

3

Descrição do Programa Experimental

A melhor forma de se obter o comportamento global e local de estruturas aparafusadas é por meio de ensaios experimentais realizados em laboratório. Com esses ensaios torna-se possível avaliar os resultados para determinação da rigidez do elemento e, a capacidade última da ligação. A partir desses dados é também possível analisar e comparar as propriedades mecânicas e geométricas das ligações investigadas.

Todavia, o planejamento dos ensaios a serem realizados foi feito de forma bastante criteriosa para que se conseguisse extrair todas as informações necessárias para a avaliação do fenômeno em questão.

Esse capítulo apresenta o programa experimental executado em laboratório abrangendo a preparação da ligação aparafusada, do sistema de aplicação de forças e medição das solicitações, instrumentação, a configuração geométrica dos experimentos e a utilização de dois sistemas de aquisição de dados.

Como já relatado, nos ensaios experimentais realizados foram utilizados: aço carbono USI 300 e os aços inoxidáveis Austenítico A304, Duplex 2205 e Ferrítico 430.

3.1

Caracterização da ligação aparafusada

A ligação aparafusada é dotada de uma placa de aço base interna onde foram aplicadas as forças e parafusos tipo A325 e A490, materiais fornecidos pela empresa de estruturas metálicas METALFENAS. As placas tinham as seguintes dimensões: largura de 200 mm e de 150 mm e comprimento variável, para atender as duas chapas em estudo de espessura variando entre 6 mm a 15 mm. A Figura 3.1 apresenta uma visão global da ligação aparafusada.

Foram considerados ensaios de ligações aparafusadas sem excentricidade em relação ao centro de gravidade da seção transversal, buscando-se avaliar o comportamento global do elemento estrutural sob tração.

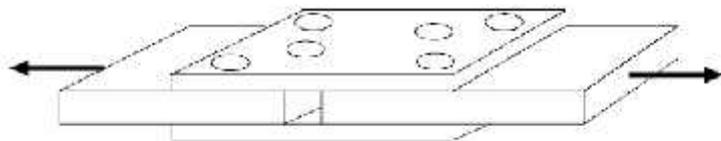


Figura 3.1 – Esquema da ligação aparafusada ensaiada.

A fim de levantar a tensão limite de escoamento e a tensão limite de ruptura dos aços utilizados nos ensaios, utilizou-se a NBR 6673 (1981) para determinar as dimensões dos corpos de prova. Para tal foram fabricados corpos de prova, conforme as dimensões apresentadas na Figura 3.2, para chapas com espessura de até 5 mm, retirados no sentido paralelo a direção da laminação (PL), conforme apresentado na Figura 3.3, e no sentido perpendicular a direção da laminação (PP). Foram utilizados os equipamentos do laboratório do ITUC – Instituto de Tecnologia da PUC-Rio e do Laboratório de Engenharia Civil da UERJ, para a obtenção desses valores.

Os testes de tração uniaxial foram realizados na PUC-Rio e na UERJ em temperatura ambiente, a uma velocidade de 2,25 mm/min, a fim de se determinar as propriedades mecânicas das chapas de acordo com a NBR 6892 (2002).

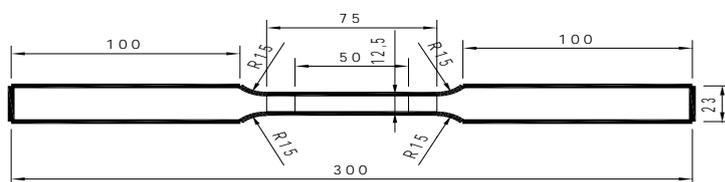


Figura 3.2 – Corpo de prova (chapa com espessura de 3 mm).

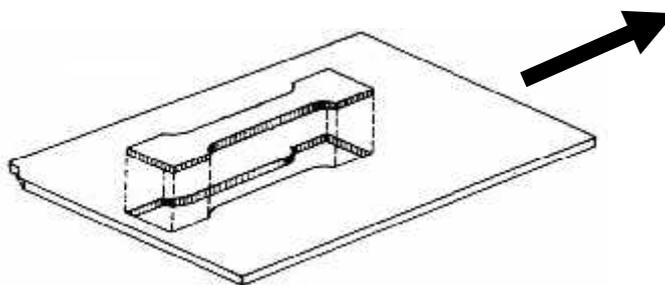


Figura 3.3 – Esquema de retirada dos corpos de prova no sentido paralelo a direção da laminação.

3.2

Corpos de prova das chapas de aço carbono

O valor da tensão limite de escoamento (f_y) para o aço carbono foi obtido, por meio da reta paralela ao trecho inicial correspondente a uma deformação específica igual a 0,2%, conforme pode ser observado na Figura 3.4, pois o aço carbono USI 300, devido a sua conformação a frio, não apresentou patamar de escoamento.

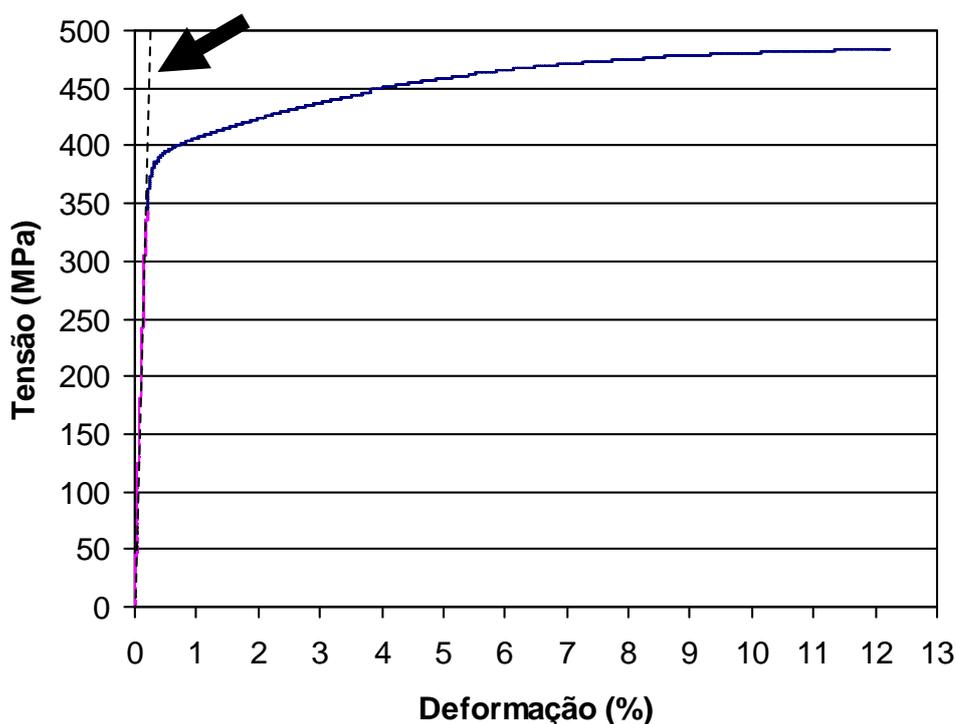


Figura 3.4 – Curva tensão *versus* deformação específica do aço carbono.

Foram realizados vários testes de tração, cujos resultados do aço carbono são apresentados na Tabela 3.1 com os valores médios das tensões de escoamento e tensões última.

Os resultados das amostras apresentaram um desvio padrão máximo de 20,34 MPa para as leituras da tensão limite de escoamento, e 16,02 MPa para as leituras da tensão limite de ruptura. O desvio padrão com o fator de correção de Bessel foi obtido com a expressão a seguir:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3.1)$$

Os resultados das amostras apresentaram um coeficiente de variação de 0,05 (5%) para as leituras da tensão limite de escoamento, e 0,03 (3%) para as leituras da tensão limite de ruptura. O coeficiente de variação (v), que é uma medida adimensional da dispersão, pode ser expressa em porcentagem:

$$\hat{v} = S / \bar{\mu} \quad (3.2)$$

em que μ é a média.

Tabela 3.1 – Tensões limites do aço carbono

Corpo de prova	f_y (MPa)	f_u (MPa)
AC 1	388,97	485,97
AC 2	383,77	478,43
AC 3	348,29	450,55
AC 4	404,39	495,91
AC 5	401,31	488,81
AC 6	394,01	472,43
Média	386,79	478,68
Desvio Padrão	20,34	16,02

3.3

Corpos de prova das chapas de aço inoxidável

Da mesma forma descrita anteriormente foram determinadas as tensões de escoamento e de ruptura dos aços inoxidáveis austenítico, duplex e ferrítico. A obtenção da tensão limite de escoamento para todos os tipos de aço inoxidável foi realizada por meio da reta paralela ao trecho inicial correspondente a uma deformação específica igual a 0,2%, conforme pode ser observado na Figura 3.5.

Foram realizados vários ensaios com os aços inoxidáveis na direção paralela (PL) e perpendicular (PP) à direção da laminação, cujos resultados são apresentados da Tabela 3.2 a Tabela 3.6, com os valores médios para a tensão limite de escoamento e para a tensão limite de ruptura.

Os resultados apresentaram um desvio padrão máximo de 21,33 MPa para a tensão limite de escoamento e 14,70 MPa para a tensão limite de ruptura.

Os resultados das amostras apresentaram um coeficiente de variação de 0,01 (1%) para as leituras da tensão limite de escoamento e 0,02 (2%) para as leituras da tensão limite de ruptura.

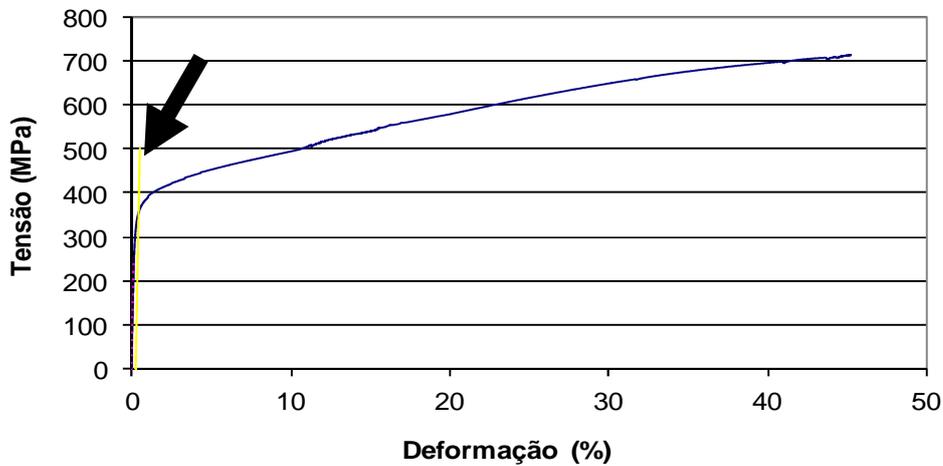


Figura 3.5 – Curva tensão *versus* deformação específica do aço inoxidável austenítico.

Tabela 3.2 – Tensões limites médias do aço inoxidável austenítico

Corpo de prova	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Austenítico (PL) 1	352,08	721,14
Austenítico (PL) 2	361,64	699,49
Austenítico (PL) 3	313,70	692,85
Austenítico (PL) 4	358,49	724,86
Austenítico (PL) 5	367,12	713,08
Média	350,61	710,29
Desvio padrão	21,33	13,77

Tabela 3.3 – Tensões limites médias do aço inoxidável austenítico

Corpo de prova	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Austenítico (PP) 1	357,58	747,14
Austenítico (PP) 2	361,64	759,25
Austenítico (PP) 3	325,70	738,46
Média	348,31	748,28
Desvio padrão	19,68	14,70

Tabela 3.4 – Tensões limites médias do aço inoxidável duplex

Corpo de prova	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Duplex (PL) 1	503,28	722,24
Duplex (PL) 2	508,04	718,35
Duplex (PL) 3	472,78	708,8
Média	494,70	716,46
Desvio padrão	19,13	9,68

Tabela 3.5 – Tensões limites médias do aço inoxidável duplex

Corpo de prova	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Duplex (PP) 1	547,45	758,61
Duplex (PP) 2	552,84	769,85
Duplex (PP) 3	515,85	752,81
Média	538,71	760,42
Desvio padrão	19,98	12,17

Tabela 3.6 – Tensões limites médias do aço inoxidável ferrítico

Corpo de prova	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Ferrítico (PL) 1	363,58	479,14
Ferrítico (PL) 2	361,64	468,06
Ferrítico (PL) 3	331,61	466,44
Média	352,28	471,21
Desvio padrão	17,92	9,67

3.4

Critério de dimensionamento

Conforme citado anteriormente, esse trabalho utilizou o EUROCODE 3 para o dimensionamento da ligação aparafusada. Para a ligação constituída de elementos de aço carbono, utilizou-se o EUROCODE 3 – Parte1-8 (2005) e para elementos de aço inoxidável, o EUROCODE 3, Parte1.4 (2003).

Conforme mencionado anteriormente, em uma chapa com presença de furo, o colapso é caracterizado quando ocorre o escoamento na seção bruta ou a ruptura na seção líquida. Na Figura 3.6 apresenta-se o comportamento de

chapas com furo sujeita a uma força de tração devida a uma carga axial crescente monotônica.

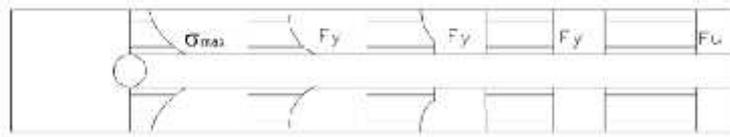


Figura 3.6 – Evolução de tensões normais: placa sujeita a carregamento axial.

Contabilizando o furo a área bruta diminui, provocando assim, um escoamento precoce nesta seção da chapa. Com a presença de mais furos na seção líquida transversal, e esses com defasagem como mostrado na Figura 3.1, dificulta-se a identificação da seção mais crítica da peça, pois a linha de ruptura não se torna evidente.

3.5

Avaliação da ligação aparafusada para o aço carbono e aço inoxidável

Antes da realização de ensaios com aplicação de força axial, foi necessário avaliar a ligação aparafusada. Dessa forma foram verificados os seguintes estados limites últimos: o escoamento da seção bruta, a ruptura da seção líquida passando em dois furos e três furos, o esmagamento da placa na área dos parafusos e o cisalhamento dos parafusos.

Essas análises foram realizadas tendo em conta a variação dos parâmetros geométricos da ligação aparafusada alternada e a limitação da capacidade de força e espaçamento entre garras da máquina de tração.

Assim foi possível escolher a configuração geométrica que proporcionasse um melhor aproveitamento dos dados coletados para avaliação da estrutura aparafusada com furação alternada.

Para atingir o objetivo exposto acima e considerando as limitações foram escolhidos os valores geométricos apresentados nesta tese. Com a utilização das equações fornecidas pelo EUROCODE 3, foram obtidas as curvas apresentadas na Figura 3.7, para uma chapa com 145 mm de largura, de tal forma que o limite para a ruptura na seção líquida em dois ou três furos fosse identificado. Uma análise similar foi realizada, com exemplo, para o aço inoxidável austenítico gerando os limites identificados pelas curvas da Figura 3.8. Outras curvas foram feitas para os aços inoxidável, duplex e ferrítico.

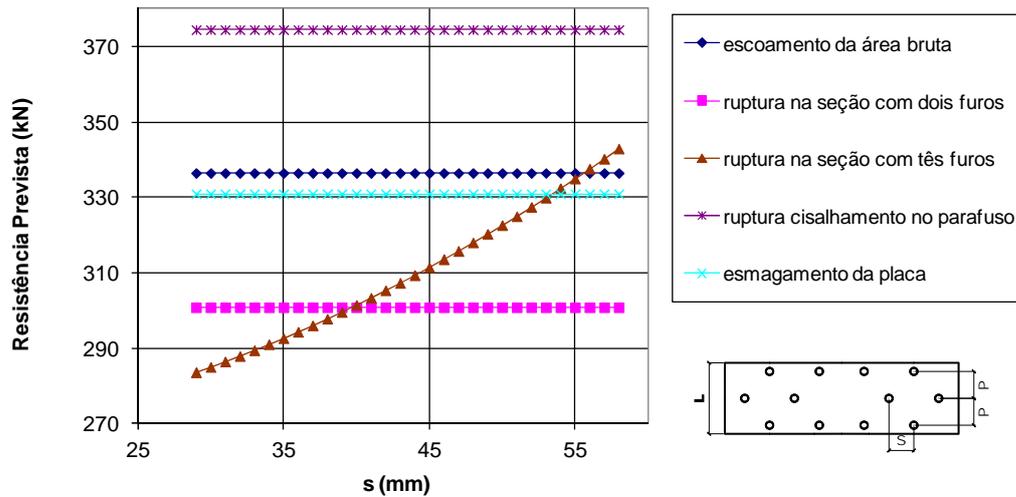


Figura 3.7 – Forças limites no aço carbono, L=145 mm.

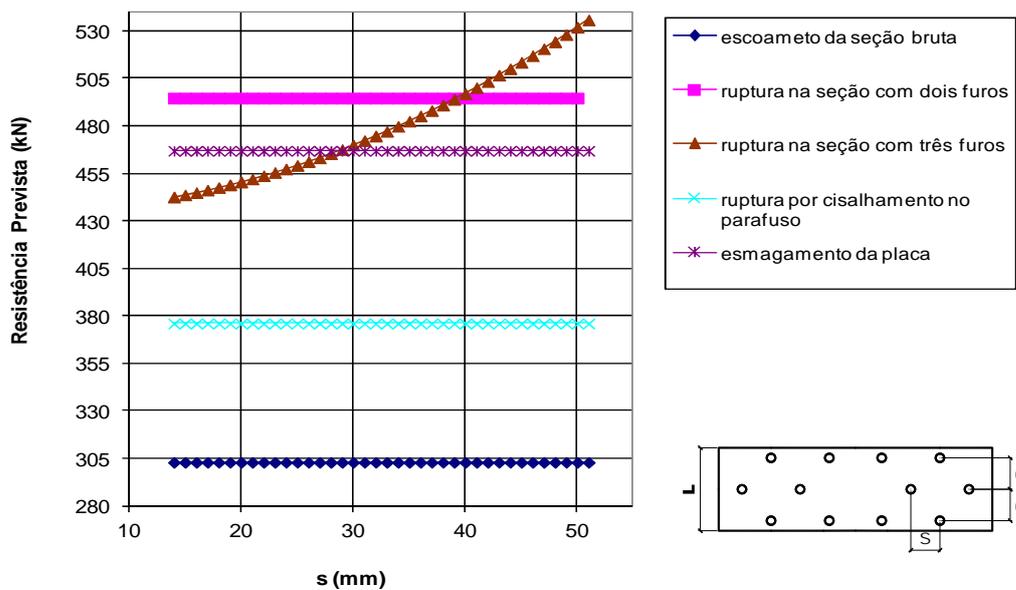


Figura 3.8 – Forças limites no aço inoxidável austenítico, L=107 mm.

Considerando-se os gráficos apresentados na Figura 3.7 e na Figura 3.8 e observando-se o menor gasto de material, a capacidade da máquina de tração e o espaço físico para fixação dos corpos de prova, foram escolhidos valores da variável s que caracterizassem, respectivamente, a ruptura da ligação na seção líquida passando por dois furos, a ruptura da ligação na seção líquida passando por três furos, e ainda um valor da variável s intermediário igual a 32 mm para a chapa com $L = 107$ mm e $s = 40$ mm para a chapa com $L = 145$ mm caracterizando uma ruptura entre esses dois limites anteriores.

3.6

Caracterização dos ensaios

Para o dimensionamento de estruturas aparafusadas submetidas a solicitação de tração, consideram-se alguns critérios:

- usualmente em estruturas aparafusadas o diâmetro dos furos deve ser executado com 2,0 mm maior que a dimensão nominal dos parafusos, EUROCODE 3 (2003);
- no caso de uma série de furos distribuídos transversalmente ao eixo da barra, em diagonal a esse eixo ou com furos alternados, a largura líquida dessa parte da barra deve ser calculada deduzindo-se da largura bruta, a soma das larguras de todos os furos em cadeia. A esse resultado soma-se, para cada linha ligando dois furos, uma parcela igual ao resultado da razão $s^2/4p$, onde as grandezas s e p representam, respectivamente, os espaçamentos longitudinal e transversal entre os dois furos considerados, como mostrado na Figura 3.9;
- a largura líquida crítica da barra sob tração considerada será obtida pela cadeia de furos que produza a menor das larguras líquidas, para as diferentes possibilidades de linhas de ruptura analisadas;

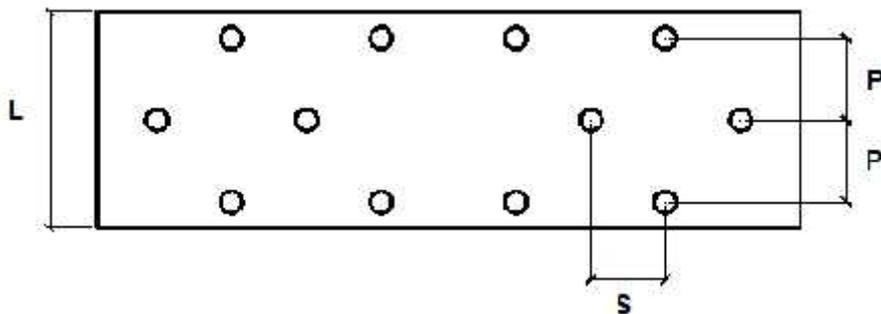


Figura 3.9 – Localização dos parâmetros s e p .

As especificações de chapas, tipos de materiais e arranjos de parafusos das ligações aparafusadas foram definidas e são apresentadas a seguir.

- Foram utilizadas chapas de aço carbono do tipo USI 300, fornecidas pela USIMINAS e chapas de aço inoxidável austenítico da linha S304, ferrítico da linha 430 e duplex da linha 2205, compradas da empresa ARCELLORMITAL, devido às suas características de uso mais estrutural na construção civil.

- b) Uso de parafusos de aço carbono ASTM A325 e A490, com 12,5 mm de diâmetro com rosca parcial na sua extensão, conforme Figura 3.10, e sendo previsto que sua resistência ao corte não seria atingida, de modo a se poder avaliar somente os efeitos das diferentes configurações de parafusos possíveis, ou seja, variando-se os valores de s e p , para que sejam produzidas diferentes áreas líquidas, os caminhos A, B e C de ruptura, conforme mostrado na Figura 3.11.
- c) Garantia de pouca excentricidade em relação ao centro de gravidade da seção transversal da ligação aparafusada, utilizando-se o esquema de ligação da Figura 3.1, buscando-se avaliar, sem a influência de momentos fletores indesejáveis, o comportamento da ligação.
- d) Definição de valores limites de afastamento dos furos à borda das chapas na direção do carregamento e na direção transversal ao carregamento, de modo a garantir as menores dimensões das peças para que o conjunto estivesse ajustado ao espaço útil e a capacidade de força da máquina de tração.
- e) Utilização de corpos de prova para caracterização do comportamento dos materiais aço carbono e aço inoxidável por meio de ensaios de tração.
- f) Uso de broca para furar as chapas finas com a utilização de líquido resfriante, retardando o surgimento de tensões residuais nas bordas dos furos.
- g) Uso de chapa base interna super dimensionada com espessuras variando de 6 a 15 mm, de modo a garantir uma faixa de regime elástico, posicionadas com um afastamento mínimo de 10 mm uma da outra.
- h) A não utilização de valores específicos de torque durante aperto dos parafusos, de modo a se minimizar o efeito do atrito no resultado final das forças de escoamento e ruptura da chapa de ligação.
- i) O uso de arruelas junto às porcas do parafuso, proporcionando apenas um ajuste mais suave ao leve aperto dado às mesmas.

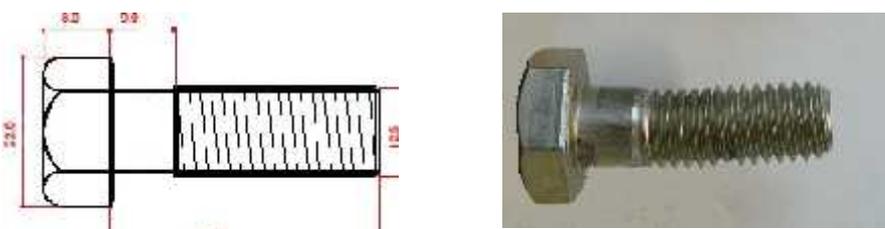


Figura 3.10 – Detalhe do parafuso ASTM A325 M12 cl. 8.8 (Lima, 2003).

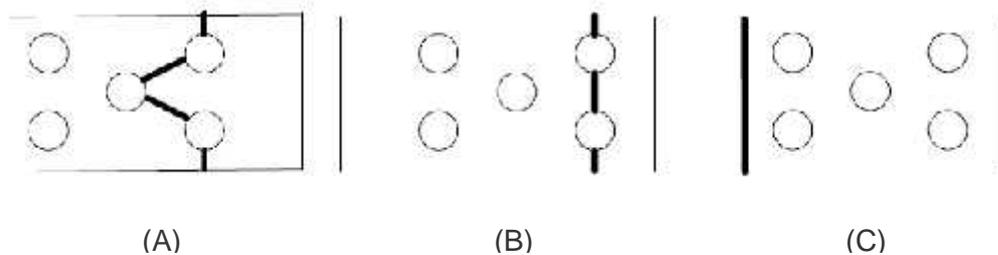


Figura 3.11 – Linhas de ruptura possíveis para a ligação em estudo.

3.7

Preparação dos ensaios

As peças foram cortadas e furadas na fábrica METALFENAS. As chapas foram marcadas, e cortadas na guilhotina. Essas chapas foram primeiramente puncionadas para depois serem furadas, inicialmente com broca de $\frac{1}{4}$ de polegada. Em seguida os furos foram alargados com broca de $\frac{9}{16}$ ", sendo utilizado sempre óleo resfriante no processo de furação.

Todo o processo foi supervisionado e acompanhado, com gabaritos, paquímetro eletrônico e trena, para que as dimensões das chapas fossem o mais próximo possível dos valores projetados para a execução dos ensaios.

3.8

Instrumentação

3.8.1 Extensômetros

Para registrar as deformações específicas nas chapas de cada ensaio foram usados, inicialmente, cinco extensômetros em cada placa, conforme mostrado na Figura 3.12. Cabe ressaltar que os extensômetros das extremidades SG6 e SG10 não conduziram a resultados relevantes quando comparados aos demais.

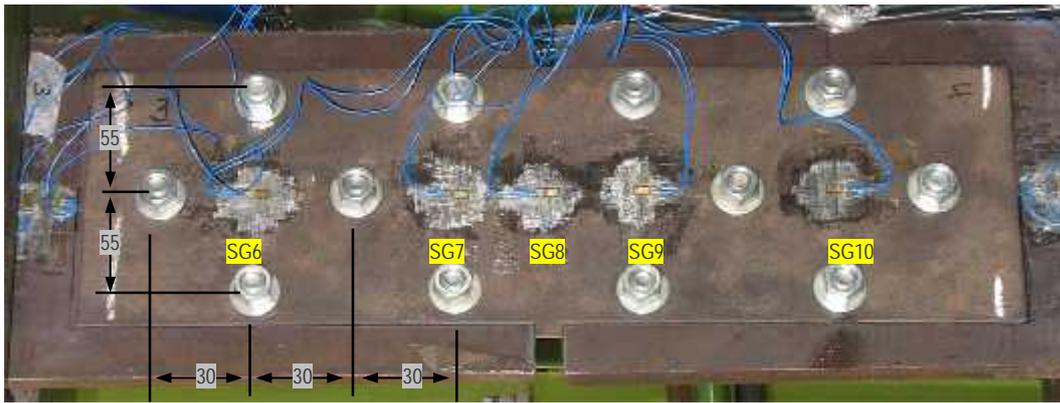


Figura 3.12 – Posicionamento dos extensômetros.

3.8.2 LVDT e Encoder

Um transdutor linear de deslocamento da marca KYOWA e um Encoder, equipamento eletromecânico, utilizado para conversão de movimentos rotativos em deslocamentos lineares, da empresa Dinateste foram fixados na máquina de tração, e ligados, respectivamente, ao Sistema de Aquisição de Dados NI-PXI-1050 da National Instruments e ao Sistema de Aquisição de Dados TestView da Dinateste, para fazer as leituras de deslocamento, conforme foto da Figura 3.13 e esquema de montagem apresentado na Figura 3.14.

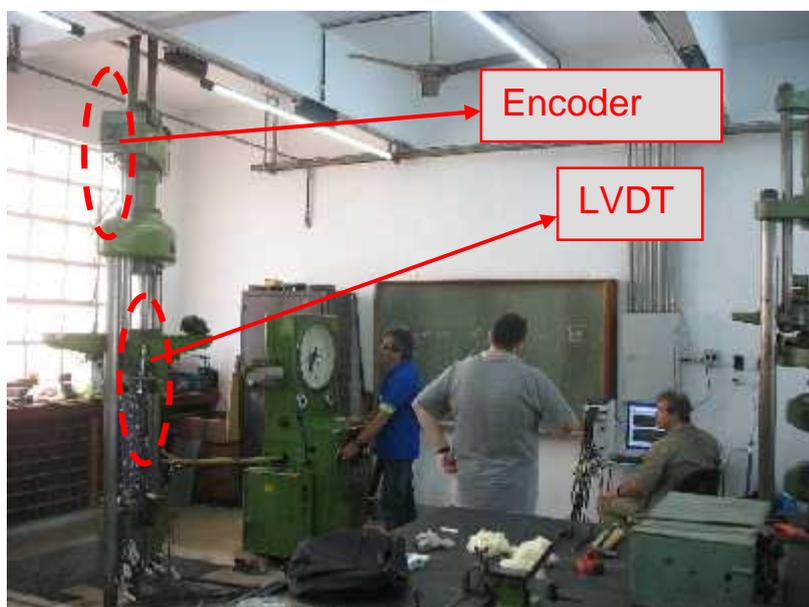


Figura 3.13 – Esquema geral dos ensaios.

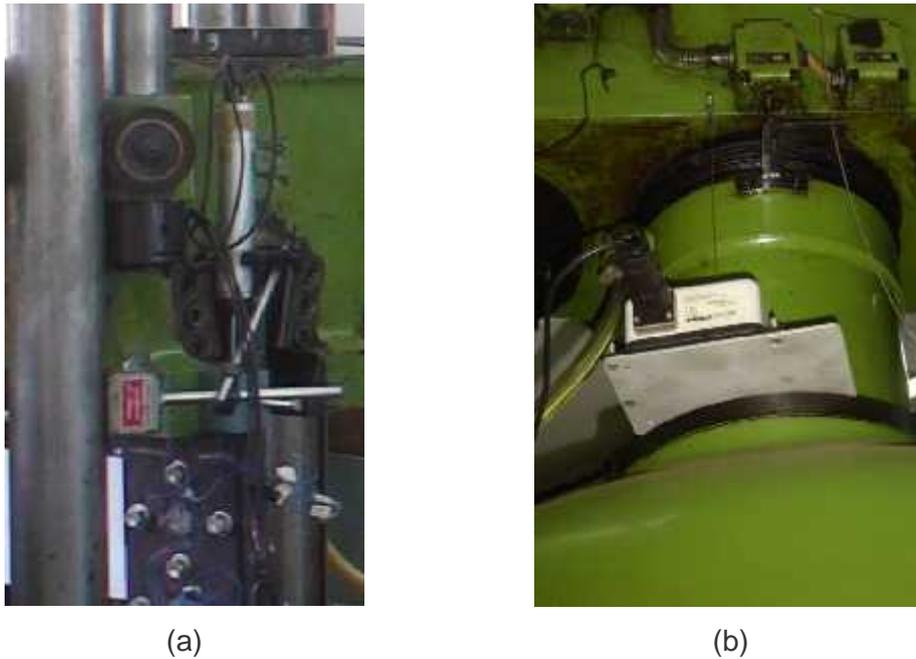


Figura 3.14 – Detalhe do: (a) LVDT, (b) Encoder na máquina de tração.

3.8.3 Sistema de aplicação de força e aquisição de dados

A força a ser aplicada nas ligações aparafusadas foi gerada por uma máquina universal de ensaios Lousenhausen de 600 kN, conforme Figura 3.15.

Para cada ensaio tinha-se disponível, para a leitura das forças aplicadas, a redundância tripla de dois transdutores de pressão instalados na máquina de tração e lidos por dois sistemas digitais independentes de aquisição de força, além de uma leitura visual do mostrador analógico da máquina, como pode ser visto na Figura 3.16.



Figura 3.15 – Máquina universal de ensaios Lousenhausen 600 kN.

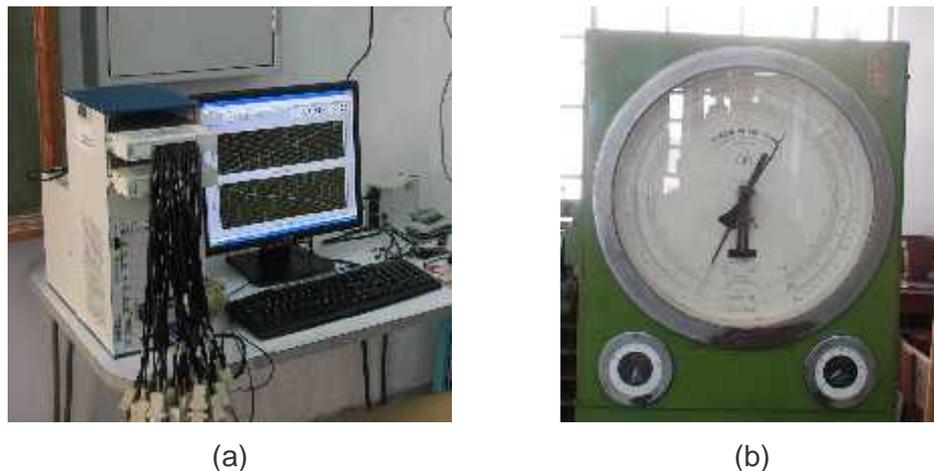


Figura 3.16 – Leitura da força: (a) sistema NI-PXI-1050, (b) analógica.

O sistema de aquisição de dados foi composto por dois computadores com programas de aquisição de dados das empresas National Instruments e Dinateste, para obtenção de leituras redundantes.

Os extensômetros e os transdutores lineares de deslocamento foram calibrados antes do início dos ensaios, garantindo-se o zero da sua leitura inicial.

Depois da ligação montada conforme o esquema da Figura 3.12, o conjunto era colocado na máquina de tração, posicionado e centralizado nas garras, com a ajuda de régua e nível de bolha, e somente após essas etapas as garras eram apertadas.

Devido à largura das placas internas, o mecanismo de abertura de garras original da máquina de ensaio teve de ser retirado, pois impedia o posicionamento correto do conjunto da ligação.

Foram realizadas aplicações de duas ou três cargas e descargas com o objetivo de acomodação dos parafusos na ligação. Essas cargas foram aplicadas em uma velocidade de 2,25 mm/min em temperatura ambiente com níveis correspondentes aos regimes elásticos dos materiais.

As forças foram aplicadas na placa base interna com largura superior em 40% em relação às chapas externas em estudo. O seu comprimento foi variável e dependia do valor do parâmetro s adotado em cada um dos ensaios.

Para acompanhar a deformação específica nas chapas de cada ensaio foram adotados três extensômetros em cada placa, conforme a foto do ensaio E18_C_PL_N_145_15_50, mostrada na Figura 3.17 e vista lateral apresentada

na Figura 3.18. A disposição dos extensômetros adotada está ilustrada na Figura 3.19.

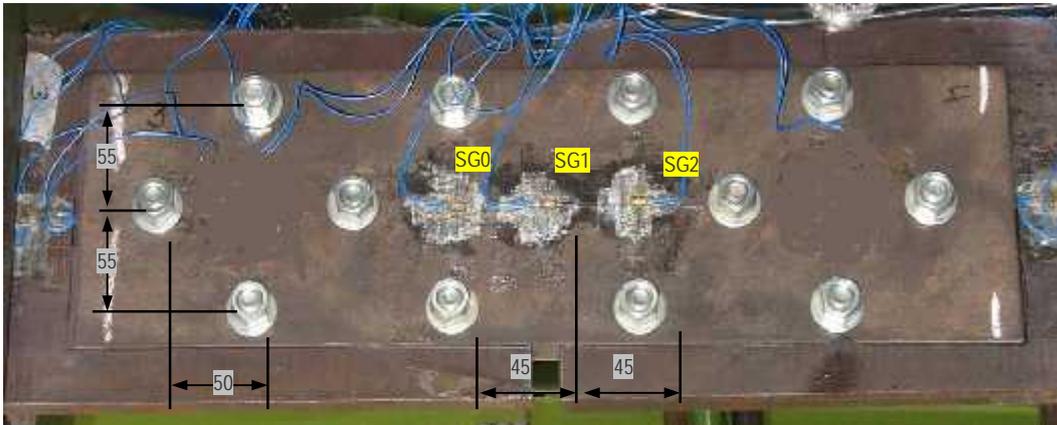


Figura 3.17 – Posicionamento dos extensômetros – E18_C_PL_N_145_15_50.

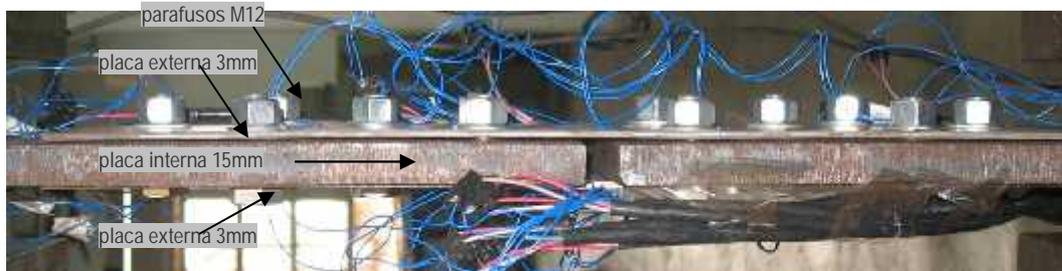


Figura 3.18 – Vista lateral.

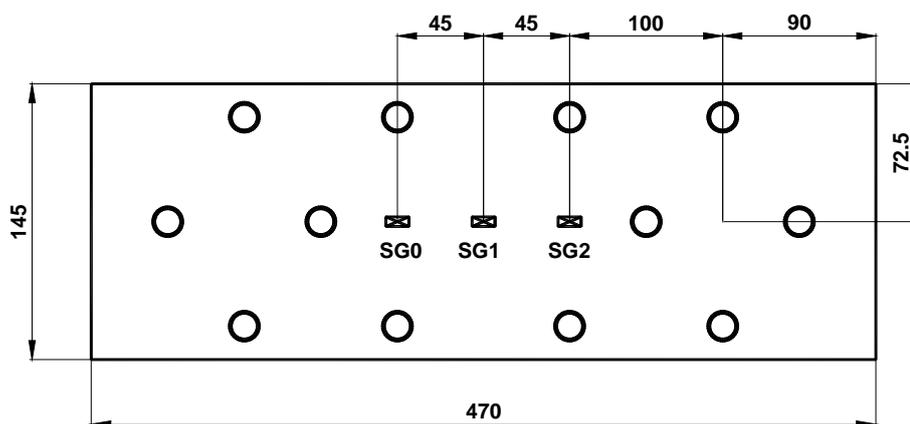


Figura 3.19 – E18_C_PL_N_145_15_50, cotas em mm.

A caracterização da resistência das estruturas aparafusadas alternadas, submetidas à tração é representada basicamente pela curva força *versus* deformação específica e da curva força *versus* deslocamento, que são dados

importantes retirados dos ensaios e usados para a análise das ligações aparafusadas alternadas.

3.8.4 Programação em LabView

Para a visualização e tratamento dos dados foram usados o Programa LabView versão 8.2 da empresa *National Instruments* e o Programa TestView da empresa DINATESTES. Foi criada uma tarefa na qual o computador calculava simultaneamente: os valores da célula de carga, o valor do deslocamento e os valores das deformações específicas. Todos esses valores poderiam ser lidos manualmente ou automaticamente. Optou-se pela leitura automática, ou seja, uma leitura era realizada a cada acréscimo de força no valor de 10 kN, ou a cada aumento de deformação específica de 10^{-5} .

Foi criada uma janela de leitura composta de seis gráficos nos quais apareciam, durante a realização dos ensaios, os valores de carga *versus* deslocamento e carga *versus* deformação de cada extensômetro.

As leituras analógicas da máquina foram comparadas com as lidas pelos sistemas e apresentavam, após a ultrapassagem da calibração em 50 kN, uma defasagem média entre as duas células de carga da ordem de 3%, ou seja, inferior a um erro aceitável de 5%.

3.9

Definição dos ensaios experimentais

Considerando-se os resultados apresentados pelo autor em 2008 (Santos, 2008) e observando-se o menor gasto de material, a capacidade da máquina de tração e o espaço físico para fixação dos corpos de prova, definiu-se um valor máximo da variável $p = 55$ mm. Nessa tese também foi utilizado o valor de $p = 36$ mm, conforme mencionado anteriormente. Também foram escolhidos valores da variável s que caracterizassem, respectivamente, a ruptura da ligação na seção líquida passando por dois furos e a ruptura da ligação na seção líquida passando por três furos, para após determinar um valor da variável s intermediário caracterizando uma ruptura entre esses dois limites anteriores. Ensaio visando determinar a influência da espessura da placa base interna na ligação aparafusada foram realizados. A ligação aparafusada geometricamente invertida também foi analisada, pois nos ensaios realizados pelo autor em 2008,

verificou-se uma concentração de tensões na coluna de parafusos mais próxima do centro da placa. Esse fato levou a uma ruptura inesperada na linha de um parafuso que apresenta maior seção líquida do que na seção líquida de dois parafusos. A influência da direção da laminação da chapa também foi estudada, além de se averiguar o comportamento mecânico da configuração aparafusada defasada constituída de aço carbono e aços inoxidáveis: austenítico, duplex e ferrítico, conforme gráficos dos comportamentos mecânicos apresentados na Figura 3.20.

A variação do espaçamento s entre linhas de parafusos na direção da aplicação da carga, mostrado na Figura 3.21 (a), foi um parâmetro alvo para se avaliar o comportamento da ligação aparafusada.

A variação da espessura da placa interna da ligação aparafusada, mostrada na Figura 3.21 (b), é abordada como um fator determinante no comportamento inesperado na ruptura da ligação aparafusada.

A utilização de larguras diferentes de chapa, conforme apresentado na Figura 3.21 (c), também foi objeto de estudo e foram utilizadas chapas com largura de 145 mm e 107 mm, porém, com espessura de 3 mm.

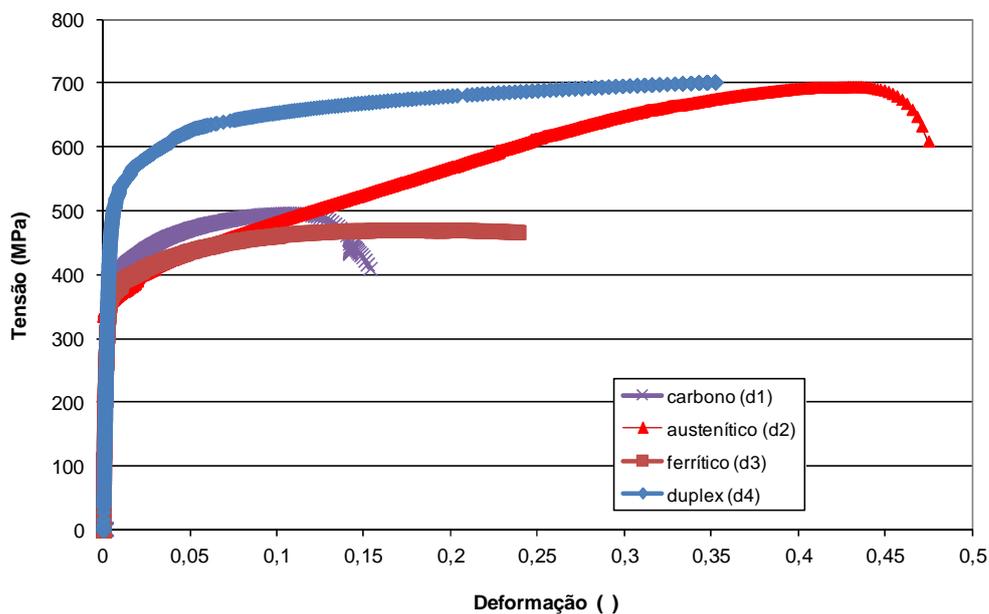
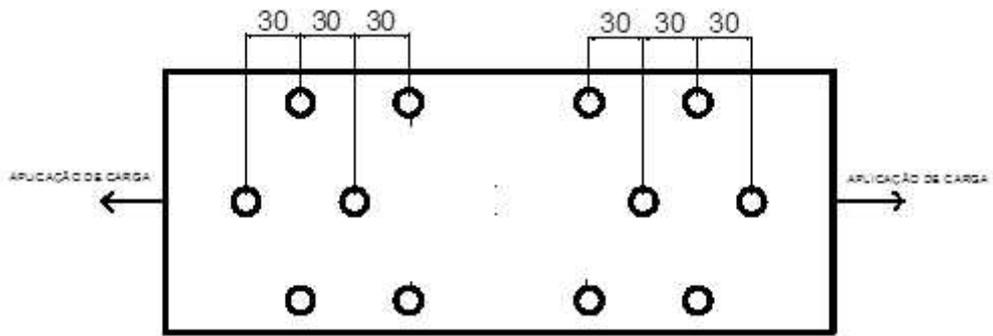


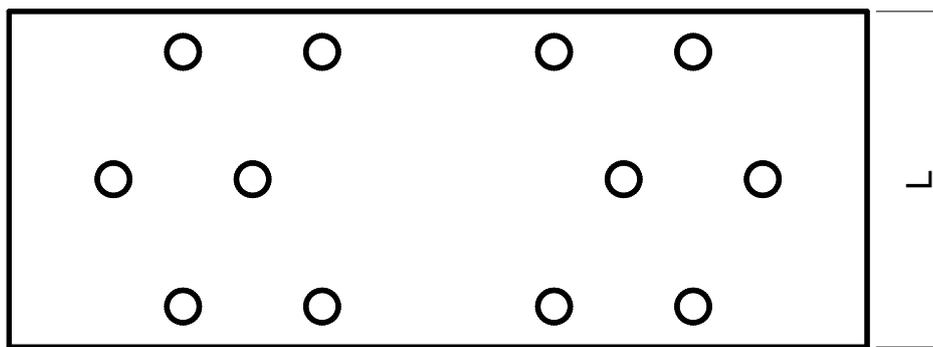
Figura 3.20- (d) – Curva tensão *versus* deformação – aços: austenítico, duplex ferrítico e carbono.



(a) Distância entre furos – parâmetro s .



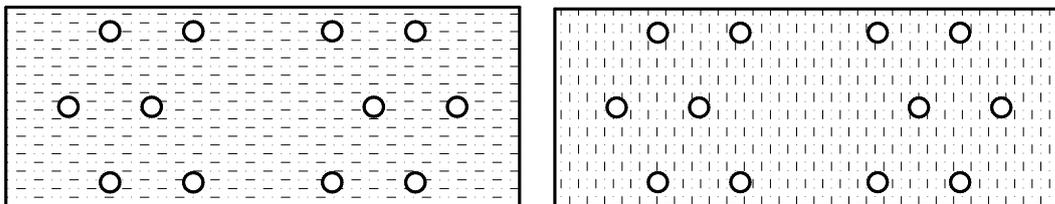
(b) Espessura da placa interna (t_{pi}).



(c) Largura da placa externa.

Figura 3.21 – Parâmetros geométricos investigados.

Ensaio foram executados com a direção do carregamento paralelo e perpendicular a laminação, conforme Figura 3.22.



(a) Paralela, PL

(b) Perpendicular, PP

Figura 3.22 – Laminação das chapas na direção da aplicação da carga.

A execução de ensaios com configuração de parafusos diferentes da convencional, ou seja, tipo A ou geometricamente invertida tipo B mostrada na Figura 3.23 (f2).

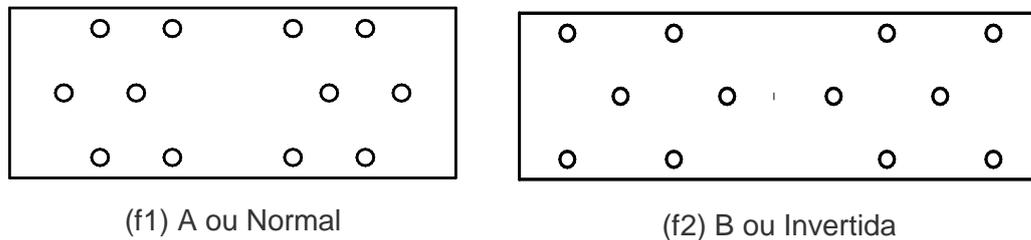


Figura 3.23 – Tipos de configuração das furações.

Todas essas variáveis foram estudadas para um melhor entendimento do comportamento mecânico de uma ligação aparafusada.

3.10 Apresentação dos ensaios experimentais

É apresentada na Tabela 3.7 a nomenclatura dos ensaios experimentais. Os ensaios são apresentados na ordem dos tipos dos aços, ou seja, carbono, austenítico, duplex e ferrítico.

Tabela 3.7 – Nomenclatura dos ensaios

Tipo de aço	Tipo de Laminação	Tipo de Ligação	Largura da chapa L (mm)	Esp. da chapa interna t_{pi} (mm)	Distância entre furos s (mm)
C – carbono	PL – paralela	N – normal	107 mm	6	de 18 mm a 70 mm
A – austenítico	PP – perpendicular	I – invertida	145 mm	8	
D – duplex				10	
F – ferrítico				12	
				15	

Dessa forma foram executados os ensaios apresentados na Tabela 3.8, onde L é a largura da chapa, t_{pi} é a espessura da chapa interna e s é a distância entre parafusos na direção da aplicação da carga.

Tabela 3.8 – Sequência de ensaios experimentais

Detalhamento	Tipo de aço	Direção da laminação.	Tipo de ligação	L mm	t _{pi} mm	s mm
E1_C_PL_N_145_6_25	Carbono	Paralela	Normal	145	6	25
E2_C_PL_N_145_6_28	Carbono	Paralela	Normal	145	6	28
E3_C_PL_N_145_6_30	Carbono	Paralela	Normal	145	6	30
E4_C_PL_N_145_6_30	Carbono	Paralela	Normal	145	6	30
E5_C_PL_N_145_6_35	Carbono	Paralela	Normal	145	6	35
E6_C_PL_N_145_6_35	Carbono	Paralela	Normal	145	6	35
E7_C_PL_N_145_6_40	Carbono	Paralela	Normal	145	6	40
E8_C_PL_I_145_6_50	Carbono	Paralela	Invertida	145	6	50
E9_C_PL_I_145_15_50	Carbono	Paralela	Invertida	145	15	50
E10_C_PL_I_145_15_70	Carbono	Paralela	Invertida	145	15	70
E11_C_PL_N_145_8_30	Carbono	Paralela	Normal	145	8	30
E12_C_PL_N_145_10_30	Carbono	Paralela	Normal	145	10	30
E13_C_PL_N_145_10_30	Carbono	Paralela	Normal	145	10	30
E14_C_PL_N_145_12_30	Carbono	Paralela	Normal	145	12	30
E15_C_PL_N_145_15_30	Carbono	Paralela	Normal	145	15	30
E16_C_PL_N_145_15_30	Carbono	Paralela	Normal	145	15	30
E17_C_PL_N_145_8_50	Carbono	Paralela	Normal	145	8	50
E18_C_PL_N_145_15_50	Carbono	Paralela	Normal	145	15	50
E19_C_PL_N_107_6_25	Carbono	Paralela	Normal	107	6	25
E20_C_PL_N_107_6_28	Carbono	Paralela	Normal	107	6	28
E21_C_PL_N_107_6_30	Carbono	Paralela	Normal	107	6	30
E22_C_PL_N_107_6_50	Carbono	Paralela	6 furos em linha	107	6	50
E23_A_PL_N_145_15_23	Austenítico	Paralela	Normal	145	15	23
E24_A_PL_N_145_15_23	Austenítico	Paralela	Normal	145	15	23

Detalhamento	Tipo de aço	Direção da laminação.	Tipo de ligação	L mm	t _{pi} mm	s mm
E25_A_PL_N_145_15_26	Austenítico	Paralela	Normal	145	15	26
E26_A_PL_N_145_15_30	Austenítico	Paralela	Normal	145	15	30
E27_A_PL_N_145_15_30	Austenítico	Paralela	Normal	145	15	30
E28_A_PL_N_145_15_50	Austenítico	Paralela	Normal	145	15	50
E29_A_PL_N_145_6_26	Austenítico	Paralela	Normal	145	6	26
E30_A_PL_N_145_6_30	Austenítico	Paralela	Normal	145	6	30
E31_A_PL_I_145_6_55	Austenítico	Paralela	Invertida	145	6	55
E32_A_PL_I_145_6_60	Austenítico	Paralela	Invertida	145	6	60
E33_A_PL_I_145_6_60	Austenítico	Paralela	Invertida	145	6	60
E34_A_PL_N_107_6_22	Austenítico	Paralela	Normal	107	6	22
E35_A_PL_N_107_6_24	Austenítico	Paralela	Normal	107	6	24
E36_A_PL_N_107_6_26	Austenítico	Paralela	Normal	107	6	26
E37_A_PP_N_145_6_20	Austenítico	Perpendicular	Normal	145	6	20
E38_A_PP_N_145_6_25	Austenítico	Perpendicular	Normal	145	6	25
E39_A_PP_I_145_8_25	Austenítico	Perpendicular	Invertida	145	8	25
E40_A_PP_I_145_6_30	Austenítico	Perpendicular	Invertida	145	6	30
E41_A_PP_I_145_8_40	Austenítico	Perpendicular	Invertida	145	8	40
E42_A_PP_I_145_8_50	Austenítico	Perpendicular	Invertida	145	8	50
E43_A_PP_I_145_8_60	Austenítico	Perpendicular	Invertida	145	8	60
E44_A_PP_N_107_6_18	Austenítico	Perpendicular	Normal	107	6	18
E45_A_PP_N_107_6_23	Austenítico	Perpendicular	Normal	107	6	23
E46_D_PL_N_145_8_27	Duplex	Paralela	Normal	145	6	27
E47_D_PL_N_145_8_30	Duplex	Paralela	Normal	145	6	30
E48_D_PL_N_107_6_24	Duplex	Paralela	Normal	107	6	24
E49_D_PL_N_107_8_28	Duplex	Paralela	Normal	107	8	28

Detalhamento	Tipo de aço	Direção da laminação.	Tipo de ligação	L mm	t _{pi} mm	s mm
E50_D_PP_I_145_8_40	Duplex	Perpendicular	Invertida	145	8	40
E51_D_PP_I_145_6_50	Duplex	Perpendicular	Invertida	145	8	50
E52_D_PP_I_145_8_50	Duplex	Perpendicular	Invertida	145	8	50
E53_D_PP_I_145_8_60	Duplex	Perpendicular	Invertida	145	8	60
E54_F_PL_N_145_6_27	Ferrítico	Paralela	Normal	145	6	27
E55_F_PL_N_145_6_30	Ferrítico	Paralela	Normal	145	6	30
E56_F_PL_I_145_6_50	Ferrítico	Paralela	Invertida	145	6	50
E57_F_PL_I_145_6_55	Ferrítico	Paralela	Invertida	145	6	55
E58_F_PL_N_107_6_24	Ferrítico	Paralela	Normal	107	6	24
E59_F_PL_N_107_6_28	Ferrítico	Paralela	Normal	107	6	28
* ensaios hachurados realizados no mestrado						

A Tabela 3.8 apresenta os ensaios agrupados. Os ensaios de 1 a 22 foram executados com aço carbono, dentre esses, os ensaios de 1 a 8 variaram o parâmetro s, os ensaios 9 e 10 variaram a configuração geométrica, os ensaios de 11 a 18 variaram a espessura da placa interna e os ensaios de 19 a 22 a largura da chapa.

Os ensaios com o aço inoxidável austenítico são mostrados de 23 a 45, onde os ensaios de 23 a 28, 37, 40 a 42 avaliaram a variação do parâmetro s, os ensaios 25, 26, 29 e 30 a espessura da placa, os ensaios 34 a 36, 44 e 45 a largura da placa, os ensaios 32 e 43 a laminação da chapa e os ensaios 31, 38 e 39 a geometria da ligação.

Os ensaios 46 a 53 foram realizados com o aço inoxidável duplex e desses os ensaios de 46 a 49 avaliaram a variação dos parâmetros s e L, e os ensaios 50 a 53 avaliaram a mudança de geometria e tipo de laminação.

Os ensaios realizados com o aço inoxidável ferrítico foram os ensaios de 54 a 59, sendo que os ensaios 54, 55, 58 e 59 avaliaram a variação dos parâmetros s e L, e os 56 e 57 a variação da geometria da estrutura aparafusada.