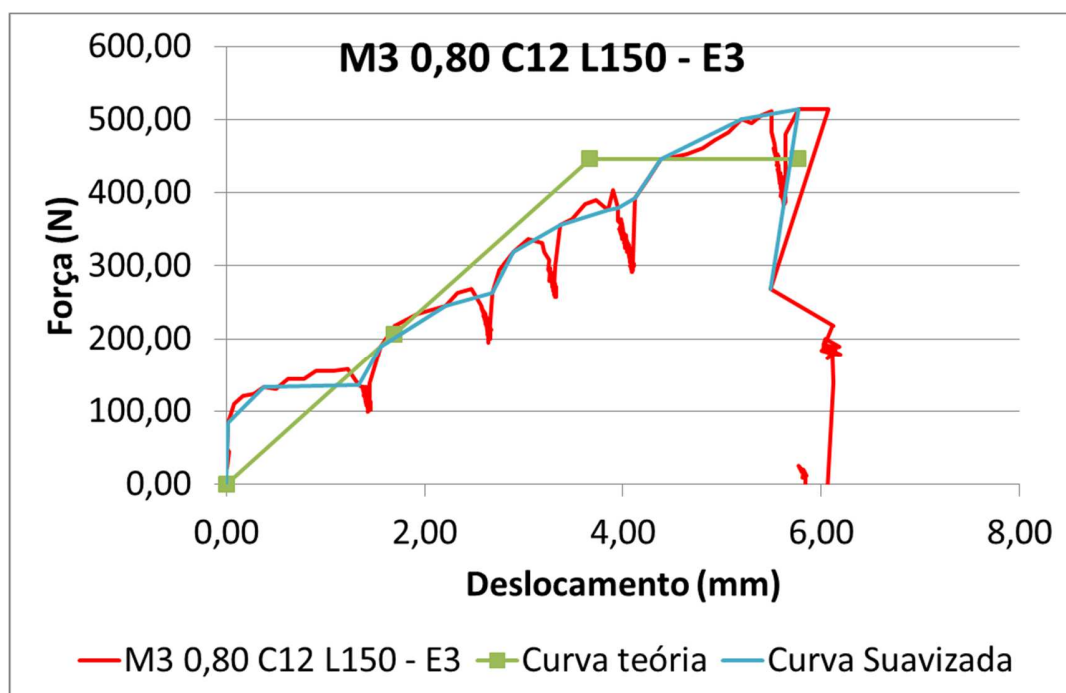


Figura 111 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

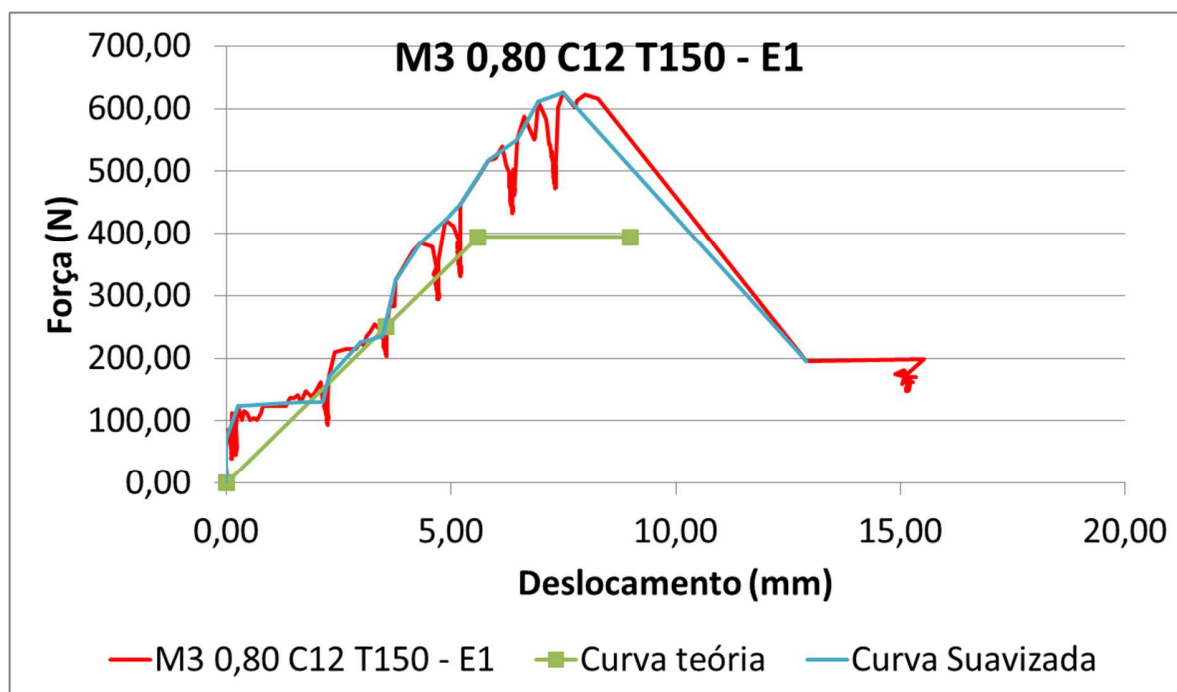


Figura 112 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

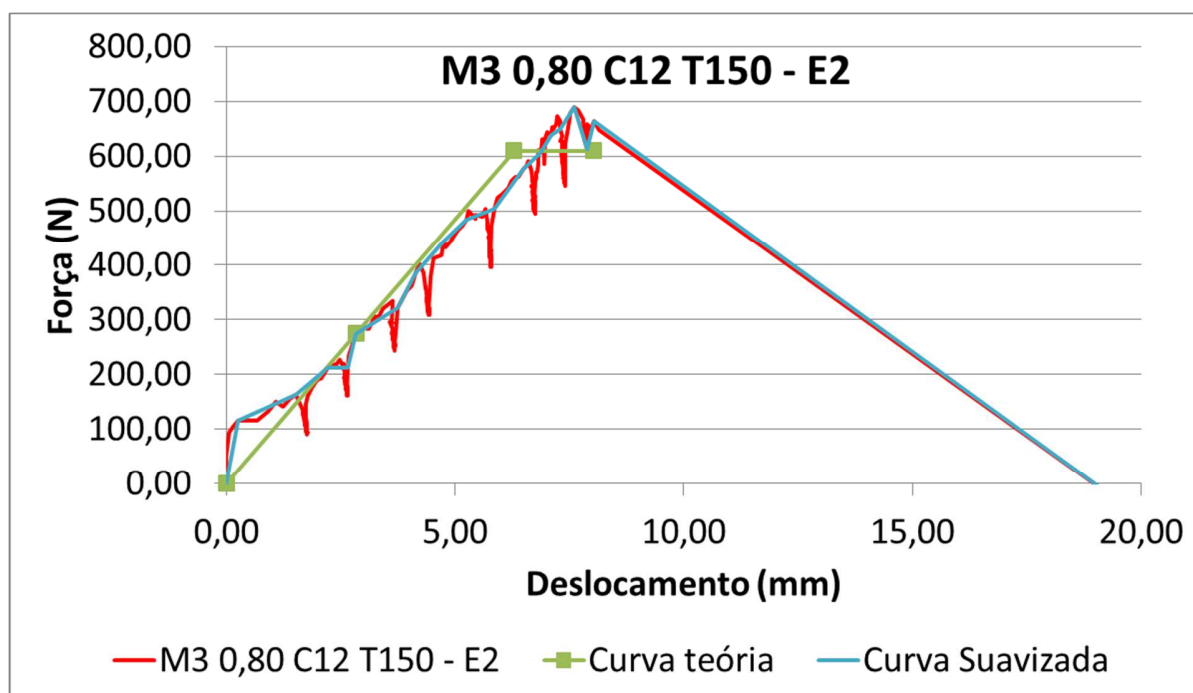


Figura 113 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

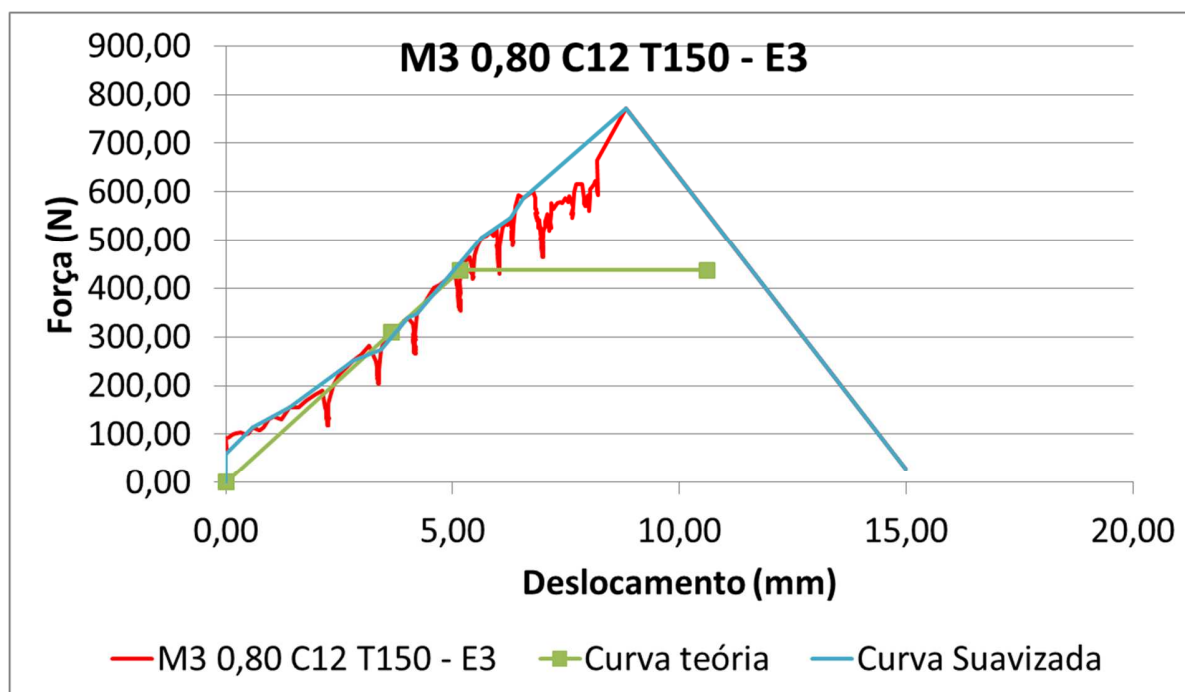


Figura 114 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 19 - Tabela resumo dos espécimes “M3 0,80 C12 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M3 0,80 C12 L150 - E1	562,66	99,92	1815,07	2,18
M3 0,80 C12 L150 - E2	452,39	79,97	1606,19	2,33
M3 0,80 C12 L150 - E3	514,59	121,77	1757,49	1,57
X_m	509,88	100,55	1726,25	2,03
$C_v \text{ (%)}$	10,84%	20,79%	6,25%	19,76%
M3 0,80 C12 T150 - E1	624,86	70,41	2445,26	1,61
M3 0,80 C12 T150 - E2	689,89	96,92	2978,26	1,28
M3 0,80 C12 T150 - E3	771,89	84,61	3504,60	2,05
X_m	695,55	83,98	2976,04	1,64
$C_v \text{ (%)}$	10,59%	15,80%	17,80%	23,65%

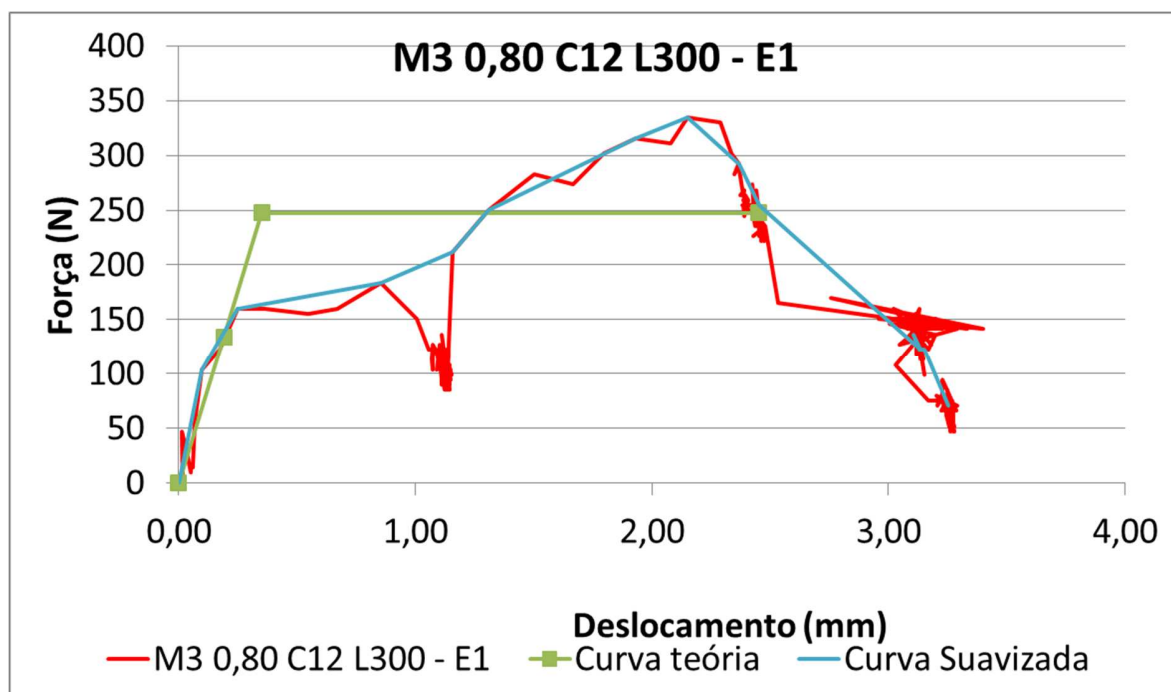


Figura 115 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

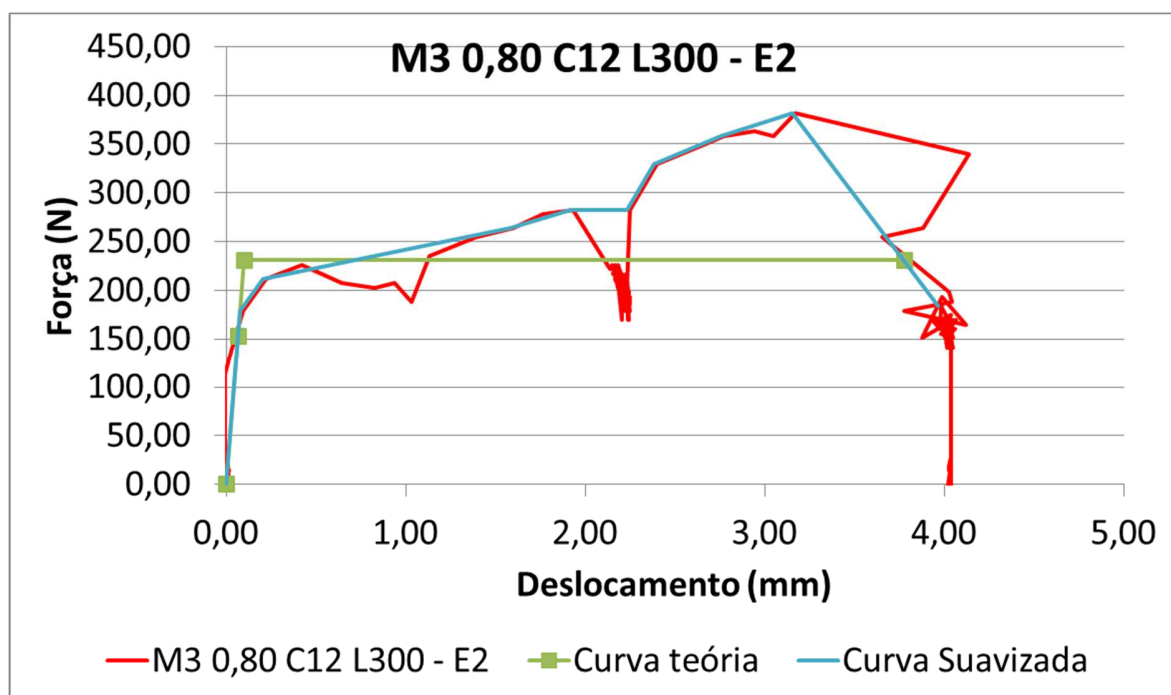


Figura 116 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

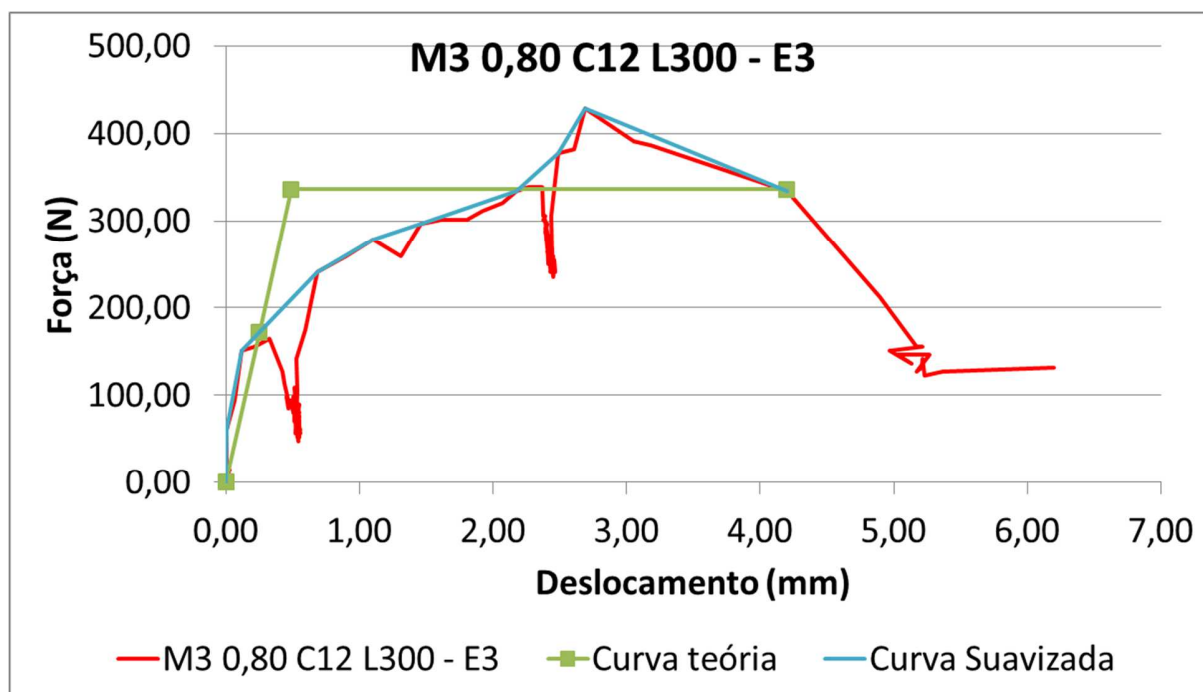


Figura 117 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

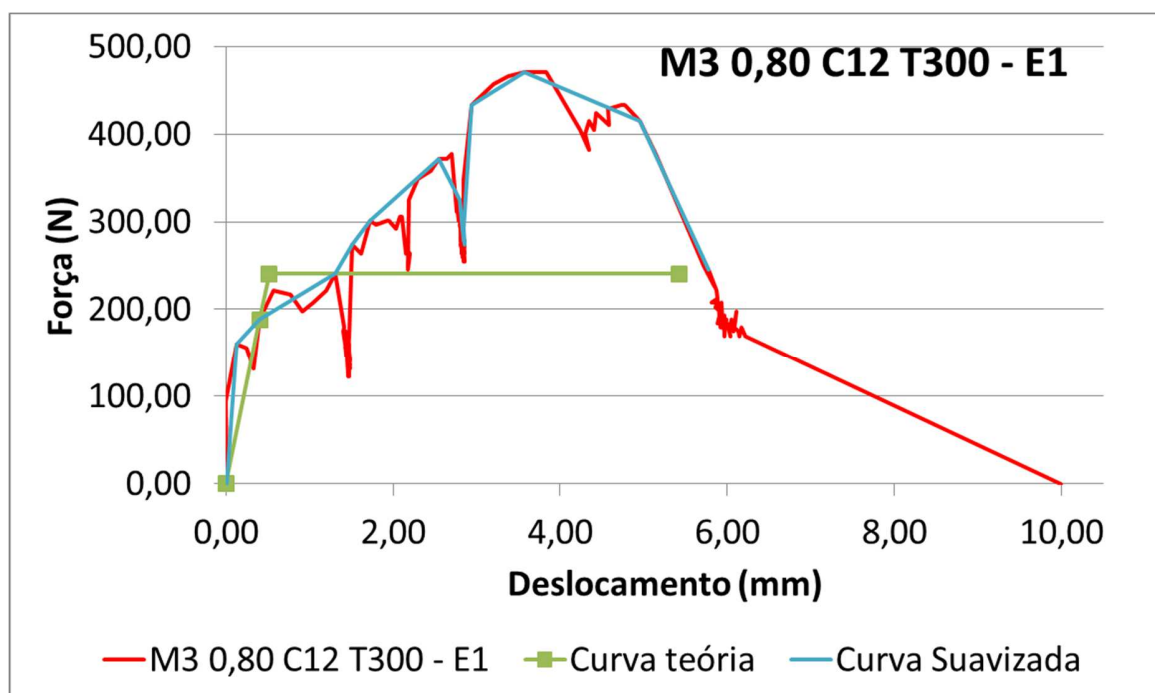


Figura 118 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

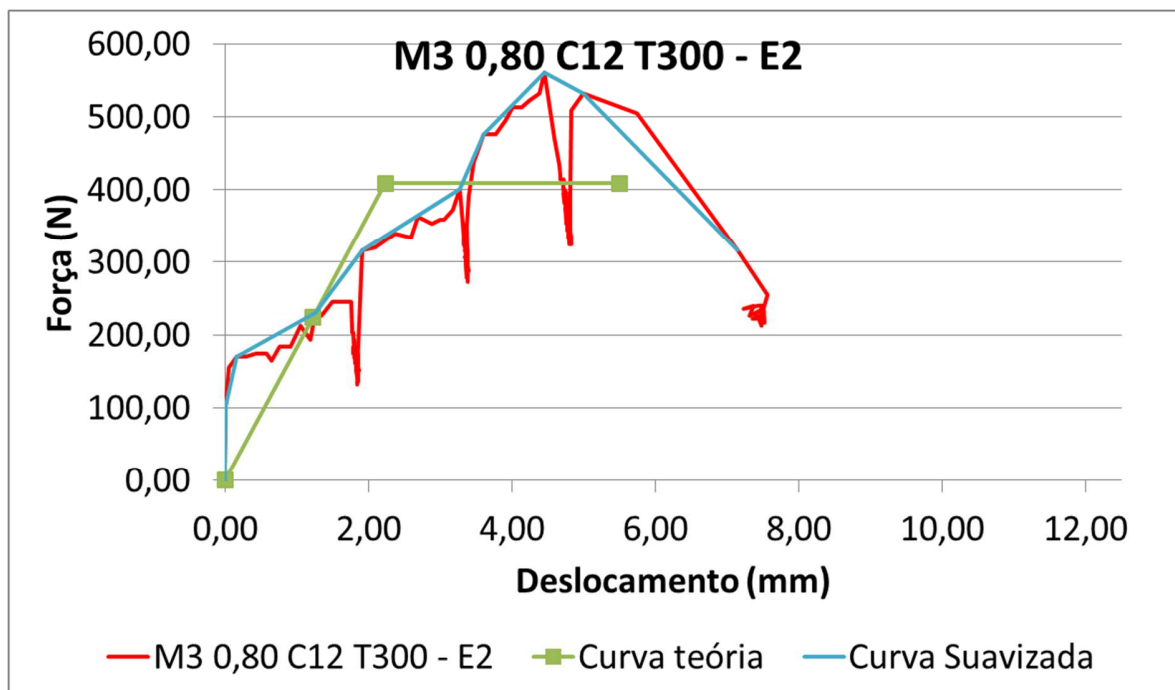


Figura 119 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

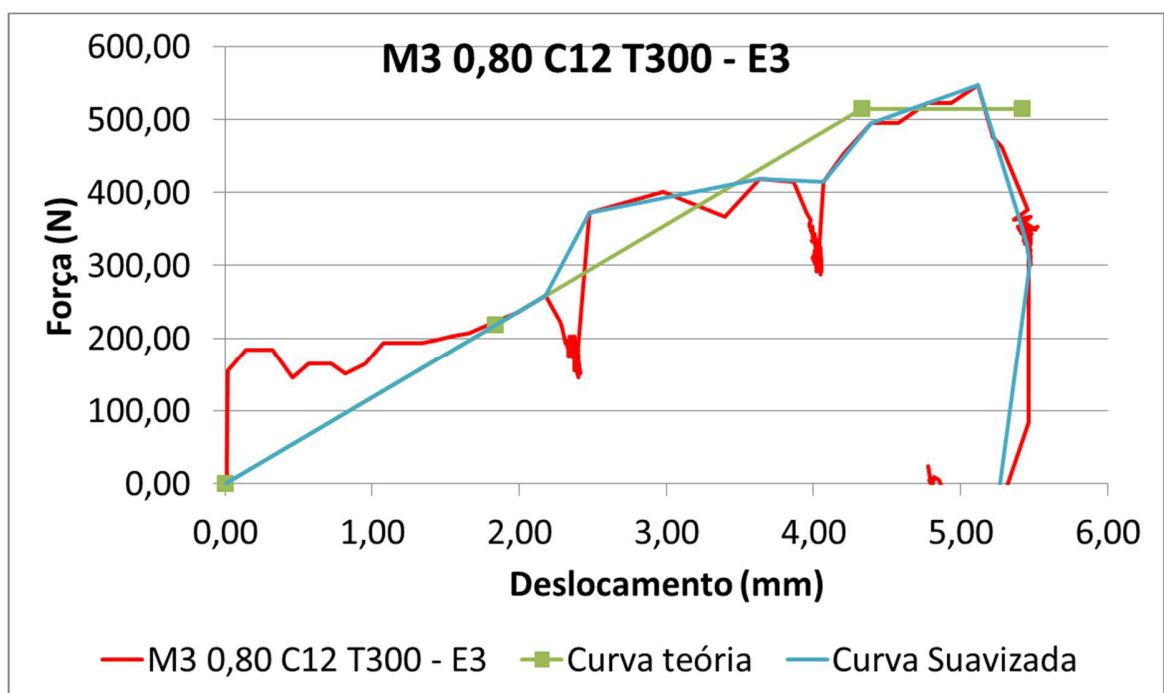


Figura 120 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,80 C12 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

Tabela 20- Tabela resumo dos espécimes “M3 0,80 C12 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso (P_{max. Paraf.}), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	P _{máx} Paraf.(N)	k _e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M1 0,80 C12 L300 - E1	334,58	704,38	562,71	6,98
M1 0,80 C12 L300 - E2	381,70	2292,25	861,40	37,52
M1 0,80 C12 L300 - E3	428,83	686,12	1329,13	8,58
X_m	381,70	1227,58	917,74	17,69
C_v (%)	12,35%	75,11%	42,09%	97,18%
M1 0,80 C12 T300 - E1	471,24	463,18	1240,49	10,44
M1 0,80 C12 T300 - E2	560,77	182,98	1792,32	2,46
M1 0,80 C12 T300 - E3	546,64	118,91	1675,44	1,25
X_m	526,22	255,03	1569,42	4,72
C_v (%)	9,15%	71,79%	18,53%	105,83%

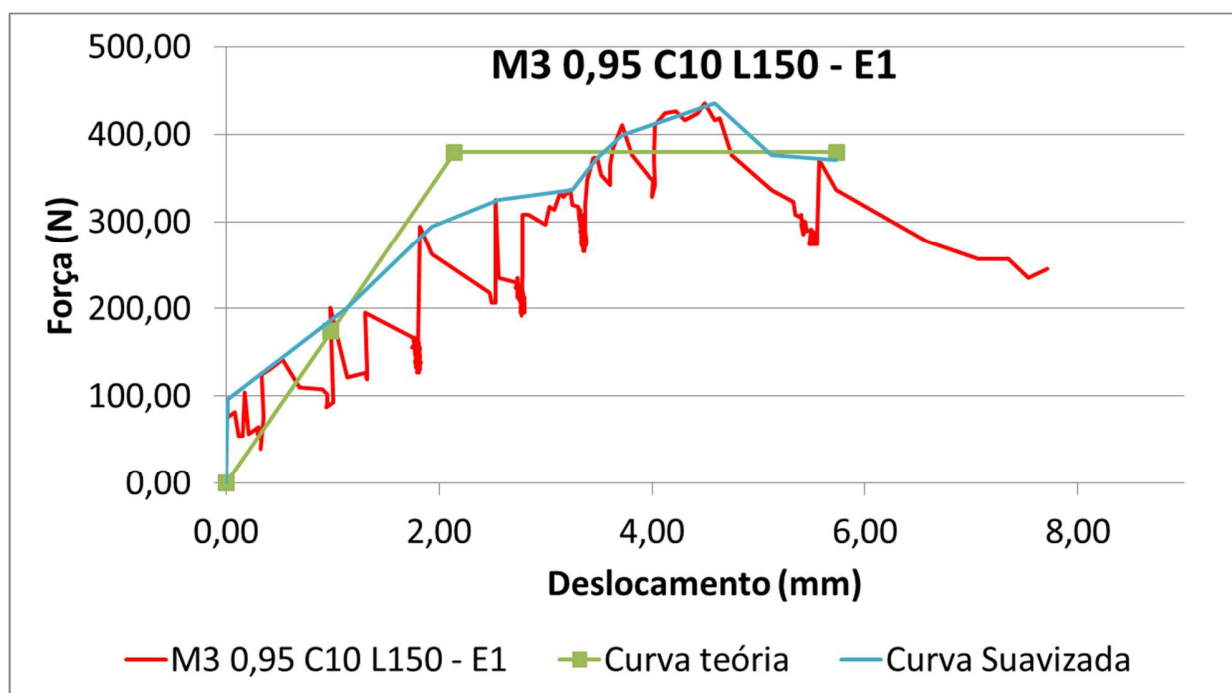


Figura 121 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

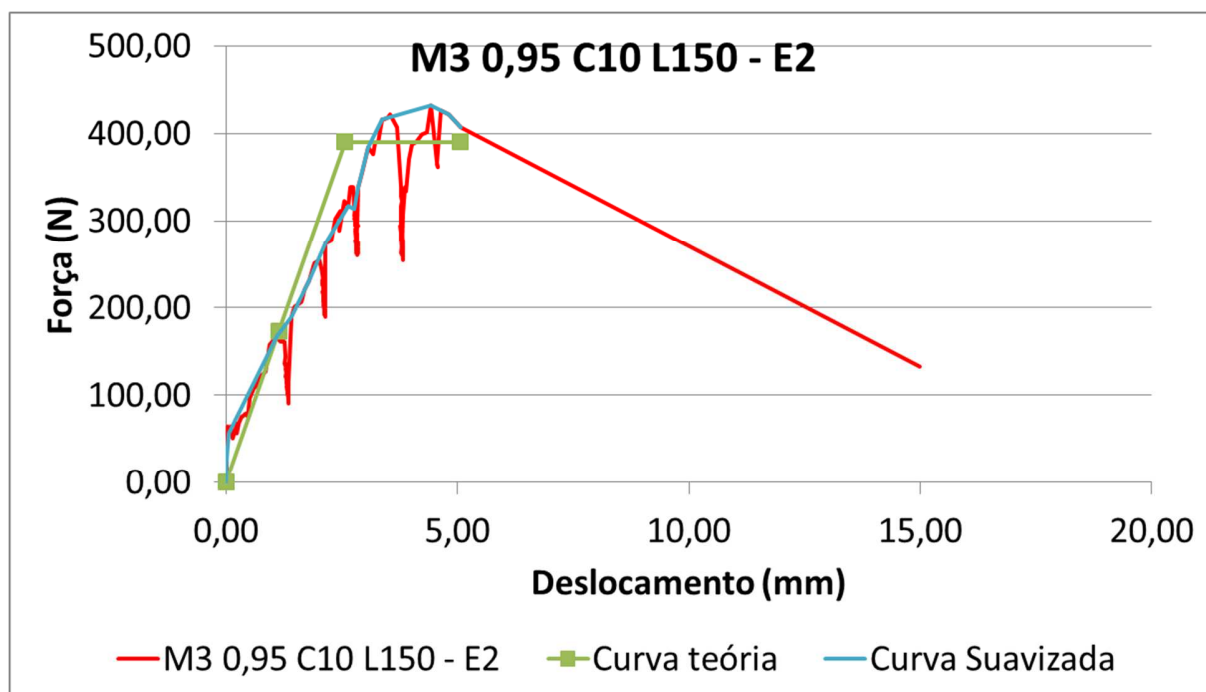


Figura 122 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

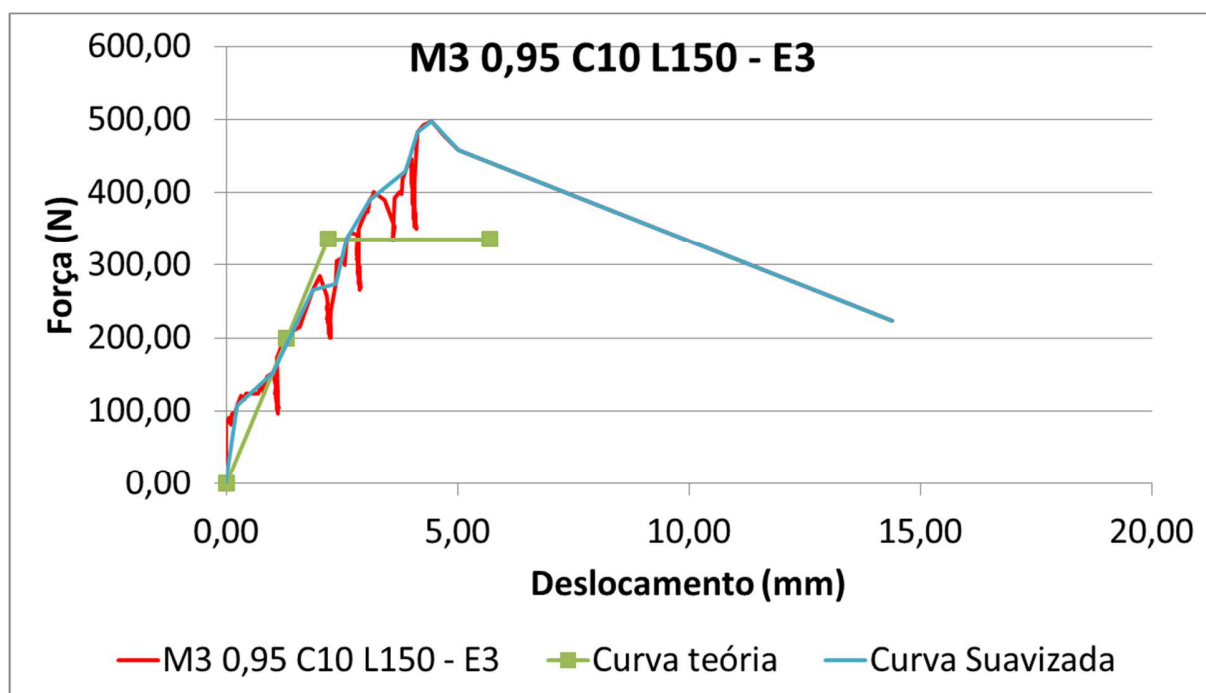


Figura 123 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

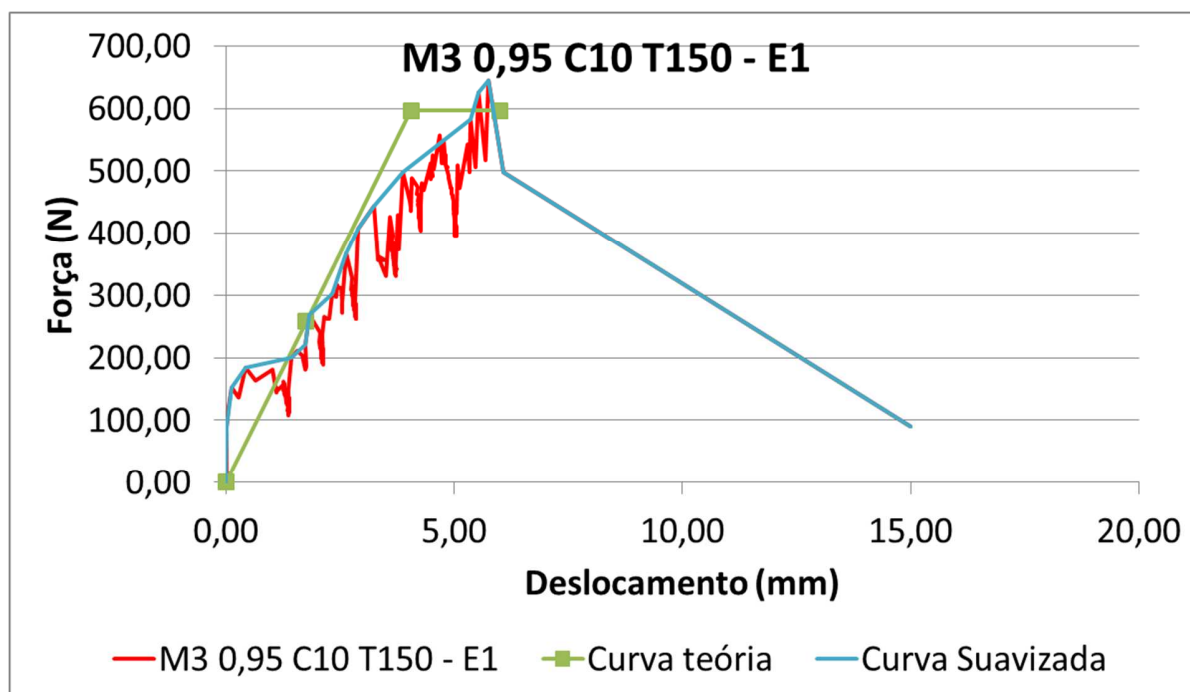


Figura 124 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

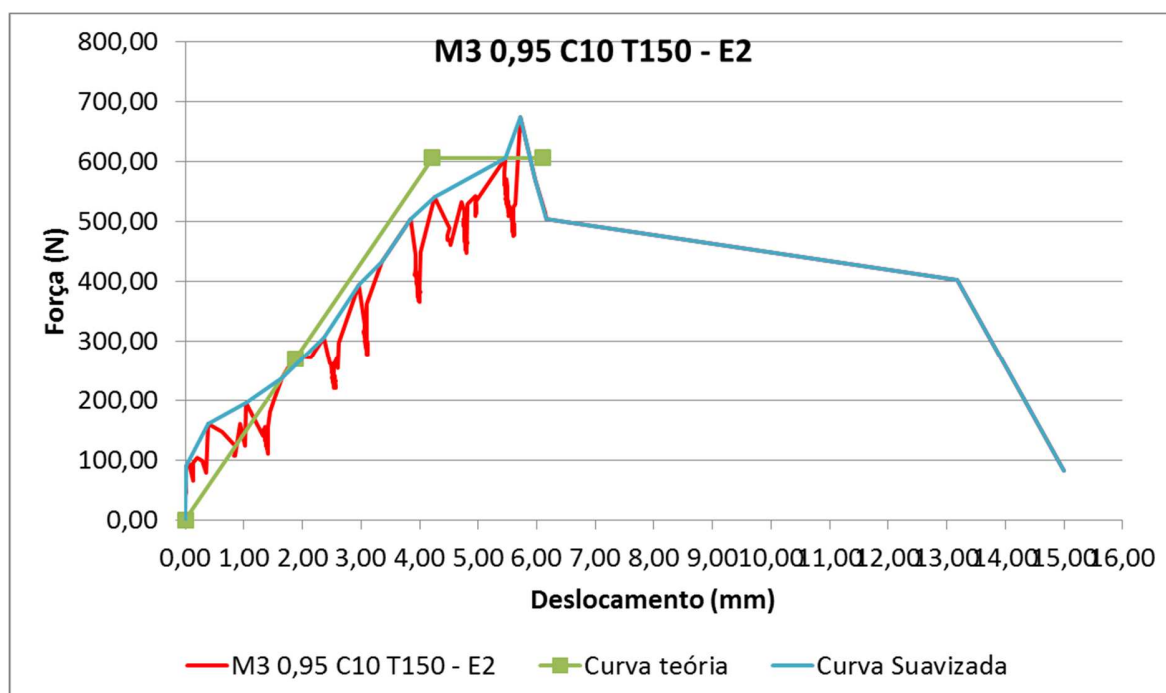


Figura 125 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

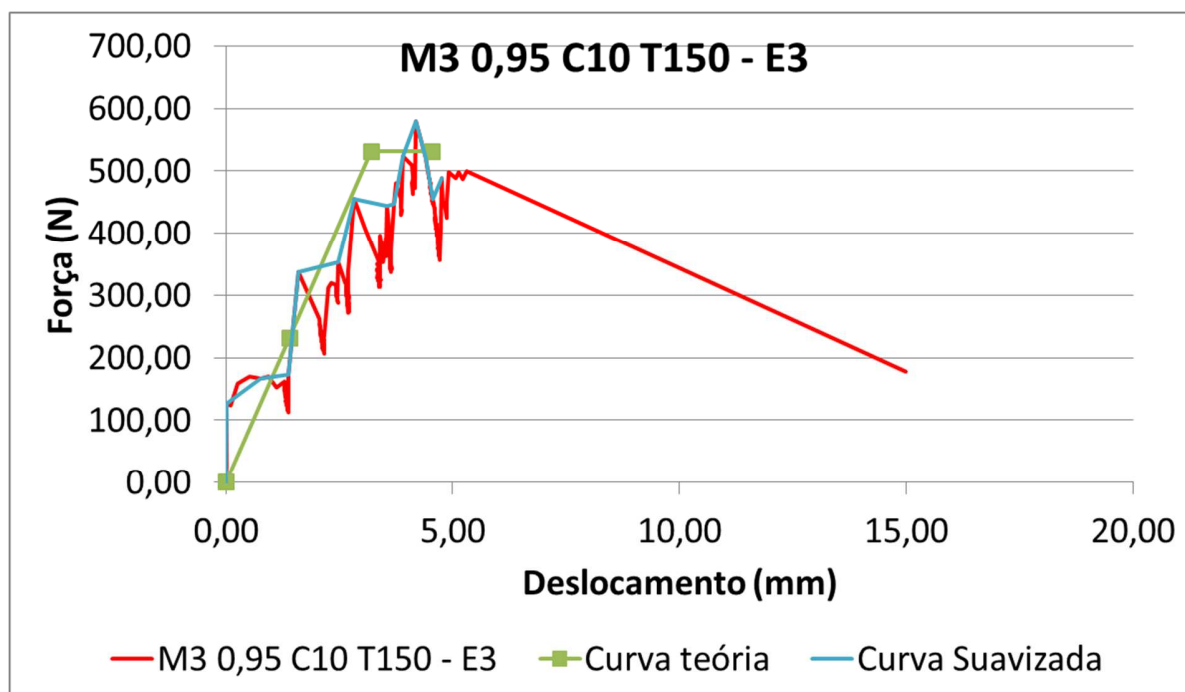


Figura 126 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 21 - Tabela resumo dos espécimes “M3 0,95 C10 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M1 0,95 C10 L150 - E1	435,42	176,80	1766,93	2,67
M1 0,95 C10 L150 - E2	432,60	151,56	1472,02	1,97
M1 0,95 C10 L150 - E3	497,63	152,45	1544,41	2,59
X_m	455,22	160,27	1594,45	2,41
$C_v \text{ (%)}$	8,07%	8,93%	9,64%	15,99%
M1 0,95 C10 L150 - E1	644,65	147,11	2369,65	1,48
M1 0,95 C10 L150 - E2	672,93	143,57	2416,92	1,45
M1 0,95 C10 L150 - E3	579,62	165,61	1565,51	1,42
X_m	632,40	152,10	2117,36	1,45
$C_v \text{ (%)}$	7,57%	7,78%	22,60%	2,15%

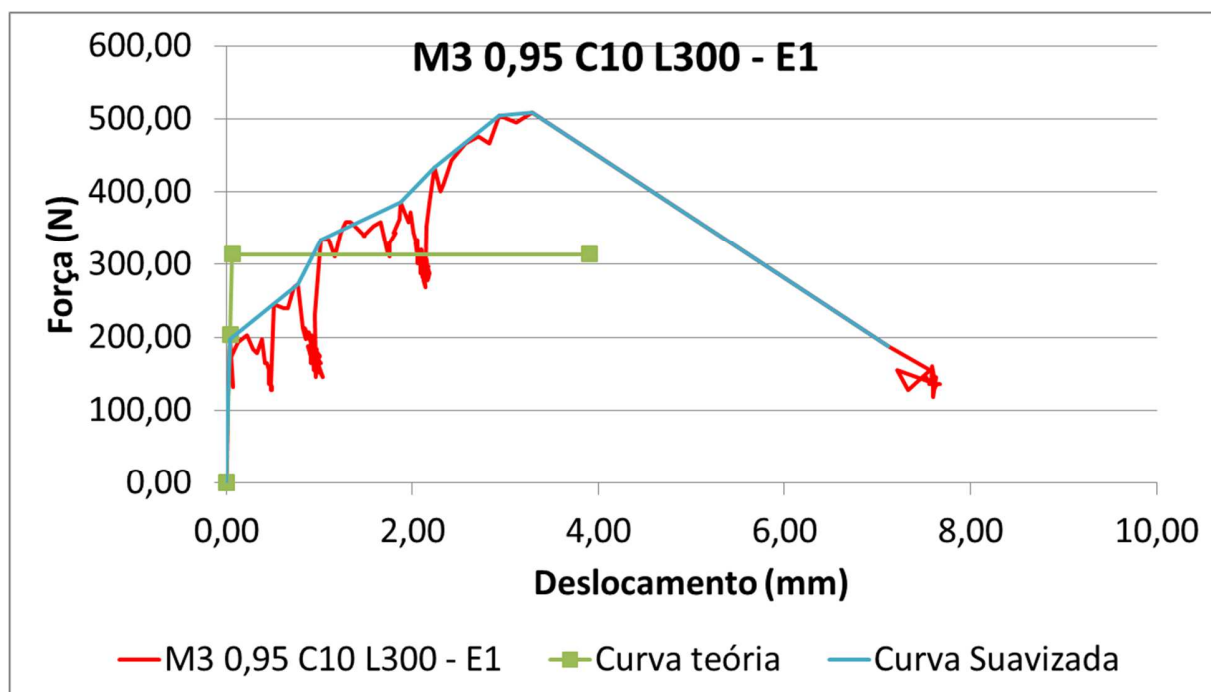


Figura 127 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

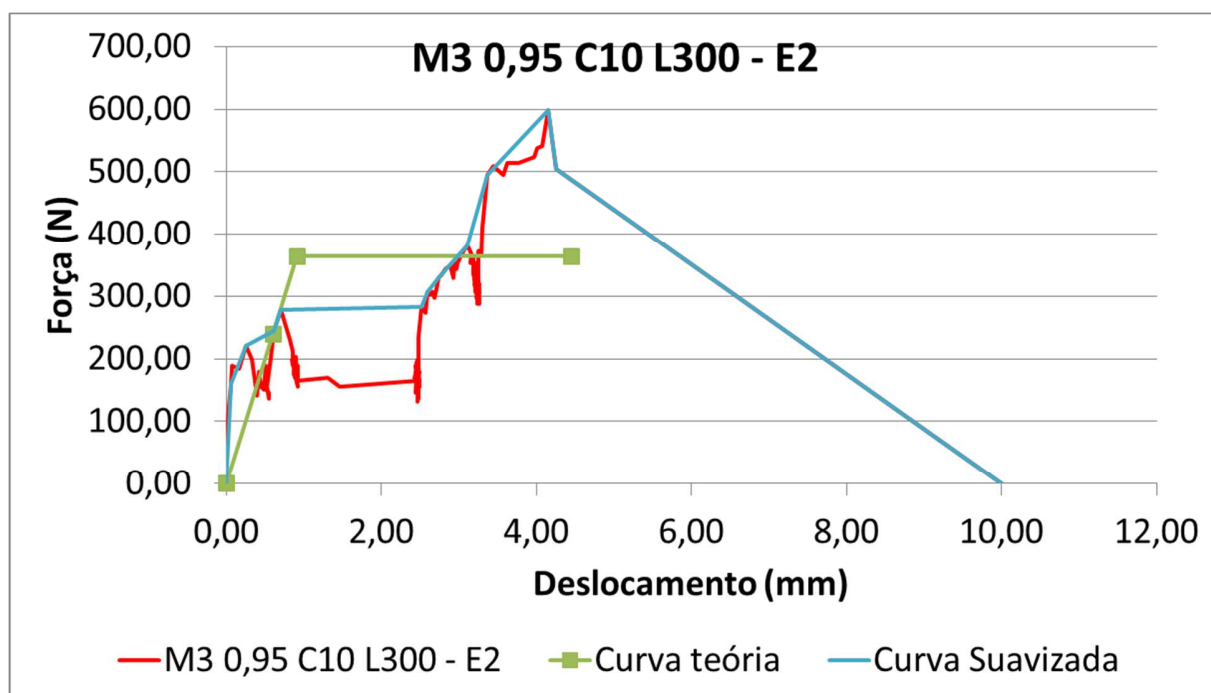


Figura 128 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

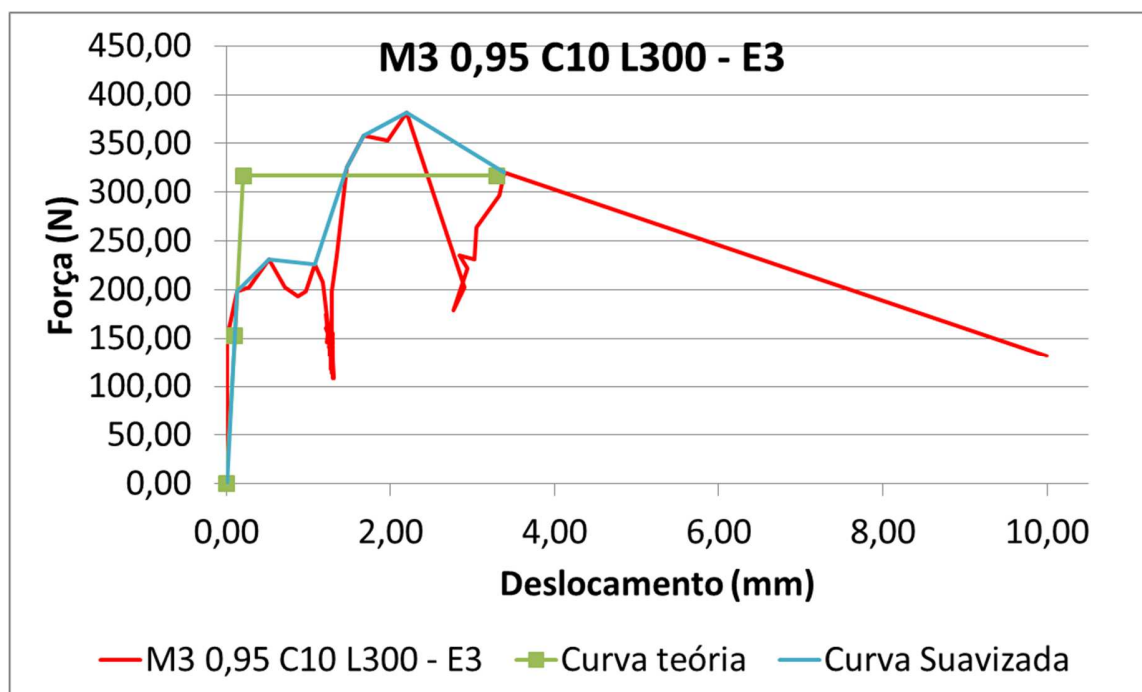


Figura 129 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

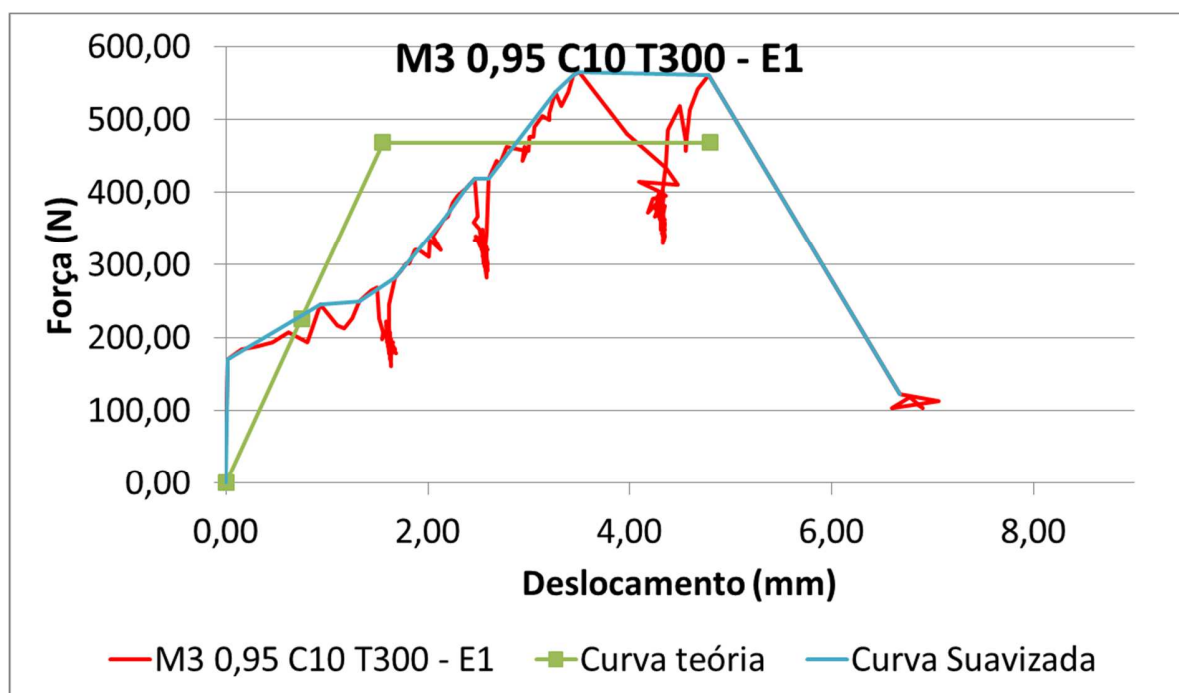


Figura 130 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

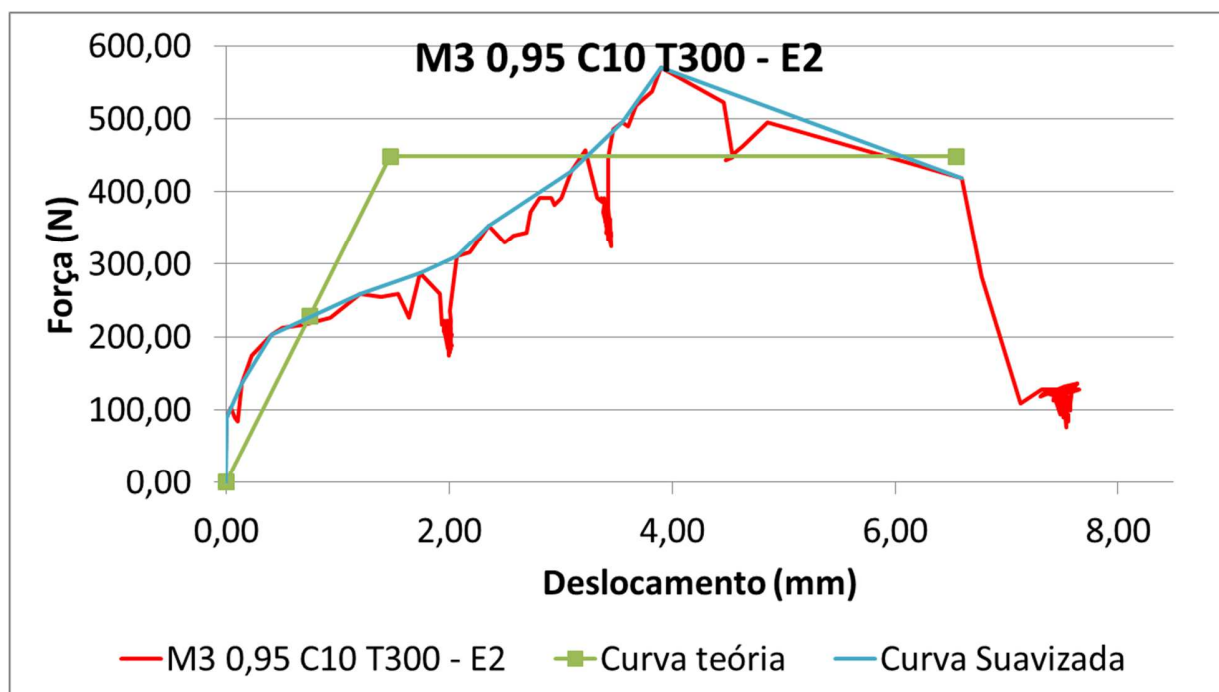


Figura 131 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

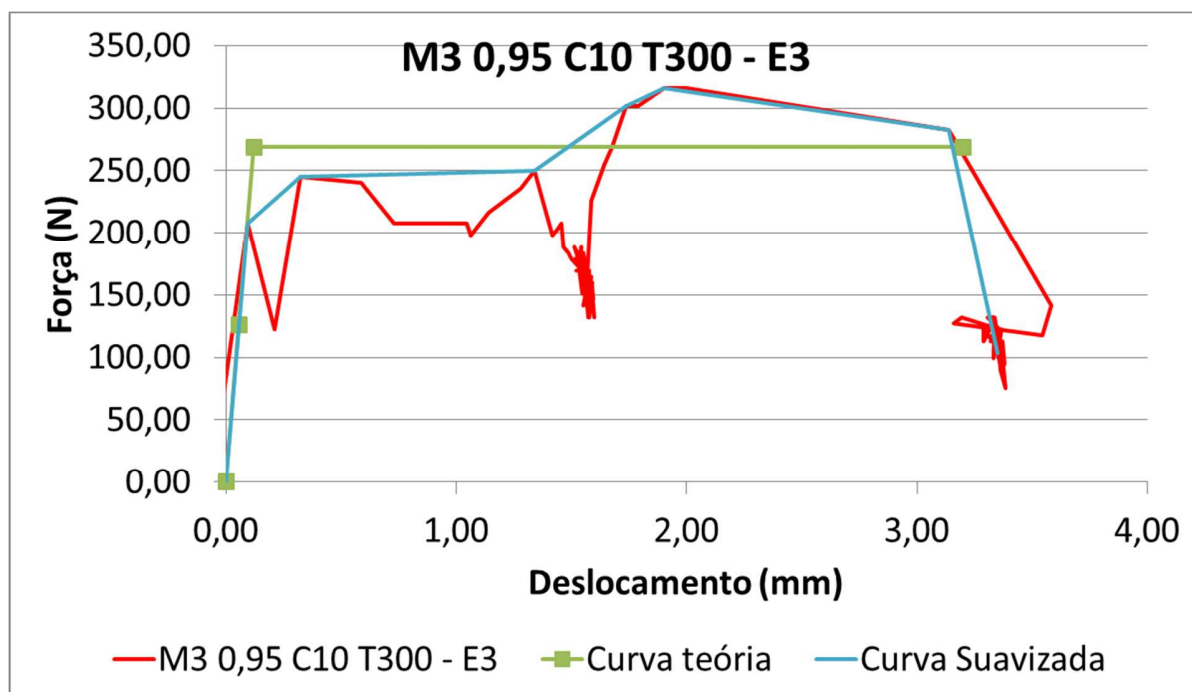


Figura 132 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C10 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

Tabela 22 - Tabela resumo dos espécimes “M3 0,95 C10 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso (P_{máx. Paraf.}), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	P _{máx} Paraf. (N)	k _e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M3 0,95 C10 L300 - E1	508,94	5071,62	1215,95	62,94
M3 0,95 C10 L300 - E2	598,47	398,08	1457,89	4,87
M3 0,95 C10 L300 - E3	381,70	1516,80	1012,95	15,79
X_m	496,37	2328,83	1228,93	27,87
C_v (%)	21,95%	104,79%	18,13%	110,73%
M3 0,95 C10 T300 - E1	565,49	301,59	1883,84	3,09
M3 0,95 C10 T300 - E2	570,20	304,11	2605,92	4,44
M3 0,95 C10 T300 - E3	315,73	2217,23	843,45	26,41
X_m	483,80	940,98	1777,74	11,31
C_v (%)	30,09%	117,46%	49,84%	115,68%

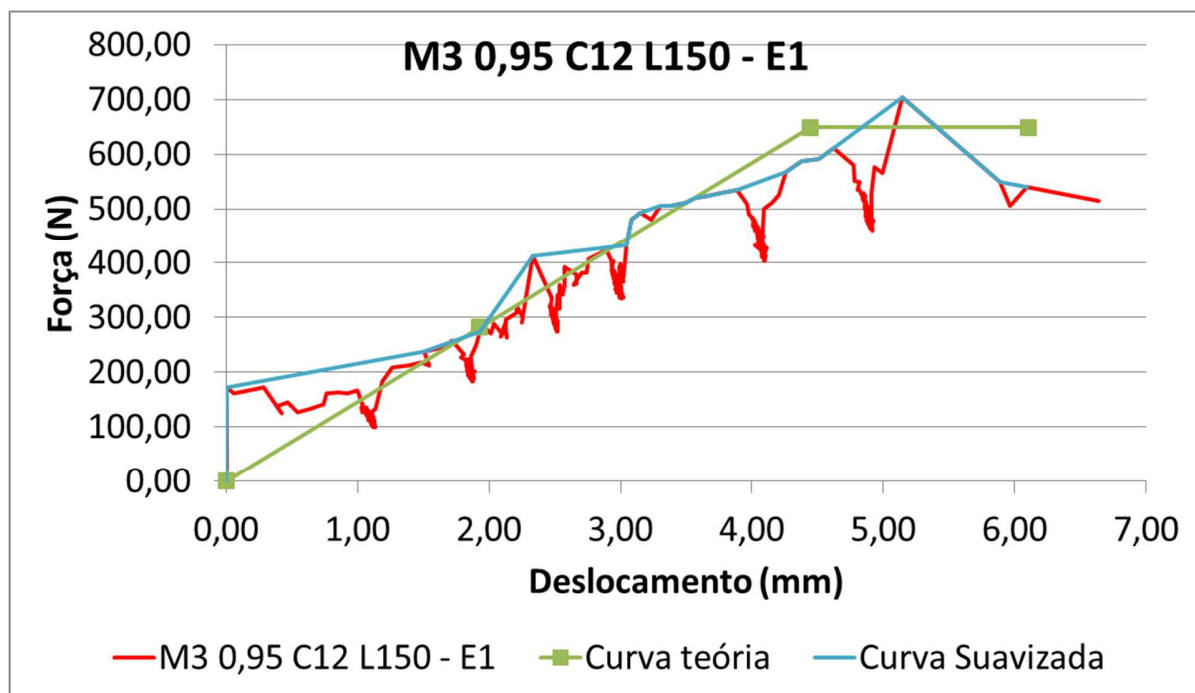


Figura 133 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 L150-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

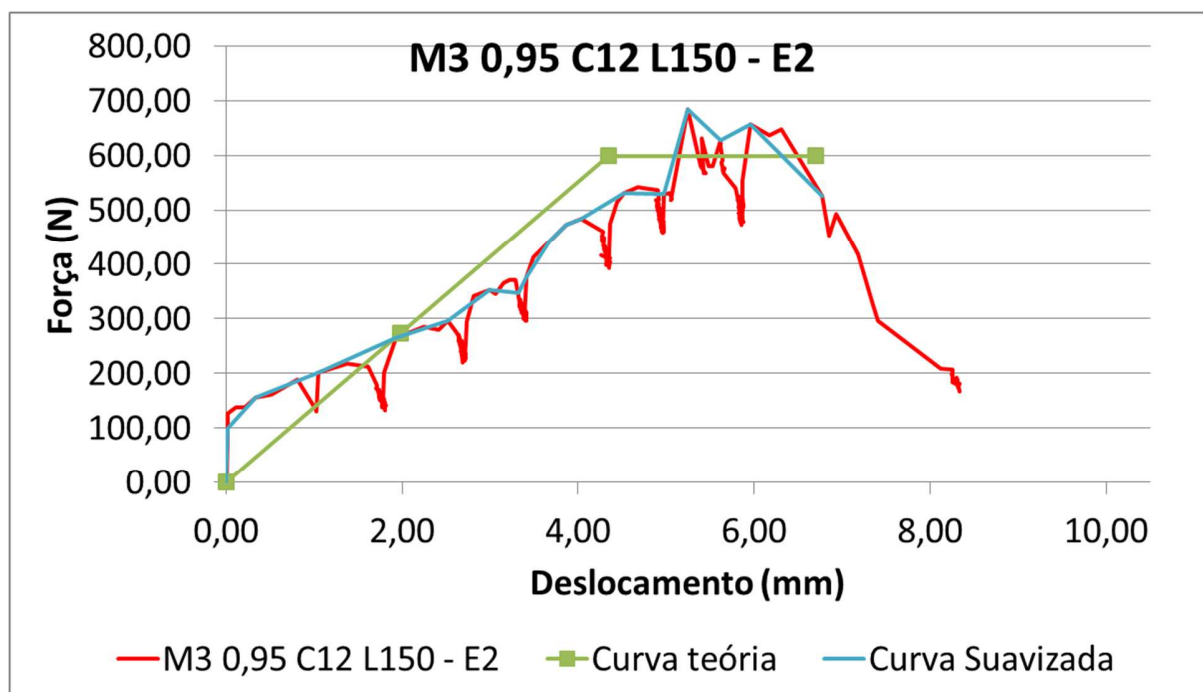


Figura 134 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 L150-E2”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

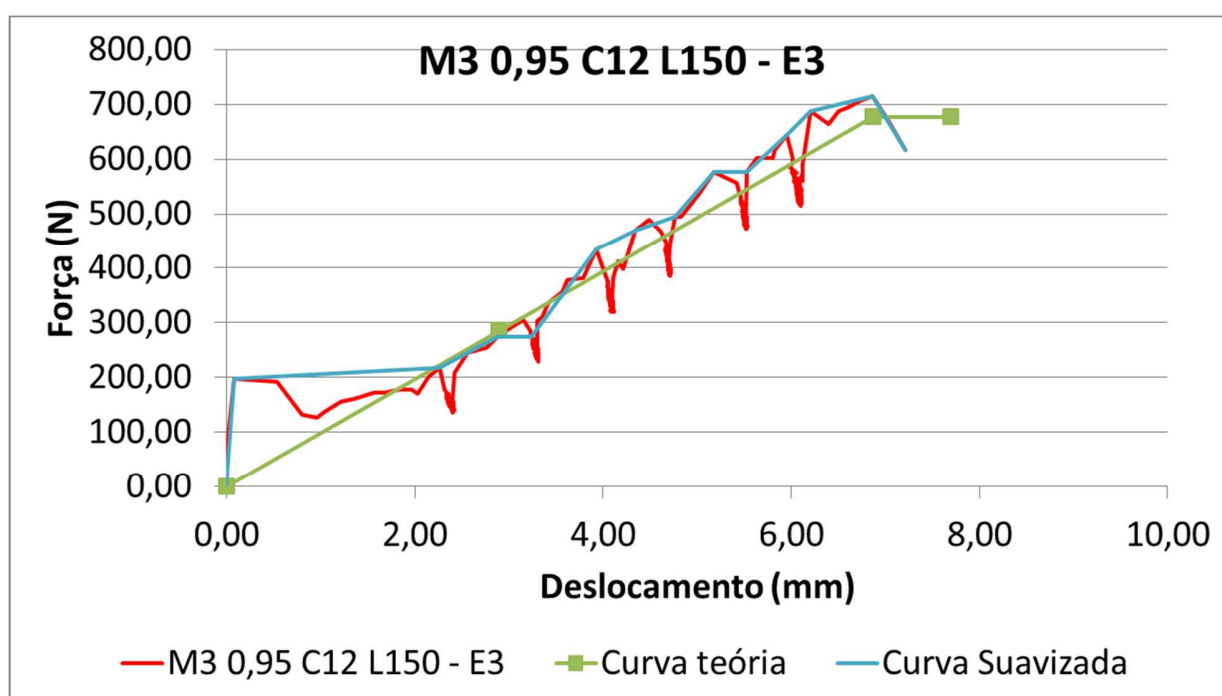


Figura 135 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 L150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

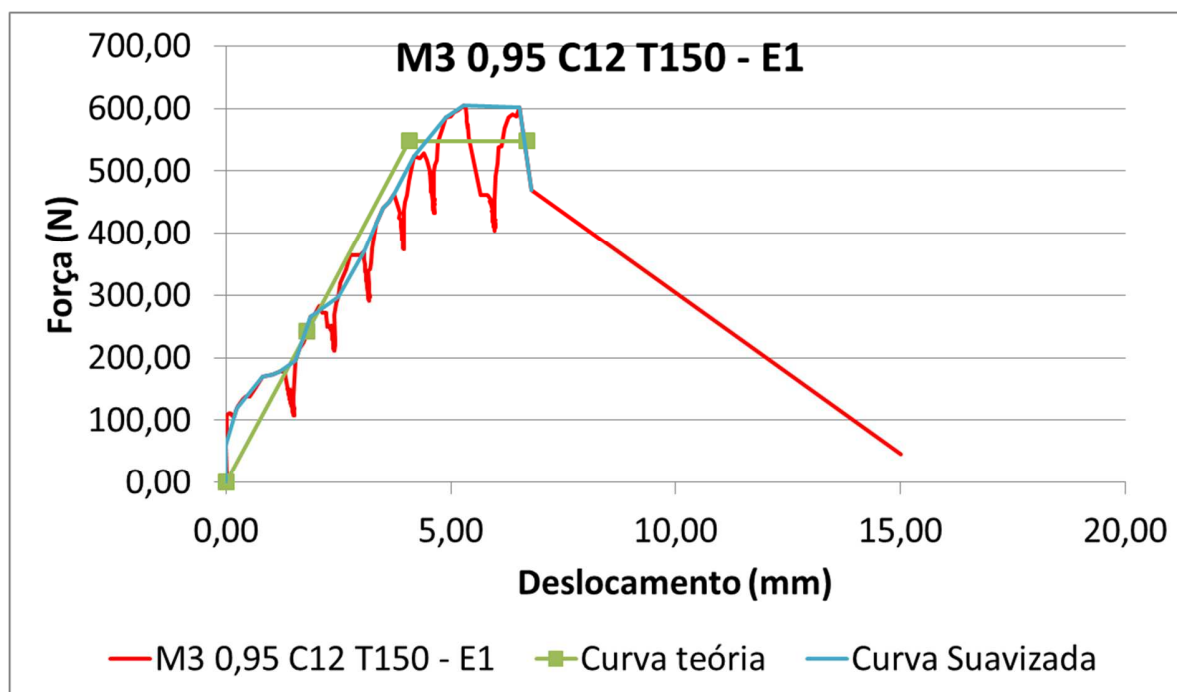


Figura 136 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 T150-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

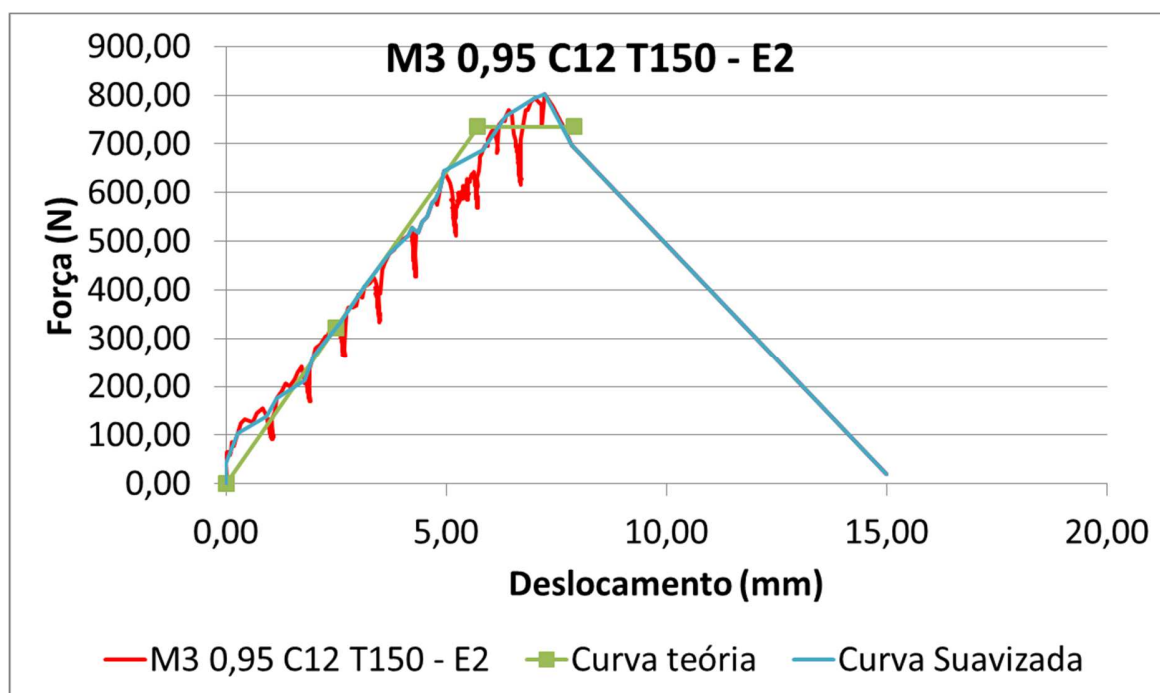


Figura 137 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 T150-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

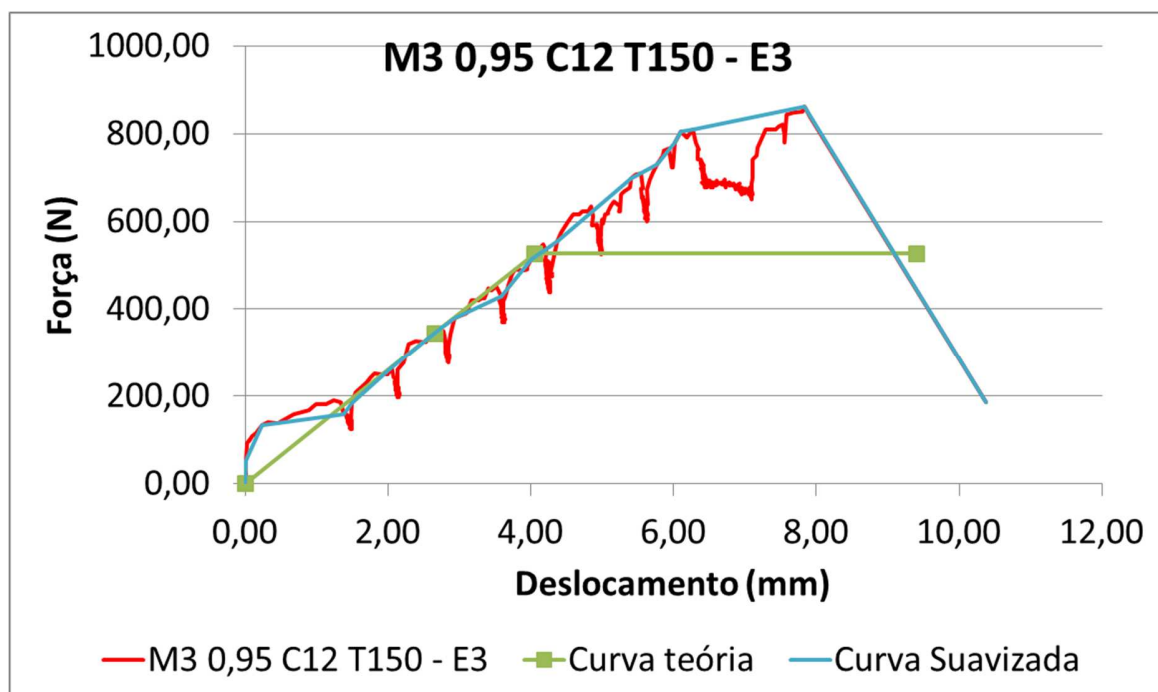


Figura 138 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 T150-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

Tabela 23 - Tabela resumo dos espécimes “M3 0,95 C12 (L e T)150” com valores de força máxima por parafuso ($P_{\text{máx. Paraf.}}$), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). $\bar{X}_m$ são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	$P_{\text{máx Paraf. (N)}}$	$k_e \text{ (N/mm)}$	$A \text{ (N.mm)}$	μ
M3 0,95 C12 L150 - E1	704,03	145,91	2515,36	1,37
M3 0,95 C12 L150 - E2	684,24	137,92	2712,08	1,54
M3 0,95 C12 L150 - E3	715,34	98,67	2890,78	1,12
$\bar{X}_m$	701,20	127,50	2706,07	1,35
$C_v \text{ (%)}$	2,25%	19,83%	6,94%	15,77%
M3 0,95 C12 T150 - E1	605,07	134,46	2555,31	1,64
M3 0,95 C12 T150 - E2	802,99	128,93	3712,56	1,38
M3 0,95 C12 T150 - E3	862,37	129,83	3885,36	2,31
$\bar{X}_m$	756,81	131,07	3384,41	1,78
$C_v \text{ (%)}$	17,80%	2,26%	21,37%	26,95%

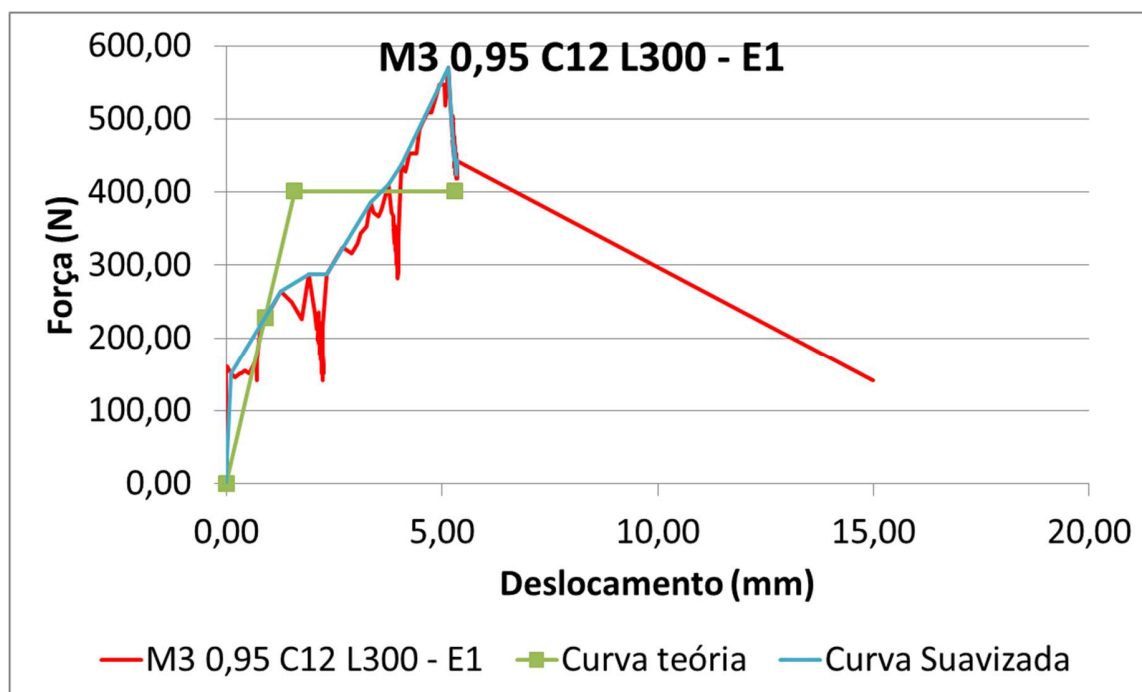


Figura 139 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 L300-E1”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

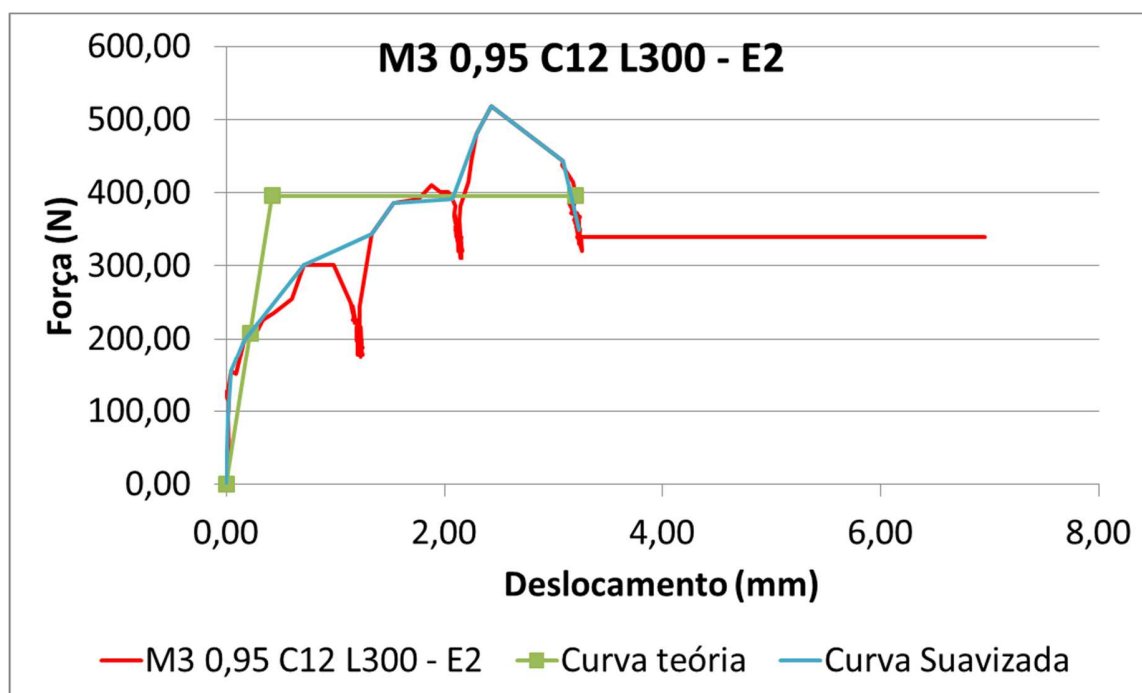


Figura 140 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 L300-E2”: curva real, curva teórica (EEEEP) e curva suavizada.

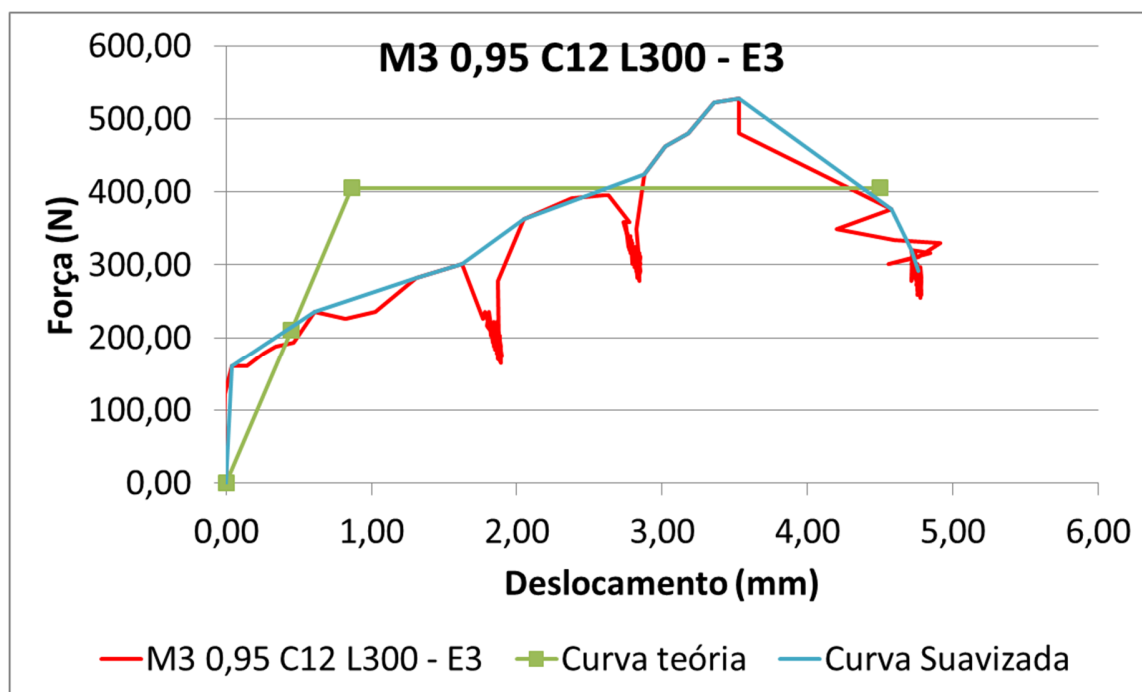


Figura 141 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 L300-E3”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

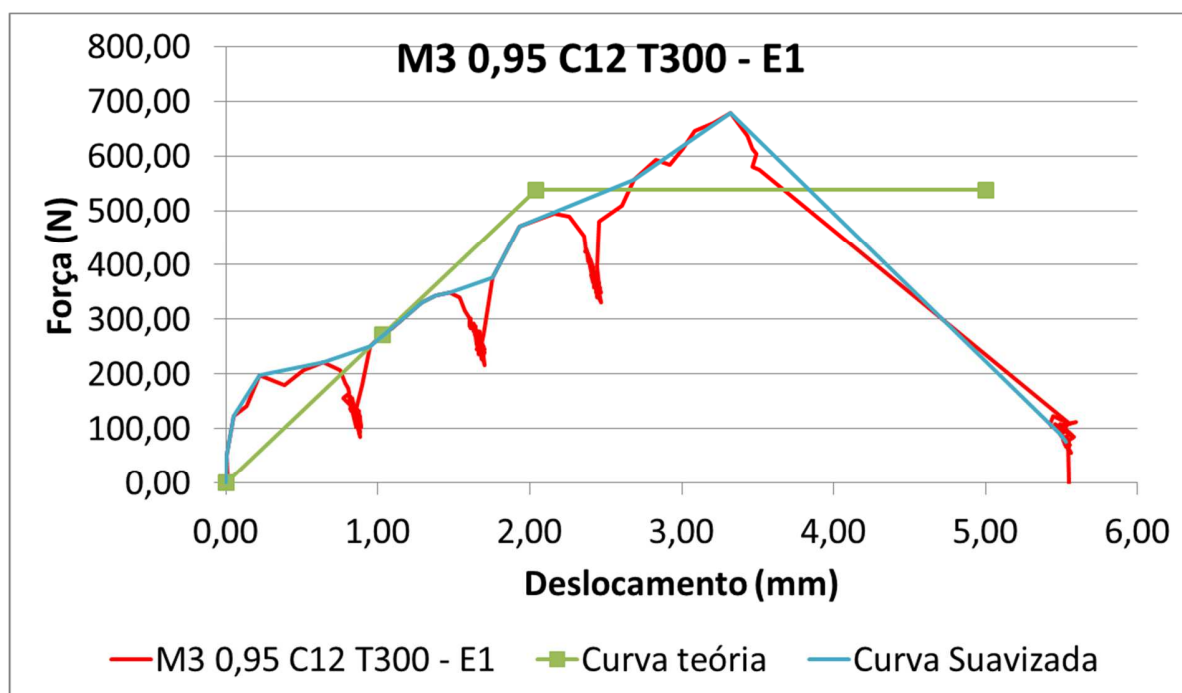


Figura 142 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 T300-E1”: curva real, curva teórica (EEEP) e curva suavizada.

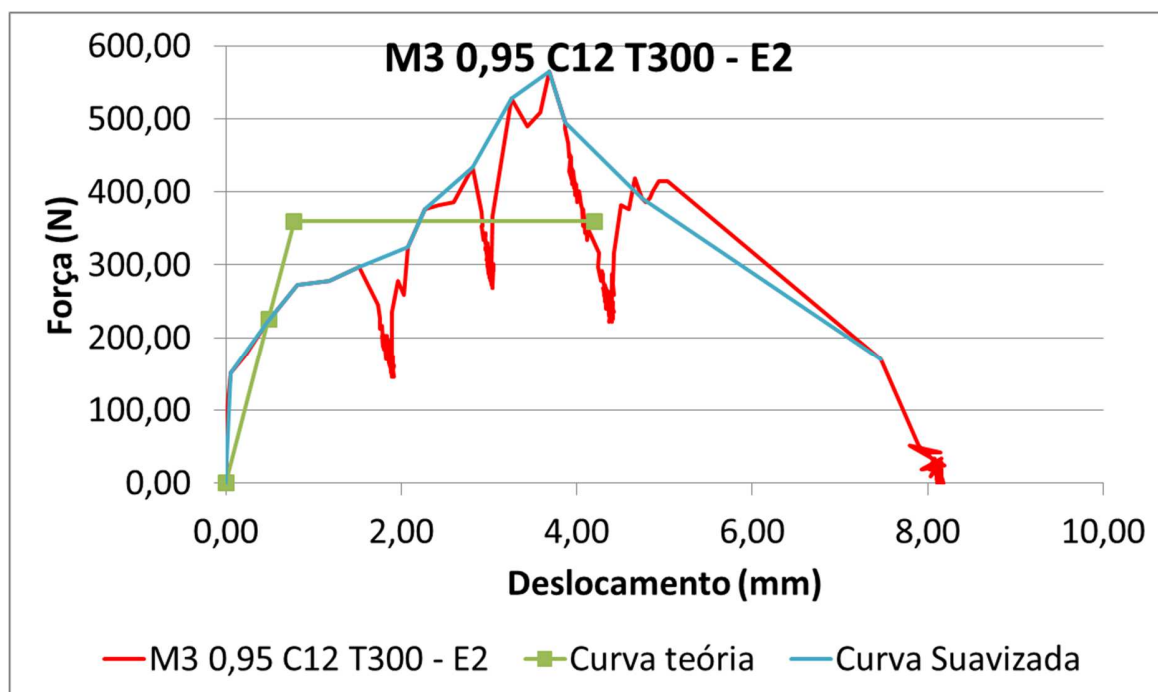


Figura 143 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 T300-E2”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

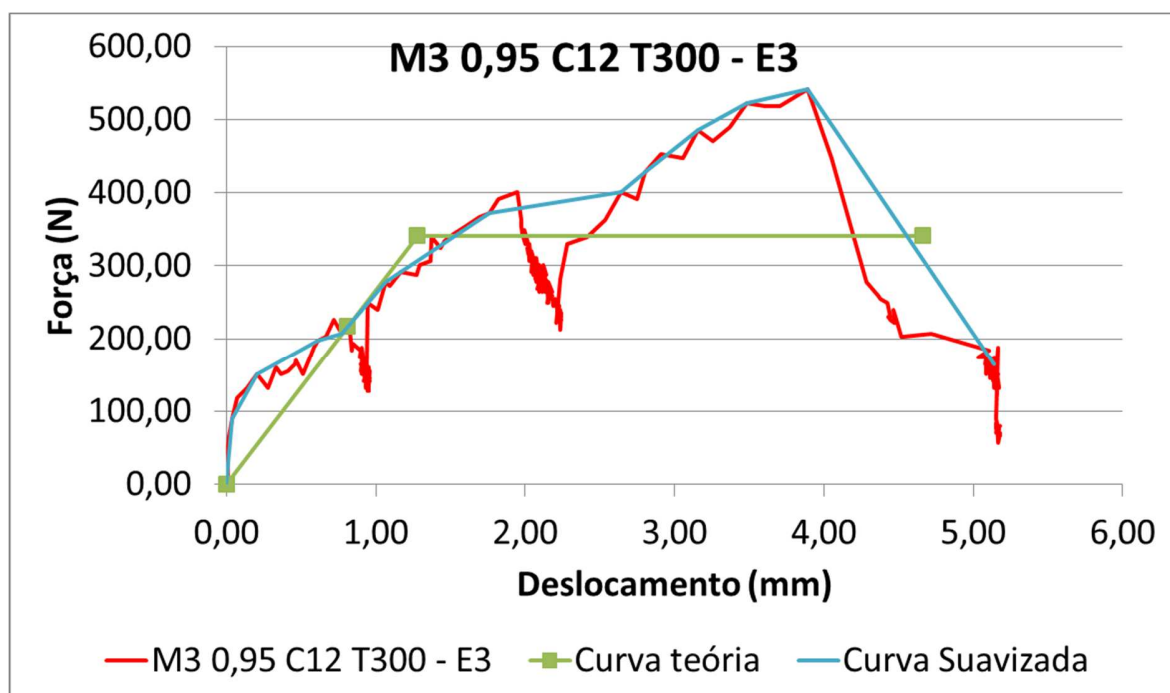


Figura 144 - Gráfico força versus deslocamento do espécime “M3 0,95 C12 T300-E3”: curva real, curva teórica (EEEE) e curva suavizada.

Tabela 24 - Tabela resumo dos espécimes “M3 0,95 C12 (L e T)300” com valores de força máxima por parafuso (P_{máx. Paraf.}), rigidez da ligação (k_e), energia dissipada no ensaio (A) e ductilidade da ligação (μ). X_m são os valores médios e C_v é o coeficiente de variação em porcentagem.

Nome	P _{máx} Paraf. (N)	k _e (N/mm)	A (N.mm)	μ
M3 0,95 C12 L300 - E1	570,20	253,42	1804,22	3,34
M3 0,95 C12 L300 - E2	518,36	942,48	1182,90	7,62
M3 0,95 C12 L300 - E3	527,79	469,14	1648,95	5,21
X_m	538,78	555,01	1545,36	5,39
C_v (%)	5,12%	63,51%	20,92%	39,81%
M3 0,95 C12 T300 - E1	678,58	263,78	2141,99	2,45
M3 0,95 C12 T300 - E2	565,49	464,31	1371,07	5,42
M3 0,95 C12 T300 - E3	541,92	267,34	1373,42	3,65
X_m	595,33	331,81	1628,83	3,84
C_v (%)	12,27%	34,59%	27,28%	38,94%