

*Desenvolvimento de ferramentas e provetes para o
ensaio Thick Adherend Shear Test (TAST).*

João Francisco Alves Morais

Dissertação submetida para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



19 de novembro de 2013

Relatório da Unidade Curricular de Dissertação do 2º ano do Mestrado em Engenharia
Mecânica

Candidato: João Francisco Alves Morais, Nº, 1070568@isep.ipp.pt

Dissertação realizada sob a supervisão de:

Orientador: Professor Doutor Arnaldo Manuel Guedes Pinto, agp@isep.ipp.pt

Do Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador: Professor Doutor Raul Duarte Salgueiral Gomes Campilho, rds@isep.ipp.pt

Do Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Coorientador: Professor Doutor Francisco José Gomes da Silva, fgs@isep.ipp.pt

Do Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestrado em Engenharia Mecânica
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



19 de novembro de 2013

...à minha família e amigos!

Agradecimentos

Este trabalho só foi possível pela colaboração de várias pessoas e instituições, às quais gostaria de apresentar os meus sinceros agradecimentos:

Ao meu orientador, Professor Doutor Arnaldo Pinto, pela total colaboração, dedicação, compreensão e disponibilidade ao longo de todo o trabalho.

Ao Professor Doutor Raúl Campilho, coorientador desta dissertação, pela ajuda prestada na orientação das metodologias adotadas, bem como toda a informação partilhada, muito útil para a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Francisco Silva coorientador da presente dissertação, pela ajuda na revisão do texto e apoio durante a realização do trabalho, nomeadamente pela ajuda na conceção das ferramentas e dos provetes *TAST*.

Às oficinas de Mecânica do *ISEP* em particular Eng.º Vítor Moreira pela sua enorme disponibilidade e apoio técnico na maquinagem das ferramentas e dos provetes assim como na ajuda com o *software* informático necessário para a conceção e fabrico na maquinagem.

Ao colega Sérgio Pinto por estar presente ao longo de todo o trabalho assim como pela ajuda prestada.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (*ISEP*), pelos meios disponibilizados para o fabrico das ferramentas e dos provetes bem como a realização de ensaios laboratoriais.

Aos meus pais e irmãos, que sempre me apoiaram em todos os momentos.

Aos meus amigos que me apoiaram durante a realização deste trabalho.

Resumo

As estruturas coladas são geralmente projetadas para que o adesivo seja essencialmente sujeito a esforços de corte, pois neste tipo de sollicitação o adesivo apresenta melhores características mecânicas. A avaliação do comportamento ao corte pode ser realizada com o adesivo no estado maciço ou como camada fina em juntas adesivas. Os métodos que permitem avaliar o comportamento ao corte, quer para o adesivo, quer para as juntas, são: o ensaio *Iosipescu* ou *V-Notched beam shear method*, o ensaio de borboleta ou *Notched plate shear method (Arcan)*, o ensaio de torção, o ensaio de tração numa junta de sobreposição simples e o ensaio *Thick Adherend Shear Test (TAST)*. Os ensaios *Arcan* e *Iosipescu*, tal como o ensaio de torção, podem ser realizados em provetes de adesivo maciço ou em juntas. O ensaio de torção é pouco utilizado, porque a aplicação do esforço de corte exige dispositivos e equipamentos de ensaios complexos. Os ensaios *Arcan* e *Iosipescu* utilizam provetes com entalhes e podem introduzir alguma dificuldade na medição precisa das deformações. O ensaio de tração numa junta de sobreposição simples é um dos métodos mais usados para caracterizar uma junta adesiva, porque é um método simples, as juntas são de fácil fabrico e pode ser realizado em máquinas universais de ensaios mecânicos. Neste ensaio os aderentes estão sujeitos a uma sollicitação de tração, enquanto a camada de adesivo está sujeita a esforços de corte combinados com esforços de arrancamento. Os esforços de arrancamento resultam da própria geometria da junta na qual existe um desalinhamento das forças de tração, mesmo quando são colocados calços (reguladores de espessura) nos locais de amarração. O ensaio *TAST* é dos mais populares para obtenção das propriedades ao corte, uma vez que tanto as ferramentas de ensaio como o fabrico dos provetes são relativamente simples. Este ensaio é realizado em junta sendo os substratos espessos e de aço que, devido à sua elevada rigidez, contribuem para um esforço de corte praticamente puro no adesivo.

Neste trabalho realizou-se o projeto e a fabricação das ferramentas, gabarit e substratos necessários para a execução de provetes *TAST* e ensaios utilizando diferentes adesivos.

Palavras-Chave

Ligações, juntas adesivas, ensaios experimentais e o ensaio *Thick Adherend Shear Test (TAST)*.

Abstract

Bonded structures are usually designed so that the adhesive is primarily loaded in shear, because in this type of load the adhesive displays superior mechanical characteristics. The shear behavior evaluation can be performed with the adhesive in bulk or as a thin layer in adhesive joints. The methods that allow to evaluate the shear performance either in bulk or joint are: the *Iosipescu* test or *V-Notched beam shear method*, the butterfly test or *Notched plate shear method (Arcan)*, the torsion test, the tensile test in a single lap joint and the *Thick Adherend Shear Test (TAST)*. The *Arcan* and *Iosipescu* tests, as well as the torsion test, can be performed in bulk specimens or in joints. The torsion test is little used as the shear strength application requires complex equipment and test devices. The *Arcan* and *Iosipescu* tests use adherends with indentation, which can produce difficulties in the strain measurement. The traction test in a simple overlap joint is the most common method used to characterize adhesive joints, as it is a simple method, the joints are easily manufactured and it can be performed in any universal mechanical tests machine. In this test, the adherend is subjected to tensile stress, while the adhesive layer is undergoing combined shear and peel stress. The peel stress results from the inherent joint geometry, where a misalignment of the tensile stresses, even when shims are positioned (thickness regulators) in the machine grips. The *TAST* is one of the most popular tests for the determination of shear properties, being the test tools as well as the adherends manufacturing relatively easy. This test is performed in joints where the steel and the thick substrates, due to their high hardness, contribute to an essentially pure shear of stress in the adhesive.

In this work, the necessary tools, mold and substrates for the *TAST* test were designed and manufactured. The tools were used to test different adhesives.

Keywords

Adhesive Bonding, adhesive joints, experimental tests and *Adherend Thick Shear Test (TAST)*.

Índice

ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABELAS.....	XV
NOMENCLATURA	XVII
ABREVIATURAS.....	XIX
1. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	1
1.1 MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	1
1.2 CALENDARIZAÇÃO	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 INTRODUÇÃO.....	5
2.2 ADESIVOS.....	10
2.2.1. <i>Introdução.....</i>	<i>10</i>
2.2.2. <i>Requisitos para uma boa colagem.....</i>	<i>11</i>
2.2.3. <i>Propriedades dos adesivos</i>	<i>13</i>
2.3 ANÁLISE DE JUNTAS ADESIVAS.....	16
2.3.1. <i>Esforços numa ligação adesiva</i>	<i>16</i>
2.3.1.1. <i>Esforços de tração e compressão</i>	<i>17</i>
2.3.1.1. <i>Esforços de corte.....</i>	<i>18</i>
2.3.1.2. <i>Esforços de clivagem e arrancamento.....</i>	<i>18</i>
2.3.2. <i>Tipos de junta.....</i>	<i>20</i>
2.3.3. <i>Modos de rotura.....</i>	<i>21</i>
2.4 ENSAIOS DE CORTE.....	22
2.4.1. <i>Introdução.....</i>	<i>22</i>
2.4.2. <i>Junta de sobreposição simples (JSS).....</i>	<i>23</i>

2.4.3.	<i>Ensaio Iosipescu ou V-Notched beam shear method</i>	25
2.4.4.	<i>Ensaio de torção ou napkin-ring test</i>	26
2.4.5.	<i>Ensaio de borboleta ou Notched plate shear method (Arcan)</i>	28
2.4.6.	<i>Thick Adherend Shear Test, TAST</i>	30
2.4.6.1.	<i>Ensaio TAST modificado</i>	35
2.4.7.	<i>Comparação entre os métodos para obtenção de propriedades de corte.</i>	37
3.	TRABALHO EXPERIMENTAL	39
3.1	INTRODUÇÃO AO TRABALHO PRÁTICO	39
3.2.1.	<i>Introdução</i>	40
3.2.2.	<i>Maquinagem e comando numérico</i>	41
3.2.2.1.	<i>Software para o desenvolvimento e simulação CAE</i>	42
3.2.2.2.	<i>Softwares para maquinagem CAD/CAM</i>	43
3.2.3.	<i>Metodologia</i>	43
3.2.4.	<i>Considerações sobre as peças</i>	44
3.2.4.1.	<i>Material</i>	45
3.2.4.2.	<i>Provetes de TAST</i>	48
3.2.4.2.1.	<i>Gabarit para os provetes de TAST</i>	49
3.2.4.2.2.	<i>Material para o gabarit</i>	50
3.2.4.3.	<i>Ferramentas de ligação a máquina de tração</i>	51
3.2.4.3.1.	<i>Simulação da resistência</i>	52
3.2.4.3.2.	<i>Material para acoplamento à máquina de tração</i>	55
3.2.5.	<i>Estratégia de maquinagem</i>	56
3.2.5.1.	<i>Preparação dos blocos</i>	56
3.2.5.2.	<i>Sequência de maquinagem</i>	58
3.2.5.3.	<i>Preparação dos blocos/ Varão</i>	65
3.2.5.4.	<i>Definição dos parâmetros de maquinagem</i>	66
3.3	DETALHES EXPERIMENTAIS	68
3.3.1.	<i>Introdução</i>	68
3.3.2.	<i>Propriedades dos Adesivos</i>	68
3.3.2.1.	<i>Adesivo Araldite® AV138 da HUNTSMAN®</i>	68
3.3.2.2.	<i>Adesivo Araldite® 2015 da HUNTSMAN®</i>	70

3.3.2.3. Adesivo 7888 L10 (VP) da SikaForce®	71
3.3.2.4. Preparação das amostras	72
3.3.2.5. Número de amostras	73
3.3.2.6. Condições e procedimento experimental	74
3.3.2.6.1. Tratamento mecânico da superfície	74
3.3.3. Resultados dos ensaios TAST.....	80
3.3.3.1. Adesivo Araldite® AV138/HV 988	82
3.3.3.2. Propriedades do adesivo Araldite® AV138/HV988.....	84
3.3.3.3. Adesivo Araldite® 2015.....	85
3.3.3.4. Propriedades do adesivo Araldite® 2015	87
3.3.4. Adesivo SikaForce® 7888 L10 (VP).....	87
3.3.4.1. Propriedades do adesivo Sikaforce® 7888	89
3.3.1. Comparação dos resultados dos ensaios dos adesivos.....	90
4. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS.....	93
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	97
ANEXO A. FERRAMENTAS	103
ANEXO B. FERRAMENTAS DE MAQUINAGEM	113
ANEXO C. PARÂMETROS DE MAQUINAGEM.....	117
ANEXO D. ADESIVO ARALDITE® AV138/HV998.....	123
ANEXO E. ADESIVO ARALDITE® 2015	129
ANEXO F. ADESIVO SIKA FORCE® 7888.....	133

Índice de Figuras

Figura 1 - Partes ligadas por adesivo na aeronave <i>Fokker F27-Friendship</i> [2].	5
Figura 2 - Distribuição da tensão em juntas rebitadas e coladas [3].	7
Figura 3 - Representação esquemática das ligações adesivas [5].	9
Figura 4 - Principais disciplinas [6].	11
Figura 5 - Tipos básicos de carregamento em juntas adesivas (adaptação a partir da ref. [3]).	16
Figura 6 - Distribuição de tensão numa junta topo a topo sob carregamento não axial [3].	17
Figura 7 - Distribuição da tensão de corte [5].	18
Figura 8 - Distribuição das tensões de clivagem e de arrancamento [5].	19
Figura 9 - Tipos de junta mais comum [3].	20
Figura 10 - JSS e forças de carregamento [7].	20
Figura 11 - Modos de rotura em juntas coladas de sobreposição simples.	21
Figura 12 - Geometria da junta de sobreposição simples <i>ASTM D1002</i> (dimensões em mm) [3].	24
Figura 13 - Carregamento e geometria do provete para o ensaio <i>Iosipescu</i> (dimensões em mm) [16].	25
Figura 14 - Exemplo de provete para ensaio de <i>napkin-ring</i> [3].	26
Figura 15 - Exemplo de equipamento de torção e Provete de ensaio (dimensões em mm) [15].	27
Figura 16 - Provete e respetivas fixações para o ensaio <i>Arcan</i> [12].	28
Figura 17 - Provete <i>Arcan</i> (dimensões em mm) [3].	29
Figura 18 - Geometria e dimensões (em mm) do provete <i>TAST</i> (a), Extensómetro (<i>LVDT</i>), segundo <i>ISO 11003-2</i> (b) [19].	31
Figura 19 - Medição dos deslocamentos no ensaio de <i>TAST</i> (adaptado da ref. ^a . [3]).	32

Figura 20 - Organigrama do processamento de correlação de imagem [17].....	33
Figura 21 - Comparação entre o ensaio de <i>TAST</i> e o <i>TAST</i> modificado (adaptado da ref. [30])......	36
Figura 22 - Geometria e sistema de fixação de ligações adesivas. sistema de fixação a), amostra sem quebra b) e utilização de quebra e de bordos limpos c) (adaptado da ref. [32])......	36
Figura 23 - a) Máquina de tração <i>Shimadzu</i> ; b) Ferramentas de ligação.	39
Figura 24 - Fluxo segundo STEP.	41
Figura 25 - Centro de maquinagem (<i>HAAS VF2</i>) presente nas Oficinas mecânicas do ISEP.	42
Figura 26 - Diagrama TRC (CCT) para o aço DIN Ck45 (tempera a 850°C) (adaptado da ref ^a . [41]).	47
Figura 27 - Provete <i>TAST</i> , segundo <i>ISO 11003-2</i> (dimensões em mm).....	48
Figura 28 - Desenho do gabarit usado para o alinhamento de provetes.	49
Figura 29 - Foto do gabarit usado para o alinhamento de provetes.....	49
Figura 30 - a) Exemplo do dispositivo para ensaiar o substrato numa máquina de ensaio de tração; b) Exemplo CAD do dispositivo	51
Figura 31 - Dispositivo para ensaiar o substrato numa máquina de ensaio de tração a); Desenho do dispositivo b).	52
Figura 32 - Representação da malha para a simulação da peça.....	53
Figura 33 - Direção da força no eixo dos <i>yy</i> e sentido positivo.	53
Figura 34 - Distribuição de tensões na peça.	54
Figura 35 - Distribuição de deformações na peça.	54
Figura 36 - Velocidade de corte torneamento [45].....	66
Figura 37 - Velocidade de avanço torneamento [45].	67
Figura 38 - Velocidade de avanço fresagem [45].....	67
Figura 39 - Adesivo <i>Araldite</i> [®] AV138 da <i>HUNSTMAN</i> [®]	68

Figura 40 - Curvas Tensão/Deformação do adesivo Araldite® AV138 [46].....	69
Figura 41 - Adesivo Araldite® 2015.....	70
Figura 42 - Adesivo SikaForce®7888.....	71
Figura 43 - Recomendações do fabrico dos provetes de TAST [26].....	72
Figura 44 - Design provete de TAST (a) e geometria do provete de TAST após colagem (b).	73
Figura 45 - Limpeza do gabarit com o auxílio da lixa e acetona.....	74
Figura 46 - Grenalhadora CIDBLAST, modelo:RT6S.....	75
Figura 47 - Forno elétrico DELONGHI.....	75
Figura 48 - Aplicação do desmoldante.....	76
Figura 49 - Colagem dos provetes com o adesivo Araldite® 2015.....	76
Figura 50 - Pistola de accionamento manual para aplicação do adesivo Araldite® 2015. .	77
Figura 51 - Pistola de ar comprimido para aplicação do adesivo Sikaforce® 7888.....	77
Figura 52 - Substrato colocado no gabarit com adesivo e lâmina espaçadora.	77
Figura 53 - Lâmina para limitar comprimento de sobreposição.....	78
Figura 54 - Substratos após colagem, remoção das lâminas e do excesso de adesivo.	78
Figura 55 - Fixação da ferramenta nas maxilas da máquina de tração (a) e o pormenor da colocação do extensómetro no provete TAST (b).....	79
Figura 56 - Provetes ensaiados com adesivo Araldite® AV138-Série2.....	82
Figura 57 - Curvas tensão-deformação dos provetes de TAST Araldite® AV138/HV988 ..	83
Figura 58 - Comparação das curvas tensão-deformação com correção TAST AV138.....	84
Figura 59 - Aspeto da rotura nos provetes de TAST com adesivo Araldite® 2015.....	85
Figura 60 - Provetes ensaiados com adesivo Araldite® 2015.....	85
Figura 61 - Curvas tensão-deformação dos provetes de TAST 2015.....	86
Figura 62 - Comparação da curva tensão-deformação com a correção TAST 2015.....	86
Figura 63 - Provetes ensaiados com adesivo Sikaforce® 7888.....	88

Índice de figuras

- Figura 64 - Aspeto da rotura coesiva do provete de *TAST* com adesivo *Sikaforce*[®] 7888.. 88
- Figura 65 - Curvas tensão-deformação de corte dos provetes de *TAST Sikaforce*[®]7888.... 88
- Figura 66 - Comparação das curvas tensão-deformação com correção *Sikaforce*[®]7888. ... 89
- Figura 67 - Comparação das curvas tensão-deformação dos adesivos ensaiados. 90

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Calendarização do projeto.....	2
Tabela 2 - Comparação de propriedades entre juntas mecânicas e juntas coladas [4].	8
Tabela 3 - Fatores que influenciam a escolha do adesivo [6].....	12
Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos cinco adesivos amplamente utilizados [3, 6].	14
Tabela 5 - Propriedades dos cinco adesivos amplamente utilizados [2, 6].	15
Tabela 6 - Vantagens e desvantagens de juntas de sobreposição simples [12, 3].	24
Tabela 7 - Vantagens e desvantagens do ensaio <i>Iosipescu</i> [3, 12].....	26
Tabela 8 - Vantagens e desvantagens do ensaio torção [3, 12].	27
Tabela 9 - Vantagens e desvantagens do ensaio <i>Arcan</i> [3, 12].	29
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens do ensaio <i>TAST</i> [3, 12].	34
Tabela 11 - Comparação entre os métodos de tensão de corte [12].	37
Tabela 12 - Comparação entre os métodos de tensão de corte (continuação) [12].	38
Tabela 13 - Constituição do aço AISI 1045 [36, 34].....	45
Tabela 14 - Propriedades do aço AISI 1045 [36, 37].	45
Tabela 15 - Tratamento térmico [36, 37].....	46
Tabela 16 - Análise de tensões e deslocamentos.	55
Tabela 17 - Preparação da base (gabarit).....	58
Tabela 18 - Preparação das barras laterais.....	60
Tabela 19 - Preparação dos provetes de <i>TAST</i>	61
Tabela 20 - Preparação das ferramentas ligação máquina.....	63
Tabela 29 - Propriedades elásticas e plásticas do adesivo <i>Araldite</i> [®] AV138 [46].	69
Tabela 30 - Propriedades elásticas e plásticas do adesivo <i>Araldite</i> [®] 2015 [48].....	70
Tabela 31 - Propriedade do adesivo <i>SikaForce</i> [®] 7888 [50].	71
Tabela 32 - Propriedades obtidas do adesivo <i>Araldite</i> [®] AV138/HV988.....	84
Tabela 33 - Propriedades do adesivo <i>Araldite</i> [®] 2015.....	87
Tabela 34 - Propriedades do adesivo <i>Sikaforce</i> [®] 7888.....	89
Tabela 35 - Propriedades elásticas e plásticas dos adesivos.....	92

Nomenclatura

Notação Principal

τ_{\max}	–	<i>Tensão de corte</i>
δ	–	<i>Deslocamento</i>
G	–	<i>Módulo de corte</i>
G_{Ic}	–	<i>Taxa de libertação de energia em modo I</i>
G_{IIc}	–	<i>Taxa de libertação de energia em modo II</i>
E	–	<i>Módulo de Young</i>
t	–	<i>Espessura</i>
F	–	<i>Força</i>
L	–	<i>Comprimento de sobreposição</i>
HB	–	<i>Dureza Brinell</i>
mm	–	<i>Milímetros</i>
b	–	<i>Largura</i>
S_c	–	<i>Área Colada</i>
τ_r	–	<i>Tensão de rotura de corte</i>
τ_y	–	<i>Tensão de cedência de corte</i>
γ_f	–	<i>Deformação de corte</i>
e_A	–	<i>Espessura da camada de adesivo</i>
z	–	<i>Número de navalhas</i>
h	–	<i>Comprimento do flanco</i>
V_c	–	<i>Velocidade de corte</i>
D_c	–	<i>Diâmetro de corte</i>
N	–	<i>Número de rotações por minuto</i>
V_f	–	<i>Velocidade de avanço</i>
f	–	<i>Avanço</i>
f_n	–	<i>Avanço por rotação</i>
Z_n	–	<i>Número de dentes</i>
f_z	–	<i>Avanço por dente</i>

Abreviaturas

JSD	–	<i>Junta Sobreposição Dupla</i>
JSS	–	<i>Junta Sobreposição Simples</i>
TAST	–	<i>Thick Adherend Shear Test</i>
ARCAN	–	<i>Notched Plate Shear Method</i>
LVDT	–	<i>Linear Variable Differential Transformer</i>
FEA	–	<i>Análise de Elementos Finitos</i>
CAE	–	<i>Computer Aided Engineering Analysis</i>
CAD	–	<i>Computer Aided Design</i>
CAM	–	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CNC	–	<i>Computerized Numerical Control</i>
Máx.	–	<i>Máximo</i>
Mín.	–	<i>Mínimo</i>
Rpm	–	<i>Rotações por minuto</i>
LEM	–	<i>Laboratório de Ensaios mecânicos</i>
ISEP	–	<i>Instituto Superior de Engenharia do Porto</i>
ISO	–	<i>Internacional Standard Organization</i>
ASTM	–	<i>American Society for Testing and Materials</i>
DIN	–	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
AISI	–	<i>American Iron and Steel Institute</i>
Fe	–	<i>Ferro</i>
C	–	<i>Carbono</i>
Si	–	<i>Silício</i>
Mn	–	<i>Manganês</i>
PTFE	–	<i>Politetrafluoretileno</i>
Ref.	–	<i>Referência</i>
TRC	–	<i>Taxa de arrefecimento continua</i>

1. Motivação e objetivos da dissertação

1.1 Motivação e objetivos da dissertação

As ligações adesivas ocupam um papel relevante no domínio dos processos de ligação. A utilização de juntas coladas em aplicações industriais tem vindo a acentuar-se nos últimos anos, particularmente nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, de defesa, automóvel e outras.

Algumas razões que justificam a sua expansão são, de uma forma geral, a facilidade de realização, maiores cadências de produção, menores custos, facilidade em unir materiais diferentes, melhor resistência à fadiga que as ligações tradicionais, elevada capacidade de amortecimento de vibrações e menor concentrações de tensões.

As ligações adesivas podem estar sujeitas a quatro modos fundamentais de carregamento: corte, tração, arrancamento e clivagem. Qualquer combinação ou variação destes pode ser encontrada na prática. Contudo, as juntas são geralmente mais resistentes quando solicitadas ao corte e, por este motivo, são geralmente projetadas de forma a que o adesivo seja essencialmente sujeito a este tipo de esforços. Compreendendo-se assim a importância de conhecer as propriedades ao corte dos adesivos.

Existem vários métodos para caracterizar os adesivos ao corte mas o ensaio TAST é uma das metodologias mais utilizadas. Assim, a principal motivação para este trabalho, foi dotar o Laboratório de Ensaio Mecânicos (LEM) do Departamento de Engenharia Mecânica (DEM) do ISEP, dos dispositivos necessários para a realização de ensaios TAST. Para a realização deste trabalho foram definidos os seguintes objetivos:

- Projeto e fabricação dos substratos necessários para os provetes TAST;
- Projeto e fabrico do gabarit que garanta o correto alinhamento dos substratos e permita, se necessário, efetuar a cura do adesivo sob pressão e temperatura;

- Projeto e fabrico de uma ferramenta adequada para o ensaio dos provetes TAST na máquina de ensaios de tração existente no LEM;
- Realização de ensaios TAST utilizando adesivos estruturais com comportamentos mecânicos distintos.

1.2 Calendarização

Para alcançar os objetivos anteriores definidos para este trabalho foi elaborada a calendarização apresentada na Tabela 1.

Tabela 1- Calendarização do projeto.

Tarefa	Ano:	Mês	Janeiro					Fevereiro				Março				Maio				Junho				Julho					Agosto				Setembro			
	2013	Semana	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Revisão bibliográfica, conceção dos desenhos técnicos																																			
2	Fabrico dos dispositivos para o ensaio TAST																																			
3	Ensaio TAST																																			
4	Análise dos resultados																																			
5	Elaboração da tese																																			

1.3 Organização do relatório

Neste **primeiro capítulo**, são definidos os objetivos do trabalho e também os temas abordados em cada capítulo desta dissertação.

No **capítulo dois** definem-se conceitos fundamentais sobre os temas abordados no contexto das ligações adesivas, tais como as suas propriedades; vantagens e desvantagens da escolha dos adesivos, de maior utilização. Apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os tipos de adesivos, diferentes formas de os classificar, os processos de preparação de superfícies poliméricas para a ligação adesiva. Caracterizando-se ainda abordagem dos diferentes modos de rotura, os esforços e dando maior ênfase aos modos de rotura ao corte.

No **Capítulo três** apresenta-se a preparação e conceção das ferramentas e dos provetes e apresentam-se também a preparação, dos adesivos a ensaiar e os resultados experimentais obtidos dos ensaios e avaliar as suas propriedades ao corte.

No **Capítulo quatro** tiram-se algumas conclusões e sugestões para futuros trabalhos, onde irá ser feita uma apreciação global sobre o trabalho realizado e referência aos aspetos que poderiam ser mais aprofundados em futuros trabalhos.

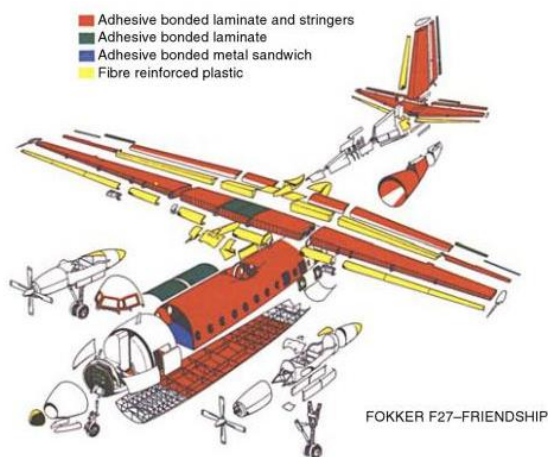
Apresenta-se ainda a bibliografia onde é feita a referência a obras e catálogos utilizados na elaboração deste relatório, são apresentados os anexos dos parâmetros de maquinagem e ferramentas e também as fichas técnicas dos adesivos utilizados e as informações técnicas para execução dos substratos e das ferramentas necessárias para a realização dos ensaios segundo a norma *ISO 11003-2*.

2. Revisão bibliográfica

2.1 Introdução

As indústrias aeronáuticas e navais têm sido as principais responsáveis pelo desenvolvimento de juntas adesivas estruturais. Estas têm vindo progressivamente a substituir ligações convencionais, tais como ligações aparafusadas, ligações rebitadas, brasagem e soldadura [1].

Há atualmente um grande interesse na aplicação de ligações coladas porque apresentam vantagens significativas em relação a outros tipos de ligações, tais como economia de peso, boa resistência à fadiga, resistência à corrosão e boa aparência. O crescimento deste tipo de ligação está diretamente associado ao desenvolvimento de adesivos cada vez mais fiáveis e com melhores propriedades de durabilidade. A confiança neste tipo de ligações permitiu que, por exemplo, a indústria aeronáutica tenha aumentado a utilização de ligações adesivas em estruturas primárias. Porém, existem limitações a ter em conta como, entre outros, a necessidade de preparação das superfícies e a temperatura de funcionamento limitada.



Um dos exemplos da aplicação de adesivos com maior êxito foi o avião *Fokker F27/F50 Friendship* [2], Figura 1, em que mais de 70% da sua estrutura era ligada por adesivos.

Figura 1 - Partes ligadas por adesivo na aeronave *Fokker F27-Friendship* [2].

É possível identificar três fases distintas na formação de uma junta adesiva. Inicialmente o adesivo deve estar na fase líquida de modo a espalhar-se facilmente na superfície e criar um bom contacto molecular entre os substratos. Em segundo lugar, de modo a que a ligação adesiva suporta as cargas aplicadas em serviço, o adesivo líquido deve endurecer. No caso de adesivos usados em aplicações de engenharia, o adesivo está inicialmente sob a forma de monómero que polimeriza originando um adesivo polimérico de grande peso molecular. Por último, é preciso perceber que a capacidade de suportar cargas e o tempo de vida da junta são afetados por alguns fatores, como o projeto da junta, a forma como as forças são aplicadas e o meio ambiente a que a junta vai estar sujeita [3].

Na necessidade de reduzir o peso dos automóveis, reduzindo os consumos e aumentando as velocidades, recorreu-se ao uso de materiais mais leves como por exemplo, o alumínio ou os plásticos reforçados com fibras. Estes materiais são difíceis de ligar pelos métodos tradicionais sendo, no entanto, eficientemente ligados recorrendo a adesivos. A utilização de ligações adesivas estruturais tem aumentado significativamente devido, evidentemente, às suas vantagens como por exemplo [3]:

- Distribuição mais uniforme de tensões como se pode notar na Figura 2;
- Materiais flexíveis permitem um melhor amortecimento de vibrações;
- Melhor resistência à fadiga;
- Uma boa opção na ligação de diferentes materiais;
- Pode funcionar como isolante eliminando assim a corrosão galvânica que pode ocorrer entre metais diferentes;
- Tornam o projeto mais flexível;
- Diminuem o número de componentes a utilizar;
- O adesivo simplifica a ligação de superfícies com formas irregulares, produzindo uma montagem mais leve, com pouca ou nenhuma alteração nas dimensões ou geometria das peças;
- Nas ligações adesivas não há alterações estruturais, as propriedades dos materiais geralmente não se alteram, já no processo de soldadura a temperatura altera as propriedades das peças;
- Estruturas regulares (evitam furos e cordões de soldadura);
- Reduzem os custos na produção;

- Tendem a ser mais rápidos e mais económicos.

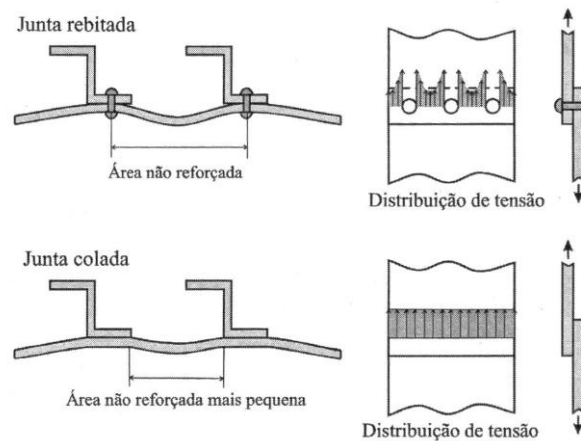


Figura 2 - Distribuição da tensão em juntas rebetadas e coladas [3].

Contudo, como na maioria dos processos também tem as suas limitações, sendo estes por exemplo [3]:

- Na fase de projeto deve-se ter em consideração as forças de arrancamento, clivagem e impacto, a melhor solução de colmatar esse problema é conceber uma ligação adesiva que esteja sujeita a tensões de corte;
- É importante usar geometrias que evitem tensões localizadas e que garantam uma distribuição uniforme de tensões;
- Muitos adesivos apresentam limitada resistência a condições extremas, tais como a temperatura e humidade;
- A ligação não é normalmente realizada instantaneamente, o que precisa de ferramentas de fixação para manter as peças em posição;
- Para uma boa adesão e durabilidade é necessário uma prévia preparação das superfícies;
- Os adesivos são normalmente curados a altas temperaturas;
- O controlo de qualidade e segurança são mais difíceis, embora tenham sido desenvolvidas recentemente técnicas não destrutivas adequadas;
- Um dos grandes problemas da utilização mais frequente de adesivos estruturais é o facto de não haver um critério de dimensionamento universal que permite projetar qualquer estrutura.

A Tabela 2 apresenta também uma comparação de algumas propriedades, entre as juntas mecânicas e as juntas coladas por adesivo.

Tabela 2 - Comparação de propriedades entre juntas mecânicas e juntas coladas [4].

<u>Propriedades</u>	<u>Junta Mecânica</u>	<u>Junta colada</u>
Tempo de fabrico	Várias etapas, montagem da junta rápida	Poucas etapas, longo processo de cura
Preparação da superfície	Mínima	Extensiva, crítica
Secções finas	Pode não ser possível	Pode ser realizado
Peso da junta	Pesado	Leve
Aspetos externos da superfície	Saliências	Pode ser lisa
Limitações da temperatura	Baixa	Alta
Dificuldade para inspecionar	Fácil	Difícil
Problemas com o meio ambiente	Pode ter corrosão galvânica	Sensibilidade ao solvente
Penetração de humidade	Sem resistência	Auto Vedante
Concentração de tensões	Significativas	Podem ser muito baixas
Carregamentos de longa duração	Efeitos de Relaxamento e de fadiga	Fluência
Sensibilidade às forças de arrancamento	Resistente	Suscetível
Sensibilidade às forças de tração	Suscetível	Resistente
Amortecimento de vibrações	Sem amortecimento	Amortecimento intrínseco
Impacto na saúde e segurança	Corte, perfuração, temperatura	Solvente, temperatura

Os adesivos estruturais são muito fortes em corte mas fracos quando as tensões de arrancamento estão presentes sendo, assim, de realçar a importância em projetar as juntas de modo a que estas tensões sejam minimizadas.

A ligação adesiva está dependente de diversos fatores entre quais pode-se destacar as forças envolvidas na adesão, os adesivos, o material dos substratos e os processos para preparação da superfície. Por fim, é necessário realizar ensaios com juntas adesivas ou

sobre os próprios adesivos para determinar as suas propriedades [5]. Estes fatores estão esquematizados na Figura 3.

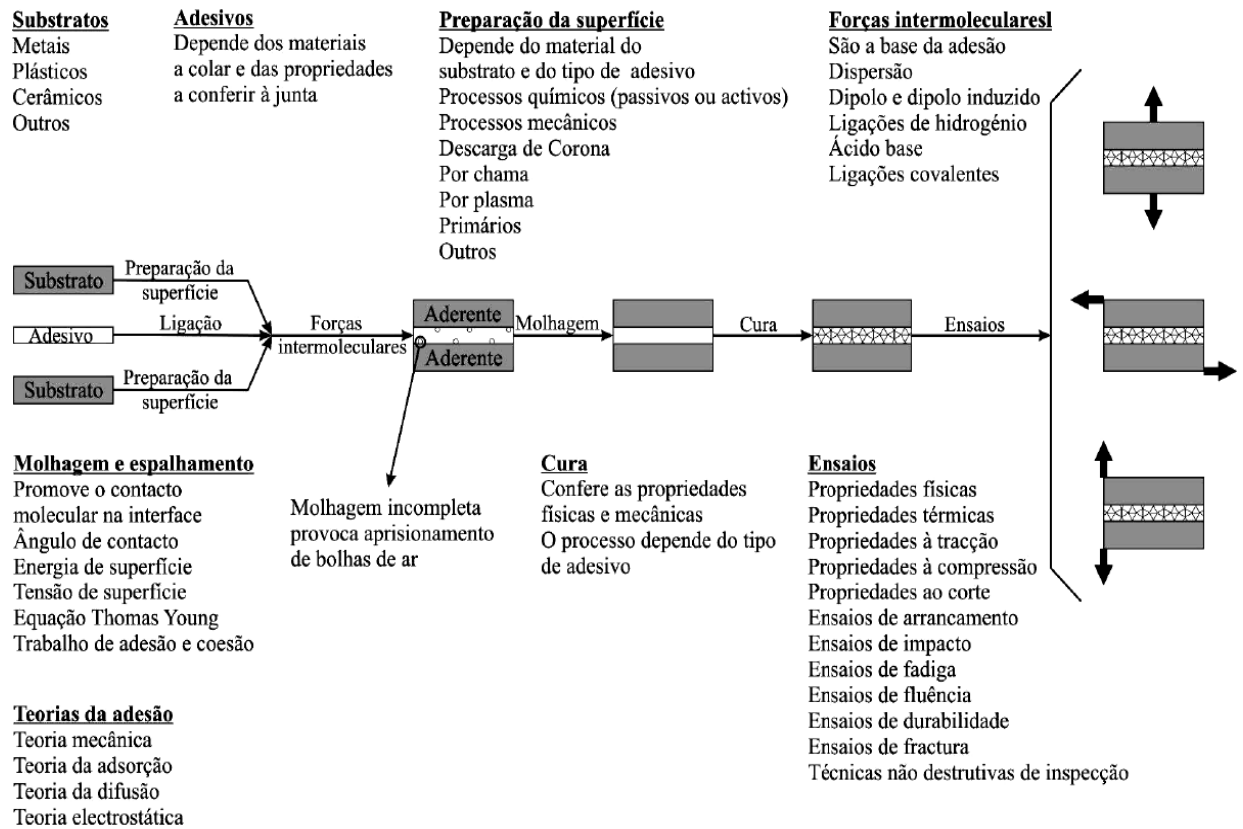


Figura 3 - Representação esquemática das ligações adesivas [5].

2.2 Adesivos

2.2.1. Introdução

Os adesivos têm sido usados desde há muitos séculos. No entanto, este método de ligação só evoluiu significativamente nos últimos 60 anos. Os polímeros sintéticos, que são usados para aplicações técnicas, possuem propriedades que lhes permitem aderir a maioria dos materiais e apresentam uma resistência capaz de transmitir esforços consideráveis [3].

Os polímeros são geralmente usados como uma barreira ou um meio de proteção sendo, nestas situações, utilizados para excluir pó, sujidade, humidade e produtos químicos ou para conter um líquido ou gás. São também frequentemente utilizados como um revestimento para proteger uma superfície ou uma peça. Eles podem eliminar ruído e vibração, melhorar a aparência e executar uma função de união [6].

A adesão é um fator importante na determinação do desempenho de um adesivo. Adesão é afetada principalmente pela interação físico-química entre o adesivo e a superfície sobre a qual é aplicado. No entanto, em algumas ligações, existe uma forte adesão do adesivo com o substrato específico. Nestas situações, a força adesiva é mais forte do que a força de coesão do adesivo [6].

Para determinar as tensões e deformações nas juntas adesivas em uma grande variedade de configurações, é necessário conhecer as propriedades mecânicas, particularmente a curva de tensão-deformação e o módulo [1].

A tecnologia de adesão envolve a ciência de várias disciplinas, tal como se pode observar na Figura 4. A principal função de um adesivo é a de manter ligadas as estruturas, devendo ainda ser capazes de resistir a carregamentos elevados sem grande deformação nos mais variados ambientes.

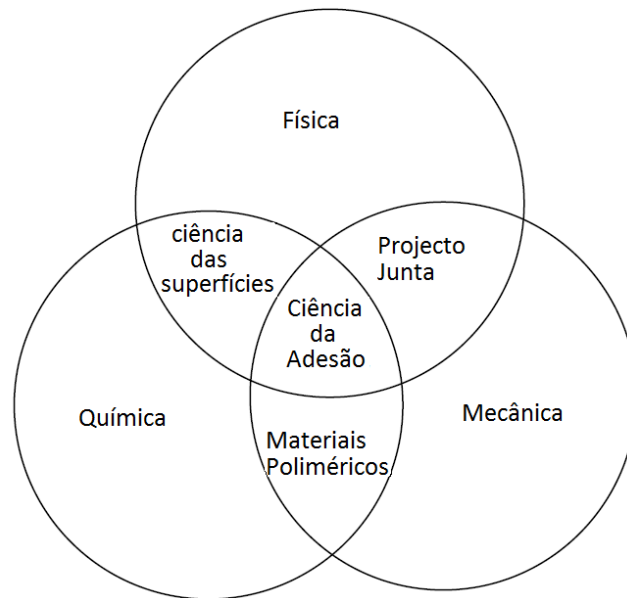


Figura 4 - Principais disciplinas [6].

2.2.2. Requisitos para uma boa colagem

A ligação adesiva ou processo de colagem é um procedimento que abrange as seguintes etapas [3, 6]:

- Seleção do adesivo;
- Projeto da junta;
- Preparação da superfície;
- Molhagem da superfície do substrato (contacto íntimo do adesivo sobre o substrato);
- Solidificação do adesivo (cura sob condições de temperatura e pressão);
- Processos de fabricação;
- Controlo do processo (ensaios destrutivos e não destrutivos).

A seleção do adesivo deve obedecer a parâmetros importantes como a resistência mecânica, a temperatura de serviço, o meio ambiente, o método de aplicação e o seu custo. A primeira consideração a ter na escolha do adesivo deve ser a garantia que o material a colar e o adesivo são quimicamente compatíveis. Pois, assim, melhor será o seu desempenho. Na Tabela 3 estão mostrados alguns fatores que influenciam a escolha do adesivo.

Quando se forma uma interface entre o adesivo e o substrato geram-se através delas forças que asseguram uma forte ligação durante toda a vida útil da ligação.

O fenómeno de adesão tem sido investigado desde há largos anos e várias teorias foram desenvolvidas para o explicar. No entanto não há uma só teoria que consiga explicar a adesão de uma forma completa e geral.

As teorias mais conhecidas que tentam dar uma explicação a adesão são a teoria eletrostática, a teoria da difusão, a teoria da adsorção e a teoria mecânica.

A ligação de um adesivo a um objeto ou superfície é a soma de forças mecânicas, físicas e químicas que se sobrepõe e influenciam. Pode-se distinguir o encravamento mecânico causado pela ancoragem mecânica do adesivo nos poros e nas irregularidades da superfície, as forças eletrostáticas relativas às diferenças de eletronegatividades dos substratos a ligar, e outros mecanismos de adesão incluindo as forças intermoleculares e químicas que ocorrem na interface de sistemas heterogêneos [3].

Tabela 3 - Fatores que influenciam a escolha do adesivo [6].

Tensões	Tração; Corte; Impacto; Arrancamento; Clivagem e Fadiga.
Fatores Químicos	Externos (relacionados com o serviço); Internos (efeito dos aderentes nos adesivos) e Desagregação.
Exposição	Luz; Oxidação; Humidade e Salinidade.
Temperatura	Alta; Baixa e Cíclica.
Fatores Biológicos	Bolor e Roedores ou vermes.
Propriedades de Trabalho	Aplicação; Tempo de ligação e gama de temperaturas; Aderência; Taxa de cura; Estabilidade de armazenamento e Cobertura.

2.2.3. Propriedades dos adesivos

Conhecer as propriedades do adesivo, permite projetar a junta para garantir que o nível de tensão no adesivo não ultrapasse a sua resistência. A junta deve ser projetada de modo a serem evitadas ou minimizadas as tensões de arrancamento e clivagem.

Existem vários tipos de adesivos e diversos métodos para os classificar. Quanto a sua utilização na indústria mecânica é frequente dividir os adesivos em estruturais e não estruturais.

Existem dois tipos de adesivos estruturais, os frágeis e os dúcteis. Note-se que o adesivo frágil tem pouca deformação plástica. Os adesivos estruturais são usados em aplicações permanentes que exigem elevada resistência mecânica. São geralmente termoendurecíveis que necessitam de ligação química com adição de endurecedor e fornecimento de calor ou ambos. Os principais adesivos estruturais são os epóxidos, epóxidos híbridos, fenólicos, fenólicos híbridos, formaldeído de resorcinol, melamina-formaldeído, poliaromáticos de alta temperatura, poliuretanos, anaeróbicos, cianoacrilatos, acrílicos modificados e poliésteres. Estes adesivos podem apresentar-se sob a forma de: pastas/líquidos de uma ou duas partes, filmes poliméricos, etc. [3].

Na Tabela 4 são apresentadas as vantagens e desvantagens de cinco adesivos estruturais mais quimicamente reativos. As propriedades de utilização final também são apresentadas, na Tabela 5 [6].

Tabela 4 - Vantagens e desvantagens dos cinco adesivos amplamente utilizados [3, 6].

	<u>Epóxicos</u>	<u>Poliuretanos</u>	<u>Acrílicos modificados</u>	<u>Cianoacrilatos</u>	<u>Aneoróbcicos</u>
Vantagens	-Excelente resistência	- Variação de tempos de cura	- Boa flexibilidade	- Cura rápida	- Cura rápida
	-Boa adesão	- Boa tenacidade	- Boa resistência a clivagem e tensões de corte	- Uma parte líquida	- Boa adesão
	-Bom preenchimento de lacunas	- Boa flexibilidade a baixa temperaturas	- Não requer mistura	- Alta resistência	- Resistência a altas temperaturas
	- Resistência a alta temperatura.		- Ligação com superfícies sujas (oleosas)	- Longa vida útil	- Uma parte líquida ou pasta
	- Custo relativamente baixo	- Capacidade de formar uma espuma (os de 2 partes)	- Cura a temperatura ambiente	- Boa adesão ao metal	- Não toxico
		- Custos moderados	- Custo moderado		- Alta resistência em alguns substratos
					- Custo moderado
Desvantagens	- Reação exotérmica	- Curam com humidade	- Baixa resistência a temperaturas elevadas	- Alto custo	- Não recomendado para superfícies permeáveis
	- Necessita de quantidades exatas para uma boa colagem	-Baixa resistência a temperatura	- Cura lenta em relação aos cianoacrilicos e aneoróbcicos	- Fraca durabilidade em algumas superfícies.	- Espessuras finas
	- Forma de 2 partes, requer medidas exatas de quantidades e mistura.	- Pode reverter com calor e humidade.	- Tóxico	- Baixa capacidade de preencher espaços.	- Cura limitada
	- Forma pasta ou filme necessita de refrigeração e armazenamento e tem temperaturas elevadas de cura	- Vida útil curta	- Inflamável	- Limitado a temperaturas elevadas	
		- Contem odor			
		- Tempo após abertura limitado		- Frágil	

Tabela 5 - Propriedades dos cinco adesivos amplamente utilizados [2, 6].

	<u>Epóxicos</u>	<u>Poliuretanos</u>	<u>Acrílicos modificados</u>	<u>Cianoacrilatos</u>	<u>Aneoróxicos</u>
Ligação de substratos	A maioria	A maioria lisos, não ferrosos	A maioria não porosos	A maioria dos metais não porosos e plásticos	Metais, vidros
Temperatura de serviço, °C	- 55 a 121	- 157 a 79	- 73 a 121	- 55 a 79	- 55 a 149
Resistência ao impacto	Fraco	Excelente	Bom	Fraco	Razoável
Tensão de corte, MPa	15 a 45	8 a 15	20 a 35	10 a 35	10 a 40
Arrancamento, N/mm	0,5	14,2	5,3	0,5	1,8
Cura com calor	Sim	Sim	Não	Não	Não
Resistência a solvente	Excelente	Boa	Boa	Boa	Excelente
Resistência a humidade	Excelente	Razoável	Boa	Fraca	Boa
Limite de espessura, mm	Sem	Sem	0,030	0,010	0,025
Odor	Fraco	Fraco	Forte	Moderado	Fraco
Toxicidade	Moderado	Moderado	Moderado	Baixo	Baixo
Flamabilidade	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	Baixa

2.3 Análise de juntas adesivas

Uma junta adesiva ou junta colada ou ligação adesiva, trata-se de uma união realizada através do uso de um adesivo. Os membros estruturais da junta, os quais são ligados entre si pelo adesivo, são designados por substratos ou aderentes. O termo substrato é geralmente utilizado para designar os componentes da junta antes da ligação adesiva. Após a colagem, estes passam a designar-se por aderentes. No entanto, na prática não é costume fazer-se esta distinção, ou seja, substratos e aderentes têm, geralmente, o mesmo significado [5].

2.3.1. Esforços numa ligação adesiva

Os esforços mais comuns de carregamento (Figura 5) que podem estar presentes numa ligação adesiva são:

- Tração;
- Compressão;
- Corte;
- Clivagem (*clevage*);
- Arrancamento (*peel*).

Qualquer combinação ou variação dessas tensões, podem ser encontradas numa aplicação.

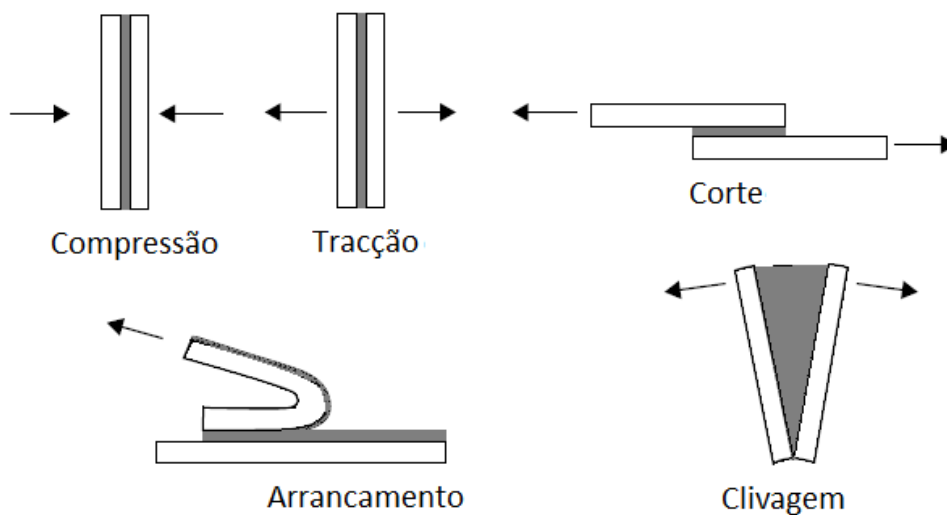


Figura 5- Tipos básicos de carregamento em juntas adesivas (adaptação a partir da ref. [3]).

2.3.1.1. Esforços de tração e compressão

As tensões de tração e compressão desenvolvem-se quando as forças atuam perpendicularmente ao plano da junta (Figura 6). Neste caso, a distribuição das tensões normais através do comprimento da colagem é uniforme. Contudo, em juntas coladas a distribuição das tensões de tração não é uniforme, porque nas regiões da periferia aparecem picos de tensões que originam clivagem ou arrancamento nas extremidades da zona de sobreposição.

As forças de compressões tendem a comprimir um aderente contra o outro. Na realidade uma junta em compressão pura praticamente não precisa de adesivo [3, 5].

No entanto, se a junta for corretamente projetada com guias, ele terá boa resistência a cargas de tração, porque a carga é distribuída uniformemente [6].

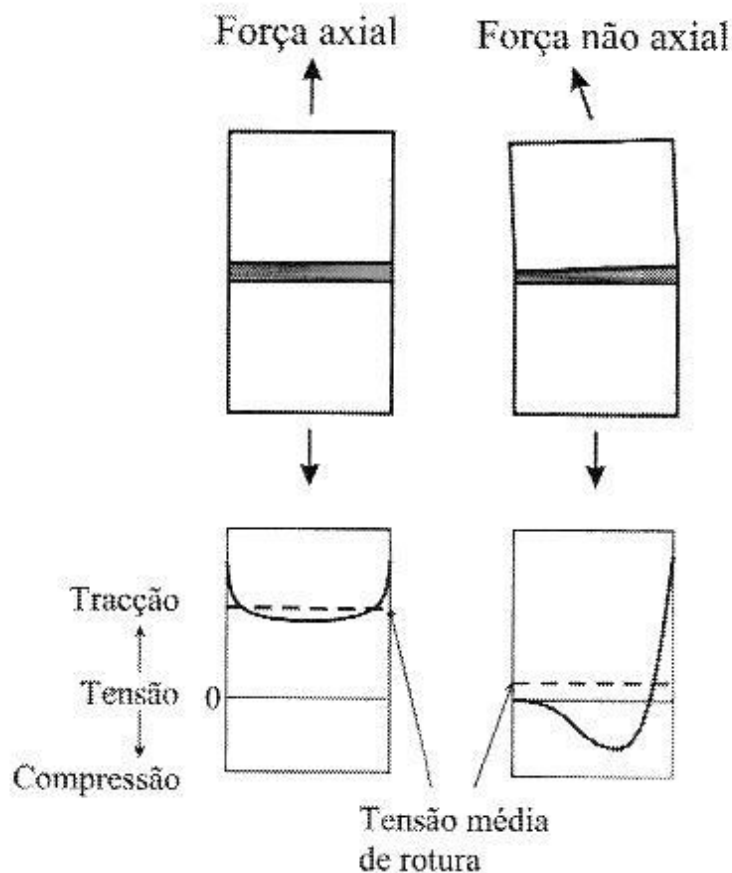


Figura 6 - Distribuição de tensão numa junta topo a topo sob carregamento não axial [3].

2.3.1.1. Esforços de corte

As tensões de corte aparecem quando forças atuam no plano do adesivo tendem a separar substratos. As juntas que dependem da resistência ao corte do adesivo são relativamente fáceis de fabricar. Além disso, as ligações adesivas são normalmente mais resistentes quando solicitadas ao corte (Figura 7), porque toda a área contribui para a resistência da junta e é relativamente fácil de manter os substratos alinhados [3].

Infelizmente, em aplicações práticas, a espessura do adesivo é difícil de controlar e geralmente as cargas não são totalmente axiais. Então tendem a desenvolver clivagem e arrancamento. Os aderentes também devem ser suficientemente rígidos de modo a que a tensão seja distribuída uniformemente sobre a totalidade da área colada [6].

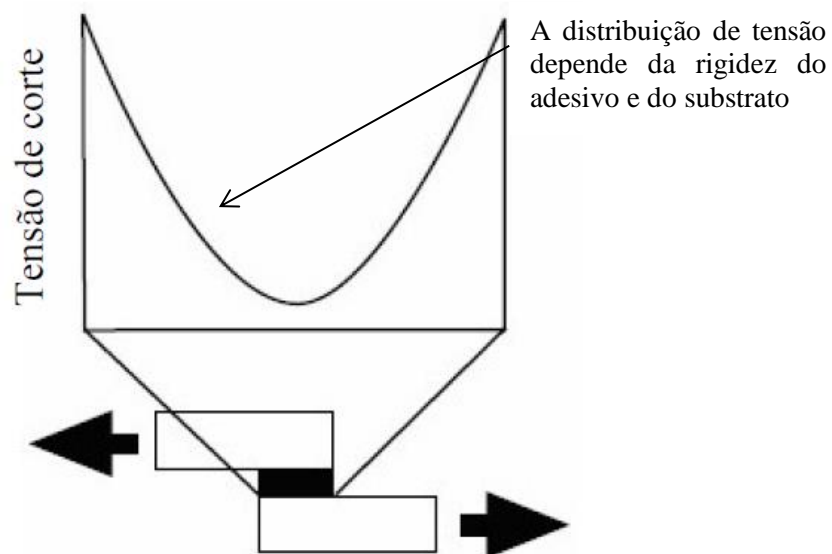


Figura 7 - Distribuição da tensão de corte [5].

2.3.1.2. Esforços de clivagem e arrancamento

As tensões de clivagem e de arrancamento são indesejáveis para as juntas adesivas.

As forças de clivagem são provocadas por forças na extremidade de uma junta rígida atuando de modo a separar os substratos, existe uma forte concentração de tensões na extremidade da junta [3].

As tensões de arrancamento são semelhantes às de clivagem, mas aplicam-se quando um ou os dois aderentes são bastante flexíveis e podem deformar plasticamente por ação das forças aplicadas [3].

As juntas com esforços de clivagem ou de arrancamento oferecem menos resistência do que as juntas carregadas ao corte porque a tensão está concentrada numa área bastante menor da totalidade da colagem. A distribuição de tensões de um adesivo em clivagem é mostrada na Figura 8. Toda a tensão fica concentrada na extremidade da junta. O adesivo na outra extremidade da ligação não tem qualquer contributo para a resistência da junta. Então, estas tensões devem ser evitadas e minimizadas sempre que seja possível [6].

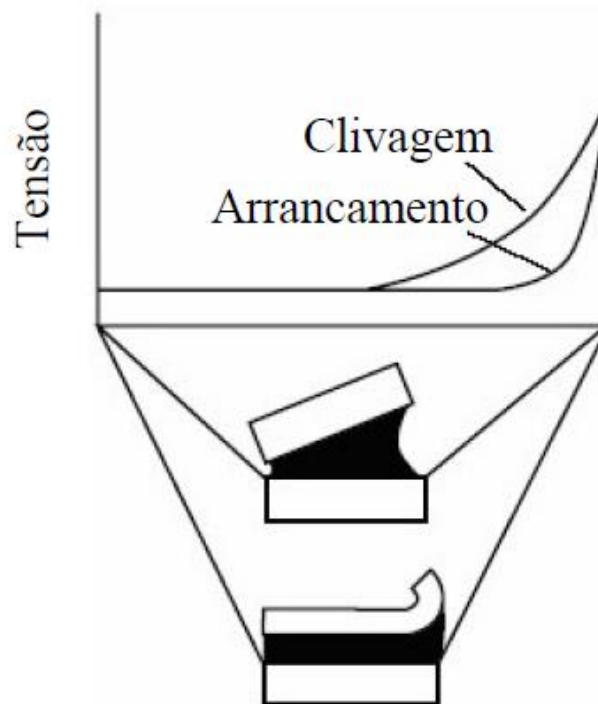


Figura 8 - Distribuição das tensões de clivagem e de arrancamento [5].

2.3.2. Tipos de junta

As juntas adesivas podem ter muitas configurações. As mais comuns são: Junta Sobreposição Simples (JSS), Junta Sobreposição Dupla (JSD); Junta em rampa (scarf joint) e Junta em degraus. Estas e outras configurações estão apresentadas na Figura 9.

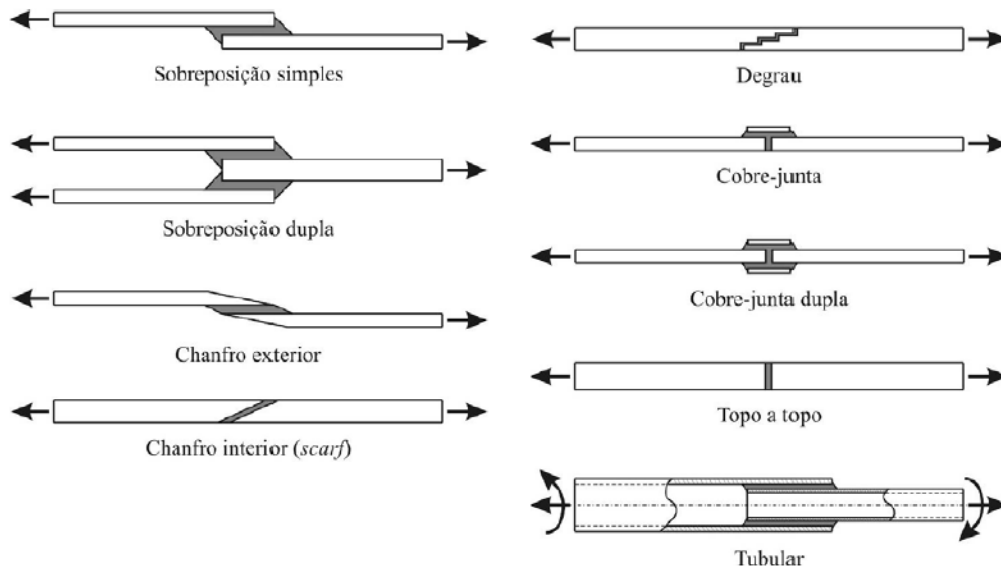


Figura 9 - Tipos de junta mais comum [3].

Devido à sua facilidade de fabricação e ampla utilização, a JSS tem sido a mais estudada na literatura em termos experimentais e teóricos. Mas isto não quer dizer que seja fácil analisar as tensões presentes nesta junta. De facto, o carregamento não é colinear, o que introduz flexão dos substratos, tal como demonstrado na Figura 10 [7]. Por isso, o adesivo fica sujeito não apenas a corte, mas também a arrancamento na extremidade da junta. A JSD, a junta com chanfro e as juntas em degrau são projetadas especificamente para diminuir o arrancamento [3]. As juntas com chanfro e com degrau são mais eficientes, mas os custos de fabrico destas juntas são bastante superiores aos custos das juntas de sobreposição.

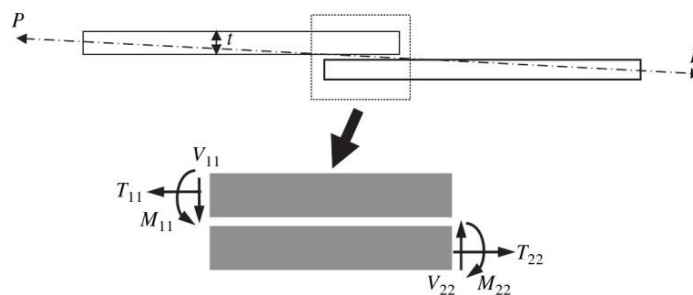


Figura 10 - JSS e forças de carregamento [7].

2.3.3. Modos de rotura

Quando se projeta uma junta, pretende-se que a rotura da mesma se dê pelo substrato ou no interior do adesivo. As roturas mais frequentes (Figura 11) de uma junta adesiva são:

- **Rotura coesiva:** quando a rotura ocorre no interior do adesivo.
- **Rotura pelo aderente:** quando a rotura ocorre no interior do substrato.
- **Rotura adesiva:** quando a rotura ocorre na interface entre substrato e adesivo.
- **Rotura mista:** quando a rotura ocorre tanto pelo adesivo como pela interface.

A rotura adesiva é geralmente associada a uma má preparação das superfícies dos substratos. A rotura coesiva ocorre quando temos rotura interna na região do adesivo, indicando que a resistência do adesivo é menor que a resistência dos substratos e da ligação entre adesivo e substratos. A rotura pelo aderente ocorre no interior do substrato, indicando que a resistência do substrato é inferior à do adesivo. Por vezes a rotura ocorre por uma combinação dos referidos modos designando-se por rotura mista [3].

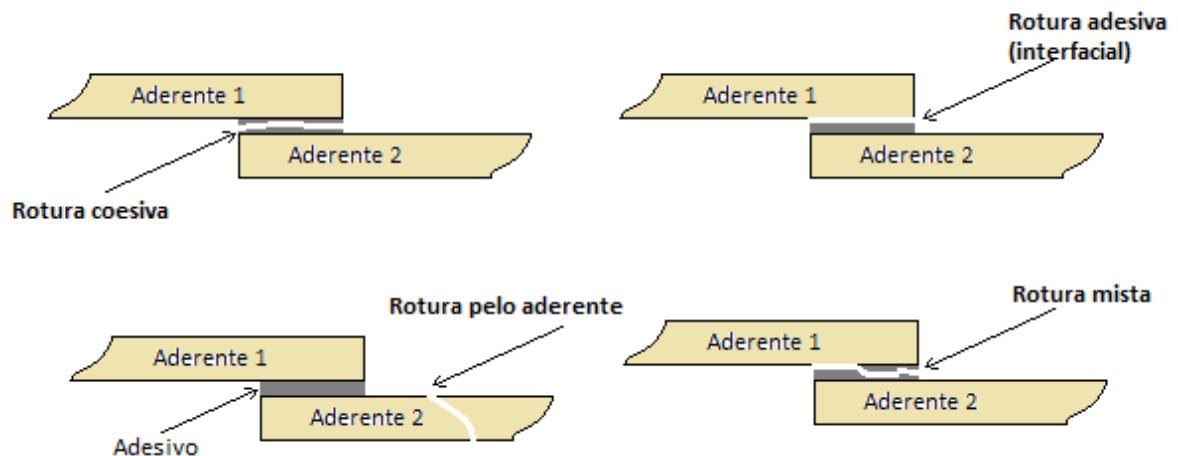


Figura 11 - Modos de rotura em juntas coladas de sobreposição simples.

2.4 Ensaios de corte

2.4.1. Introdução

As estruturas coladas são geralmente projetadas para que o adesivo seja essencialmente sujeito a esforços de corte, porque para este tipo de sollicitação o adesivo apresenta melhores características mecânicas [5].

Por tanto, é importante estudar o comportamento dos adesivos ao corte. Existem diversos tipos de ensaios de ligações adesivas que colocam o adesivo sollicitado ao corte, os mais utilizados são:

- Junta de sobreposição simples (JSS);
- Ensaio *Iosipescu* ou *V-Notched beam shear method*;
- Ensaio de borboleta ou *Notched plate shear method (Arcan)*;
- Ensaio de torção ou *Napink ring test*;
- *Ensaio Thick Adherend Shear Test (TAST)*.

A determinação das propriedades de corte pela aplicação direta de um momento torsor na junta adesiva, seria dos melhores métodos uma vez que o adesivo só está sujeito a tensões de corte. Mas não é um método muito utilizado, uma vez que a aplicação deste esforço exige equipamentos de ensaio, de aperto e medição mais complexos.

Normalmente são utilizados equipamentos convencionais de ensaios (máquinas universais de tração) para aplicação de sollicitações de tração ou compressão.

Existem dois ensaios principais de tração de corte: o *Thick Adherend Shear Test (TAST)* e o ensaio de borboleta ou *Notched plate shear method (Arcan)*. O *TAST* é mais popular porque é mais fácil de fazer e ensaiar as amostras. Este ensaio tem sido amplamente utilizado e estudado na literatura [8, 9].

Como referenciado, existem inúmeros métodos que possibilitam avaliar o comportamento ao corte, quer para provetes de adesivo maciço, quer para juntas. Neste trabalho é utilizado o método de ensaio *TAST* para a determinar as propriedades de corte dos adesivos *Araldite*[®] 2015, *Araldite*[®] AV138 e *Sikaforce*[®] 7888.

2.4.2. Junta de sobreposição simples (JSS)

O ensaio de tração numa junta de sobreposição simples é um dos métodos mais comuns para caracterizar a junta adesiva. Muitas das aplicações de adesivos são realizadas em juntas de sobreposição. É um método simples, barato e pode ser realizado em máquinas universais convencionais. A JSS é utilizada para efeitos de comparação e de controlo de qualidade de produtos adesivos. Este ensaio é regularizado pelas normas *ASTM D1002*, *ISO 4587* ou similares. Neste método os aderentes estão sujeitos a uma solicitação de tração, enquanto a camada de adesivo está sujeita a esforços de corte, embora combinados com esforços de arrancamento. O ensaio consiste essencialmente em ligar dois substratos retangulares, geralmente 25 mm de largura, 100 mm de comprimento e 1,6 mm de espessura, com um comprimento de sobreposição de 25 mm, ver Figura 12 [10]. Na Tabela 6 são demonstradas algumas das vantagens e desvantagens das JSS. Em trabalhos práticos desenvolvidos pelo professor Lucas da Silva [11], foi estudada a influência de algumas variáveis na resistência da JSS em especial o efeito da preparação da superfície. As variáveis como o efeito do material (resistência do adesivo), geometria (espessura do aderente, espessura do adesivo e sobreposição), tratamento da superfície e ambiente, durabilidade e velocidade de ensaio foram estudados com auxílio do método de *Taguchi*. O estudo foi realizado com aderentes de aço e os fatores que influenciam a força de rotura, foram apresentados em termos de percentagem de contribuição [11]:

- A resistência de corte da JSS aumenta com o comprimento de sobreposição (45,5% contribuição).
- A resistência de corte da JSS diminui à medida que a espessura do adesivo aumenta (18,9% de contribuição).
- A resistência de corte da JSS aumenta à medida que a espessura do adesivo diminui (18,4% de contribuição).
- A resistência de corte da JSS aumenta com a taxa crítica de libertação de energia, atingindo um pico de 346 para 526 N/m e em seguida, diminui para 2902 N/m (5,5% de contribuição).
- O efeito do tratamento, o ensaio de envelhecimento e a velocidade de ensaio são desprezáveis.

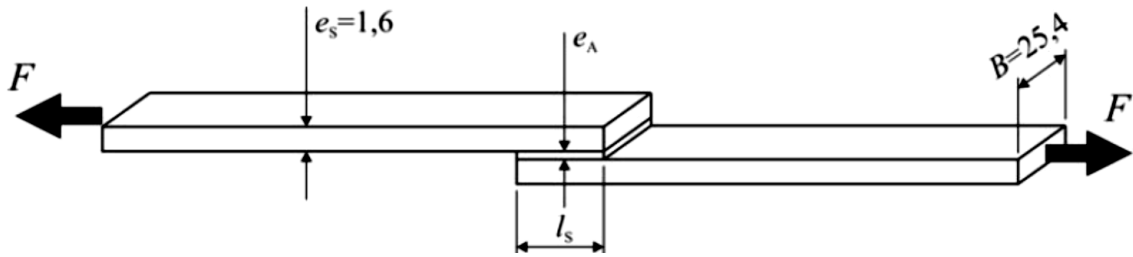


Figura 12 - Geometria da junta de sobreposição simples *ASTM D1002* (dimensões em mm) [3].

Tabela 6 - Vantagens e desvantagens de juntas de sobreposição simples [12, 3].

Vantagens	Desvantagens
<p>A importância aparente da tensão de corte é compatível com metais, plásticos e compósitos:</p> <p>Simples/ econômico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fabricação da amostra; • Ensaio; • Geometria do provete. <p><i>EN 1465/ BS 5350: Part C5/ ASTM D1002/ ASTM D 3166</i></p> <p>Indicados para ensaios de fadiga / ambientais.</p>	<p>Limitações geométricas;</p> <p>Limitado a aderentes rígidos;</p> <p>Não é adequado para o estudo da criação de projeto;</p> <p>Tensões de corte elevadas, proporcionam arrancamento nas extremidades da junta;</p> <p>Ensaio moderado a momentos fletores elevados;</p> <p>Falha atribuída a tensões de arrancamento;</p> <p>Necessários acessórios especiais de ligação;</p> <p>Grandes incertezas nas medições.</p>

2.4.3. Ensaio *Iosipescu* ou *V-Notched beam shear method*

O ensaio *Iosipescu* foi originalmente desenvolvido para medir as forças de corte de metais soldados [13, 14].

Este ensaio é realizado num pequeno provete retangular, com 76 mm de largura, 20 mm de altura e uma espessura elevada de 3 ou 4 mm, tem também dois entalhes simétricos no centro do provete, solicitado a uma carga em 4 pontos (Figura 13). A apresenta uma distribuição uniforme da tensão de corte no centro do provete. Pode ser medido o módulo de corte e a resistência à deformação. A montagem do equipamento de ensaio pode ser efetuada numa máquina de tração. O provete é carregado em tração ou compressão num estado de corte puro que é estabelecida em uma região entre os entalhes. O extensómetro pode ser utilizado para medir a deformação de corte nesta região, mas é necessária uma correção para a ligação adesiva. Tem o inconveniente de a força ser aplicada nas faces laterais do provete, provocando deformações locais [10, 15]. As vantagens e desvantagens deste ensaio são apresentadas na Tabela 7.

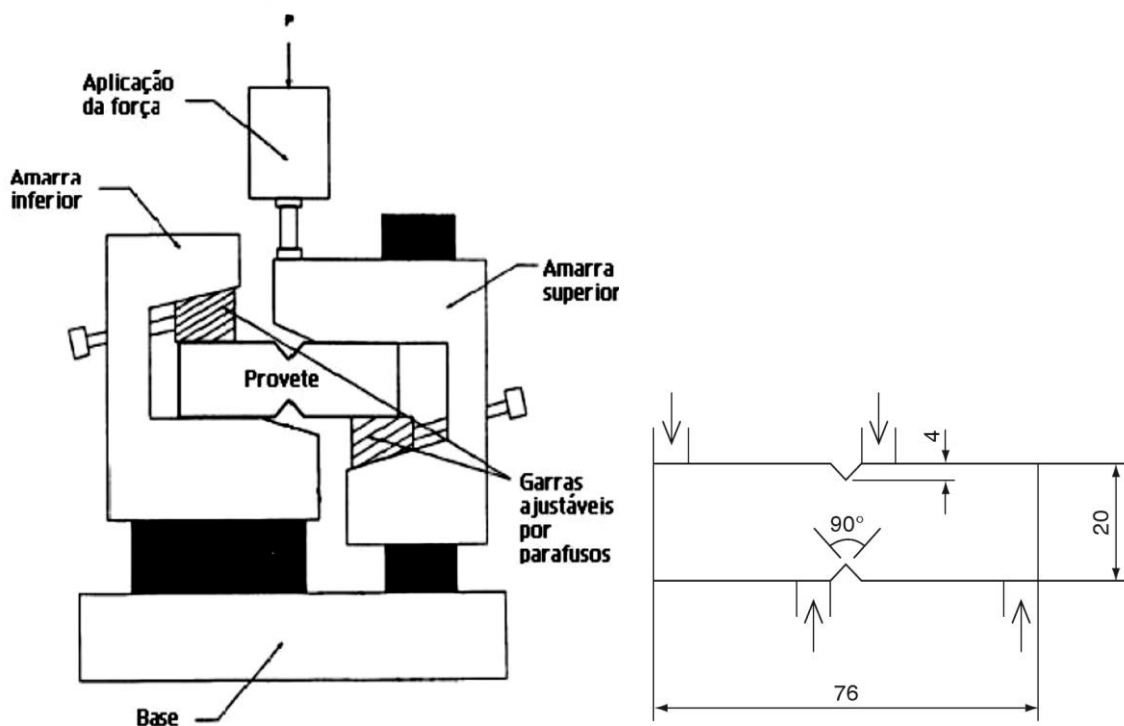


Figura 13 - Carregamento e geometria do provete para o ensaio *Iosipescu* (dimensões em mm) [16].

Tabela 7 - Vantagens e desvantagens do ensaio *Iosipescu* [3, 12].

Vantagens	Desvantagens
Possibilita a determinação do módulo de corte e tensão de corte;	Necessários extensômetros nos dois eixos;
Facilidade na determinação das propriedades de corte;	Polímeros frágeis – ocorrem falhas;
Adequado em diferentes condições ambientais;	É necessário um acessório especial de ligação;
Indicado para ensaios de fluência e climáticos.	O estado de tensão de corte não é uniforme;
<i>ASTM D 5379.</i>	Precisão dimensional;
	Necessário um dispositivo de ensaio especial;
	Inadequado para ensaios de fadiga;
	Para evitar flexão, os adesivos devem ser pouco tenazes.

2.4.4. Ensaio de torsão ou *napkin-ring test*

O ensaio de torsão de uma haste circular é mecanicamente um dos métodos mais precisos para caracterizar as propriedades de corte do adesivo, especialmente a baixas deformações [10]. O ensaio mais comum deste género designa-se por *napkin-ring test*. É realizado em juntas de topo entre dois cilindros de paredes finas com o objetivo de reduzir a variação das tensões de corte ao longo do adesivo (Figura 14) [3]. A determinação de propriedades de corte pela aplicação de um momento torsor ao adesivo ou junta adesiva não é muito comum, uma vez que a aplicação deste esforço exige equipamentos de ensaio, de aperto e medição mais complexos, que não se encontram disponíveis na maioria dos laboratórios.



Figura 14 - Exemplo de provete para ensaio de *napkin-ring* [3].

Este método é geralmente usado na determinação das propriedades de corte para baixas deformações. Este ensaio consiste num sistema que aplica uma torção num provete medindo-se a torção aplicada e a rotação aplicada no provete. O provete é maquinado com secção circular de 10 mm de diâmetro na zona central e as cabeças do provete apresentam secção quadrada que permitem o acoplamento à máquina de ensaios, como mostrado na Figura 15 [15]. As vantagens e desvantagens deste ensaio são apresentadas na Tabela 8.

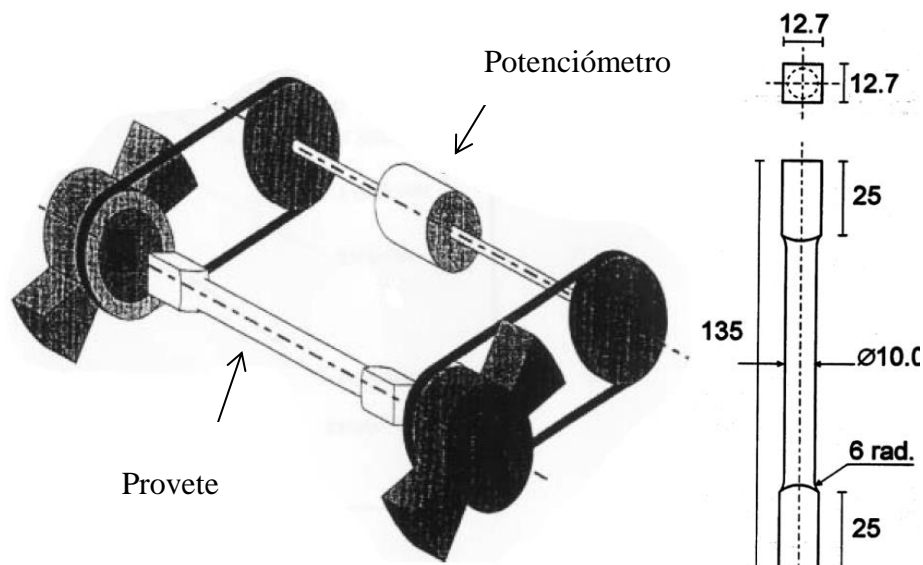


Figura 15 - Exemplo de equipamento de torção e Provete de ensaio (dimensões em mm) [15].

Tabela 8 - Vantagens e desvantagens do ensaio torsão [3, 12].

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade determinação do módulo de corte e tensão de corte em termoplásticos;	Necessidade de extensómetros;
Compatível com metais e compósitos;	Polímeros frágeis – ocorrência de falhas;
Adequado em diferentes condições ambientais;	Complexidade do equipamento, para promover a torção e a medição fiável do ângulo de rotação;
Indicado para ensaios de fluência e fadiga.	Tensão axial precisa ser monitorizada;
	O estado de tensão de corte não é uniforme;
	Pequenas deformações – são difíceis de medir com precisão;
	Possíveis concentrações de tensão presentes nos apertos.

2.4.5. Ensaio de borboleta ou *Notched plate shear method (Arcan)*

Este ensaio ao contrário do método *Iosipescu* é usado para pequenas espessuras com uma configuração muito próxima à de uma borboleta. Os dois entalhes simétricos têm ângulo de 90° e raio de concordância no entalhe de 1,5 mm para minimizar a concentração de tensão (Figura 17). Para a realização deste ensaio o equipamento pode ser montado numa máquina de tração e a aplicação da força é realizada nas duas extremidades do provete por intermédio de pinos, afastando cada metade do provete em sentidos opostos e aplicando uma sollicitação próxima do corte puro na secção entre entalhes (Figura 16) [5]. Apresenta vantagens em relação ao método de *Iosipescu* dado que pode ser empregue com bons resultados em todos os tipos de adesivo inclusive os mais dúcteis e com menores espessuras aproximando-se mais das espessuras usadas em junta [3]. O ensaio de *Arcan* pode ser realizado em provetes de adesivo maciço ou provetes de junta. A deformação pode ser medida por um extensómetro com um LVDT acoplado com um extensómetro de contacto. Tem-se utilizado em muitos trabalhos recentes o método ótico sem contacto baseado na correlação de imagem com bons resultados [17]. Ao utilizar este método, a dificuldade que pode surgir prende-se com a amplitude das deformações a medir, que muitas vezes não ultrapassa 1%. Assim, podem surgir problemas de resolução do sistema ótico, que inviabilizam a medição precisa das propriedades mecânicas [3]. As vantagens e desvantagens deste ensaio são apresentadas na Tabela 9.

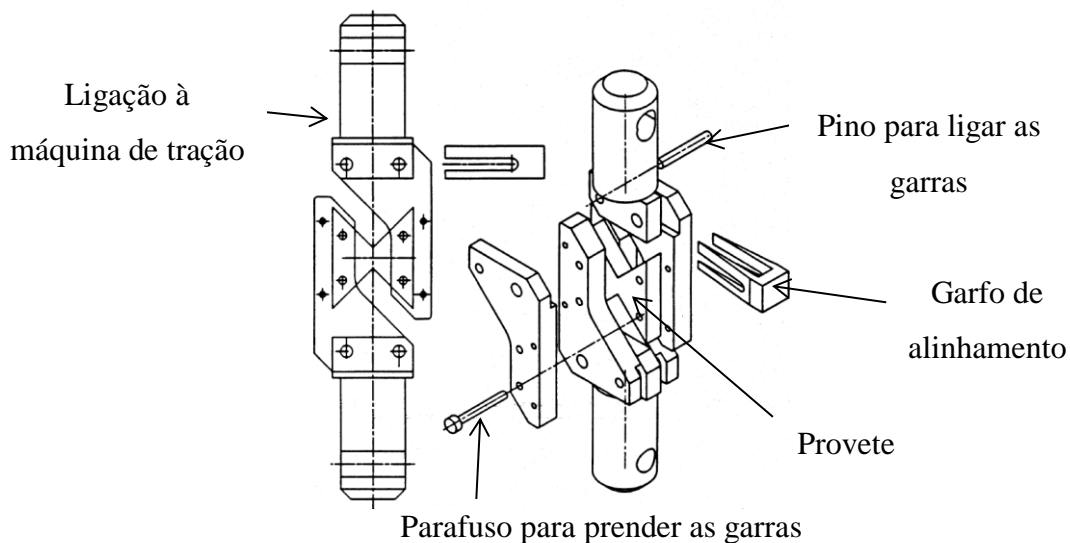


Figura 16 - Provete e respetivas fixações para o ensaio *Arcan* [12].

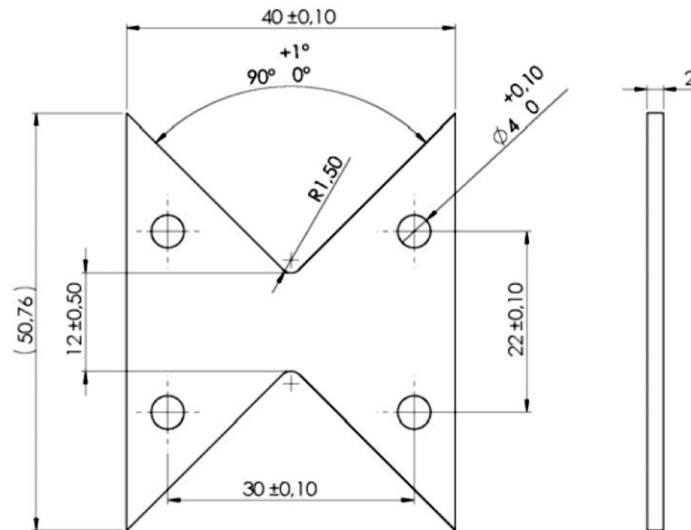


Figura 17- Provete *Arcan* (dimensões em mm) [3].

Tabela 9 - Vantagens e desvantagens do ensaio *Arcan* [3, 12].

Vantagens	Desvantagens
<p>Possibilidade determinação do módulo de corte e tensão de corte em termoplásticos;</p> <p>Adequado em diferentes condições ambientais;</p> <p>Bom desempenho na maioria dos adesivos, incluindo os mais dúcteis;</p> <p>Pode ser usado em pequenas espessuras, quando comparado com o método <i>Iosipescu</i>;</p> <p>Indicado para ensaios fluência.</p>	<p>Polímeros frágeis – ocorrência de falhas;</p> <p>É necessário um acessório especial de ligação;</p> <p>Ocorrência de tensão de rotura interfacial;</p> <p>O estado de tensão de corte não é uniforme;</p> <p>Precisão dimensional;</p> <p>Inadequado para ensaios de fadiga.</p>

2.4.6. *Thick Adherend Shear Test, TAST*

Este método de ensaio pode ser usado para determinar:

- A tensão de corte em função da curva de tensão de corte até a rotura do adesivo (τ_{\max});
- O módulo de corte do adesivo (G);
- Outras propriedades podem ser obtidas a partir da curva de tensão vs deformação, tal como o módulo secante e a deformação de máxima de corte (γ_{\max});
- Os efeitos de diversas condições como, por exemplo, temperatura, o meio ambiente, velocidade de ensaio, entre outros, nas propriedades de corte.

O provete TAST (Figura 18) é sujeito a um esforço de tração de modo que a tensão no adesivo seja de corte.

A geometria do provete é essencial pois quanto menor o comprimento da ligação e maior a espessura dos substratos menor será a probabilidade de arrancamento nas extremidades da junta.

Com este ensaio pretendemos avaliar a resistência ao corte puro dos adesivos selecionados e, por exemplo, comparar as deformações obtidas por um extensómetro de contacto, frequentemente usado em ensaios de tração, e as obtidas através de um sistema ótico [17,18].

Contudo, a determinação da deformação de corte real do adesivo requer correções analíticas das deformações medidas pelo extensómetro, tendo em conta as deformações do substrato. Um destes métodos baseia-se na teoria da elasticidade para descontar as deformações de corte dos substratos [19].

O deslocamento relativo dos aderentes é medido usando um transdutor situado na zona central das amostras. A força e o deslocamento são medidos a partir do início da implementação da carga até a rotura da ligação. As tensões de corte são então calculadas a partir de dimensões da zona colada [19].

Este ensaio é caracterizado pela extensometria usada que é baseada num *LVDT* com parte móvel dentro de uma moldura rígida unida por molas [19].

Recomenda-se a utilização de dois extensómetros, ligados a faces opostas da amostra. Qualquer flexão da amostra será evidente a partir das leituras de deslocamento divergentes. Recomenda-se que as leituras individuais de transdutores sejam registadas de modo a que os dados de ensaio possam ser verificados. Erros devidos à flexão são minimizados por efetuar a medição média dos dois transdutores de deslocamento. Para minimizar a inclusão da deformação do aderente a medição dos pontos de contato deve ser o mais próximo da zona de ligação [15].

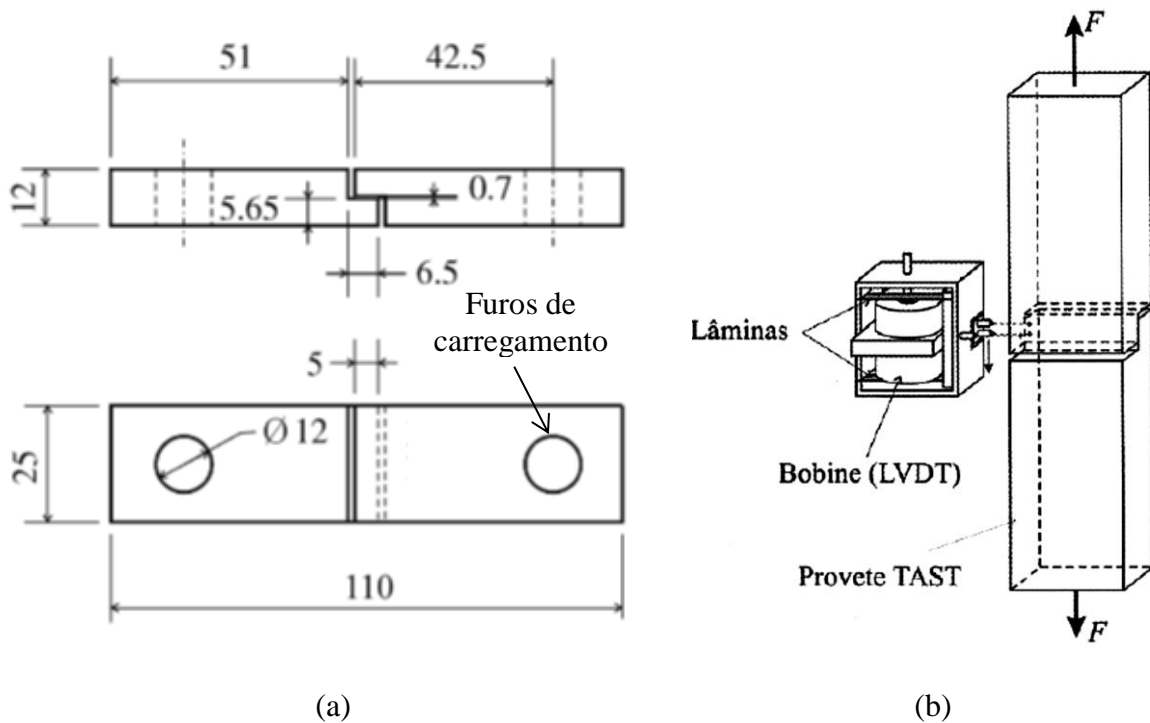


Figura 18 – Geometria e dimensões (em mm) do provete *TAST* (a), Extensómetro (*LVDT*), segundo *ISO 11003-2* (b) [19].

A Figura 18 mostra um extensómetro ligado a um provete *TAST* para medir a deformação de corte. O contato minimiza a rotação de três pontos do extensómetro. Extensómetros de tração convencionais (lâmina de faca) podem ser usados, desde que o extensómetro atravesse a linha de adesão. Pode ser necessário remover o extensómetro ligado ao provete antes da rotura, a fim de evitar danificar o extensómetro durante a falha ao analisar os dados é necessário contabilizar a deformação dos aderentes. Contudo, quando a rigidez dos aderentes é muito maior do que a do adesivo as correções podem ser mínimas [15].

Neste trabalho foi utilizado um extensómetro resistivo, que atravessa a espessura do provete, por sua vez, a linha de adesão, com uma distância de 12 mm (Figura 19).

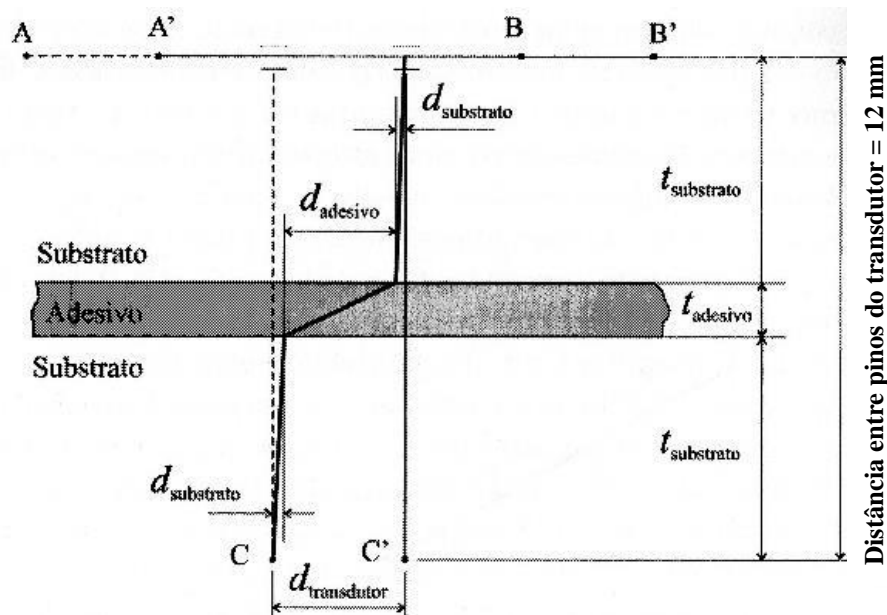


Figura 19 - Medição dos deslocamentos no ensaio de *TAST* (adaptado da ref.^a. [3]).

O movimento relativo realizado é função do deslocamento entre dois pinos numa face de um aderente e outro pino na face do outro aderente (Figura 18b). Este método, além de ser difícil de aplicar no provete, obriga a correções posteriores dos dados para a determinação das deformações. Uma forma de ultrapassar esta dificuldade consiste em utilizar um método de medição que avalie apenas a deformação do adesivo e que simultaneamente seja de fácil colocação. A extensometria ótica baseada na correlação de imagem é uma solução que permite ultrapassar os problemas referidos.

Extensómetros sem contato ou extensómetros óticos (por exemplo, extensómetros de vídeo), evitam danos de contato e podem ser utilizados até à rotura da ligação, uma vez que não há qualquer possibilidade de danificar o extensómetro [15].

No caso da extensometria ótica, os deslocamentos dos adesivos são obtidos pela correlação espacial dos pares de imagens adquiridas inicialmente (sem deformação) e durante o carregamento. As obtenções das deformações são realizadas por processamento numérico de imagens digitais [17, 18]. Este método consiste basicamente na análise de uma sequência de imagens digitais, adquiridas ao longo da realização do ensaio, que são

divididas em várias subimagens que serão sujeitas à transformada de *Fourier* (Figura 20) foto obtida no tempo R0 é comparada com a foto D0, obtida num momento posterior, para determinar o deslocamento médio sofrido pelos seus pontos entre os dois instantes de tempo considerados.

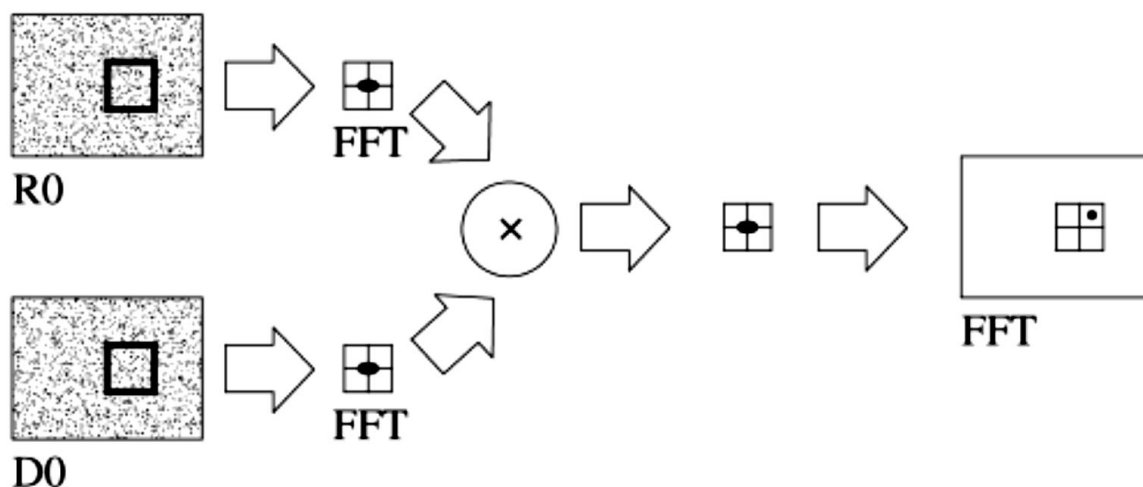


Figura 20 – Organograma do processamento de correlação de imagem [17].

Para o cálculo da tensão e deformação de corte na camada adesiva assume-se que a ligação é essencialmente corte puro e a tensão de corte ao longo do comprimento de sobreposição é uniforme, embora algumas concentrações nas extremidades sejam inevitáveis. Deve-se considerar que a exatidão da medição da tensão depende da espessura da camada adesiva e da rigidez da ligação. As ligações adesivas mais finas têm menor deslocamento, assim os erros associados ao deslocamento medido são relativamente mais elevados [20].

Para obter a deformação do adesivo, é necessário fazer uma correção correspondendo ao deslocamento sofrido pelo aço dos substratos (Figura 19). A norma diz que essa correção deve ser feita considerando a deformação de corte num provete maciço de aço [19]. Mas alguns autores demonstram que a distribuição de tensão de corte no provete não é uniforme, este método não é totalmente fiável [21, 22]. Obtêm-se resultados mais corretos recorrendo a equações de elasticidade e considerando apenas corte puro [22] ou então usando o método dos elementos finitos. No entanto, a análise de elementos finitos (FEA) mostra que a tensão uniaxial também está presente no aderente [22, 23, 24].

Nestas condições, de acordo com a (Figura 19) verifica-se pelas equações:

$$d_{adesivo} = d_{extensometro} - 2 \times d_{substrato} \quad (1)$$

$$2 \times d_{substrato} = \frac{2 \times t_{substrato} \times F}{G_{substrato} \times l \times b} \quad (2)$$

$$2 \times t_{substrato} = 12 \text{ mm} - t_{adesivo} \quad (3)$$

Na equação 1, 2 e 3 t é a espessura (mm), F a carga (N), G o módulo de corte (MPa), l o comprimento de sobreposição (5 mm), b a largura (25 mm), d é o deslocamento (mm).

Na parte experimental desta dissertação foi usado apenas um extensómetro do tipo resistivo, com um comprimento de 50 mm, e utilizou-se as equações anteriores para a correção do deslocamento do adesivo. Uma análise pelo método dos elementos finitos poderia ser realizada para avaliar a correção a aplicar no caso do extensómetro indutivo e para avaliar a distribuição de tensão no adesivo. Resultados de trabalhos recentes mostram que um extensómetro de grampo simples pode ser usado para medir a deformação do adesivo, proporcionando a aplicação de um fator de correção [18].

Existe uma grande variedade de ensaios de corte. No entanto, o ensaio de *TAST* é provavelmente a técnica mais simples e mais fiável para utilizar [25]. Na Tabela 10, são demonstradas as vantagens e desvantagens deste método de ensaio.

Tabela 10 - Vantagens e desvantagens do ensaio *TAST* [3, 12].

Vantagens	Desvantagens
Possibilidade determinação do módulo de corte e da tensão de corte;	Necessidade de extensómetros complexos/ dispendiosos;
Estado de tensão relativamente uniforme ao longo da ligação adesiva;	É necessário um acessório especial de fixação;
Simple e económico:	Exigida precisão na maquinagem dos provetes;
<ul style="list-style-type: none"> • Fabricação dos provetes (custo moderado) • Ensaios • Aquisição de dados 	Concentrações de tensão nos bordos da ligação;
ISO 11003/ ASTM D 3165	Difícil análise de tensões;
Indicado para ensaios em diferentes condições ambientais.	Limitado para ensaios de fadiga;

2.4.6.1. Ensaio *TAST* modificado

O ensaio de *TAST* está detalhado nas normas *ISO 11003-2* e *ASTM D3983*, no fabrico de provetes *TAST* de qualidade [26]. Usando aderentes espessos, tipicamente 10 mm de espessura, e a uma curta sobreposição permite tensões de arrancamento, que complicam a ligação. Um adequado extensómetro permite que a curva total de tensão de corte-deformação possa ser obtida. Esta configuração é frequentemente usada para analisar o comportamento mecânico de ligações adesivas em diversas condições [20, 27]. A precisa análise experimental dos resultados pode levar a observações de propagações de falhas perto do substrato - rotura adesiva interfacial [20, 28] e pode levar à análise incorreta do comportamento do adesivo.

As análises experimentais e numéricas do comportamento mecânico das juntas coladas são particularmente difíceis de fazer por causa da concentração de tensões e efeitos de bordo [20, 29]. Portanto, a compreensão de como a tensão é distribuída no adesivo pode levar a melhorias nas montagens das ligações adesivas. Particularmente, uma vez que pode ser difícil de retirar os efeitos de concentração de tensões, são tidos em conta quando se analisam os resultados experimentais, sendo útil para projetar equipamentos experimentais que limitam fortemente os efeitos de bordo, de modo a obter-se dados fiáveis [24, 28] .

Esta seção mostra um dispositivo de *TAST* modificado [30], o que origina uma distribuição de tensões mais uniforme das juntas adesivas e limita fortemente os efeitos de bordo de modo a obter resultados experimentais mais fiáveis. Não necessitando assim de correções posteriores de valores.

O acessório *TAST* modificado e um provete *TAST* são apresentados na Figura 21. A Figura 22 apresenta a geometria e o sistema de fixação do provete *TAST* modificado.

A primeira ideia foi a utilização de pequenos provetes (Figura 22), os quais representam a parte útil do provete de *TAST* (um paralelepípedo de altura ≈ 20 mm com uma área colada (S_c) = $9,53 \times 25,4$ mm²) [31]. O segundo ponto foi a utilização de um suporte rígido (2), de modo a limitar a flexão do dispositivo, o que diminui a tensão de arrancamento da junta. Um dispositivo de fixação (3) é usado para fixar a amostra. Foi usado um sistema especial (demonstrado em (4) na Figura 22), para obter um posicionamento preciso do provete no suporte.

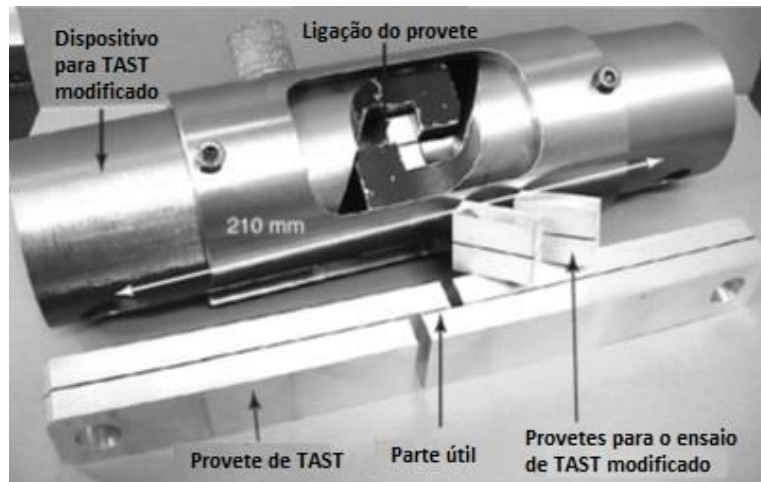


Figura 21 - Comparação entre o ensaio de *TAST* e o *TAST* modificado (adaptado da ref. [30]).

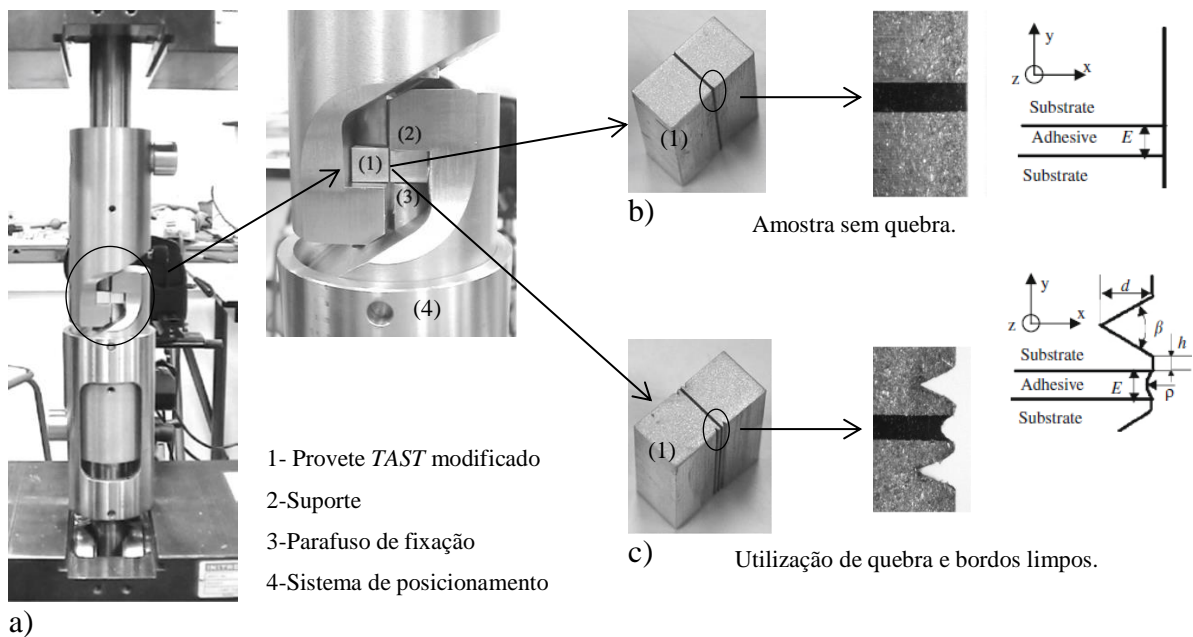


Figura 22 - Geometria e sistema de fixação de ligações adesivas. sistema de fixação a), amostra sem quebra b) e utilização de quebra e de bordos limpos c) (adaptado da ref. [32]).

Além disso, a peça (4) é usada para limitar a pré-carga das amostras durante a sua montagem na máquina de tração (Figura 22a)). De modo a evitar pequenas cargas, nas ligações da máquina de tração, estas tem movimento livre: um pino universal garante um posicionamento radial do dispositivo e da carga axial, para controlar as restrições geométricas.

2.4.7. Comparação entre os métodos para obtenção de propriedades de corte.

Na Tabela 11 é efetuada uma comparação entre os métodos de tensão de corte, tendo em conta a aplicabilidade do método, custos e dificuldade da preparação dos ensaios, etc.

Tabela 11 - Comparação entre os métodos de tensão de corte [12].

Método de ensaio	JSS	JSD	V-notched beam	Arcan
Propriedades mecânicas obtidas	Tensão de corte	Tensão de corte	Tensão de corte/ Módulo de Corte	Tensão de corte/ Módulo de Corte
Quantidade de adesivo necessário por provete	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa
Dimensões típicas do provete	Comprimento: 100 mm Largura: 25 mm Espessura do aderente: 2 mm Comprimento de sobreposição: 25 mm	Comprimento: 100 mm Largura: 25 mm Espessura do aderente: 2 mm Comprimento de sobreposição: 25 mm	Comprimento: 76 mm Largura: 20 mm Largura do entalhe: 12 mm Espessura do aderente: 5 mm	Comprimento: 52 mm Largura: 40 mm Largura do entalhe: 12 mm Espessura do aderente: 6 mm
Materiais indicados para o ensaio	1, 3 e 6	1, 3 e 6	1, 3 e 6	1, 3 e 6
Custo do fabrico/preparação dos provetes	Baixo	Baixo-moderado	Moderado	Moderado
Custo do ensaio/provete	Baixo	Baixo-moderado	Baixo-moderado	Baixo-moderado
Requisitos dos equipamentos para fabricação das amostras	Preparação de superfície de ligação / gabari de ligação	Preparação de superfície de ligação / gabari de ligação	Preparação de superfície de ligação / gabari de ligação	Preparação de superfície de ligação / gabari de ligação
Requisitos de instrumentação	Nenhum	Nenhum	Instrumentos de medição de tensão e extensómetros	Instrumentos de medição de tensão e extensómetros
Equipamento de ensaio e requisitos de fixação	Máquina de tração universal + garras de carregamento	Máquina de tração universal + garras de carregamento	Máquina de tração universal + fixações de carregamento	Máquina de tração universal + fixações de carregamento
Desempenho a fadiga	Limitado	Adequado	Inadequado	Adequado
Desempenho a fluência	Adequado	Possível	Inadequado	Inadequado
Condições ambientais	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado
Aquisição de dados	Simple	Simple	Simple	Simple
Exatidão (estimada)	Moderada	Baixa (30%)	Baixa – moderada (10 a 20%)	Baixa-moderada (10 a 20%)
Norma de ensaio aplicável	BS 5350: parte C5 EN 1465 EN ISO 9664 ASTM D 1002 ASTM D 3166	BS 5350: parte C5 EN ISO 9664 ASTM D 1002 ASTM D 3166	Sem norma de ensaio para adesivos; ASTM D5379 - compósitos	Nenhuma

Nota: 1= metal – metal; 2 = metal-plástico; 3 = metal-compósito; 4 = plástico-plástico; 5 = plástico-compósito e 6 = compósito-compósito.

Tabela 12 - Comparação entre os métodos de tensão de corte (continuação) [12].

Método de ensaio	TAST	Junta de topo torsão	Napink ring
Propriedades mecânicas obtidas	Tensão de corte/ Módulo de corte	Tensão de corte/ Módulo de corte	Tensão de corte
Quantidade de adesivo necessário por provete	Baixa	Baixa	Baixa
Dimensões típicas do provete	Comprimento: 110 mm Largura: 25 mm Espessura do aderente: 12 mm Junta de sobreposição: 5×25 mm ²	Diâmetro: 15 a 25 mm Espessura do aderente: 12 a 15 mm	
Materiais indicados para o ensaio	1 a 6	1 a 6	1 a 6
Custo do fabrico/ preparação dos provetes	Baixo-moderado	Baixo - moderado	Moderado - alto
Custo do ensaio/ provete	Baixo	Baixo - moderado	Baixo - moderado
Requisitos dos equipamentos para fabricação das amostras	Preparação de superfície de ligação / gabari de ligação	Preparação de superfície de ligação / gabari de ligação	Preparação de superfície de ligação / gabari de ligação
Requisitos de instrumentação	Extensómetros (1 ou 2)	Extensómetros rotativos	Extensómetros rotativos
Equipamento de ensaio e requisitos de fixação	Máquina de tração universal + fixações de carregamento	Máquina de tração universal + fixações de carregamento	Máquina torção + fixações de carregamento
Desempenho a fadiga	Não adequado	Adequado	Adequado
Desempenho a fluência	Possível	Adequado	Inadequado
Condições ambientais	Adequado	Adequado	Adequado
Aquisição de dados	Simples	Simples	Simples
Exatidão (estimada)	A determinar	A determinar	A determinar
Norma de ensaio aplicável	ISO 11003 / ASTM D 3165	---	ASTM E 229

Nota: 1 = metal – metal; 2 = metal-plástico; 3 = metal-compósito; 4 = plástico-plástico; 5 = plástico-compósito e 6 = compósito-compósito.

3. Trabalho experimental

3.1 Introdução ao trabalho prático

O princípio deste trabalho, tem por base o desenvolvimento e a fabricação de ferramentas adequadas (Figura 23) e a produção de provetes de TAST com geometria segundo a norma ISO 11003-2 [19]. De maneira a conseguir estudar o comportamento dos adesivos. O provete é submetido a uma força de tração, de modo, a o adesivo ser sujeito a um esforço de corte. Assim, permite-nos determinar a resistência ao corte do adesivo e as propriedades de corte. O deslocamento relativo dos aderentes é medido utilizando um transdutor. Os esforços e as deformações de corte são calculados a partir das dimensões da junta colada.

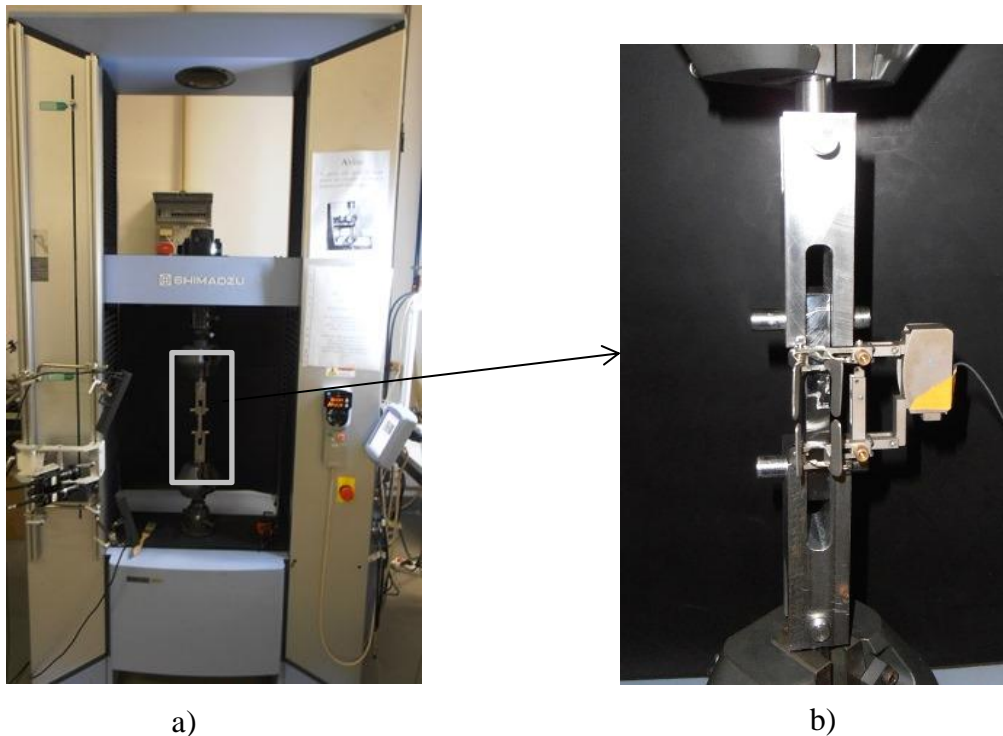


Figura 23 – a) Máquina de tração *Shimadzu*; b) Ferramentas de ligação.

3.2 Desenvolvimento e fabrico dos componentes para o ensaio TAST

3.2.1. Introdução

Pode definir-se maquinagem como sendo o processo mecânico de trabalho de materiais onde há arranque de aparas. São processos precisos e rápidos, mas dispendiosos, sendo geralmente aplicados depois de processos sem arranque de aparas [33]. Apresentam-se alguns exemplos de técnicas de maquinagem:

- Torneamento
- Fresagem
- Furação
- Roscagem
- Retificação
- Eletro Erosão

As diferenças existentes entre estas técnicas levou a que fossem criadas máquinas específicas para cada uma e, como fazem uma movimentação mecânica de uma ferramenta, são usualmente conhecidas como máquinas ferramenta.

Em muitas situações são utilizados centros de maquinagem de Comando Numérico Computadorizado (CNC).

O controlo dos drivers dos motores, sistemas de segurança, meios de comunicação e recentemente *softwares* de apoio à gestão e desenvolvimento do produto têm vindo a ser integrados no módulo do CNC.

O número de eixos de trabalho também aumentou, conseguindo-se hoje, em alguns processos, o controlo de 5 eixos sincronizados: os 3 eixos cartesianos e a orientação segundo dois planos da peça. Esta evolução permite a maquinagem de formas cada vez mais complexas.

Uma das grandes dificuldades em termos de maquinagem é a criação do programa. No presente trabalho foi criada uma linguagem universal, para possibilitar um fluxo de informação entre as várias fases do projeto e um possível intercâmbio do mesmo programa entre máquinas, de acordo com a norma *ISO 10303-2*, também conhecida por *STEP-NC*.

Os sistemas tipo que utilizam o *STEP* são mostrados na Figura 24 [34].

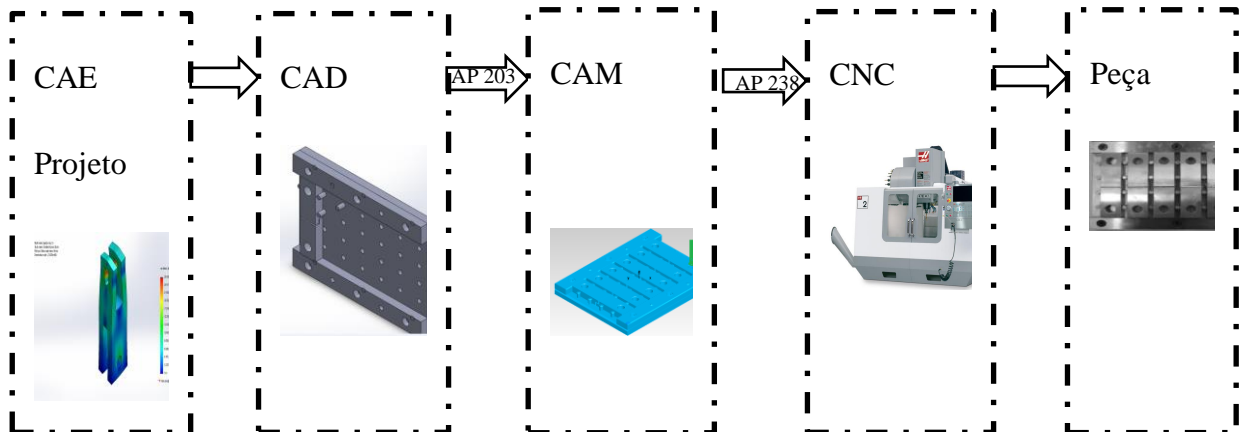


Figura 24 - Fluxo segundo STEP.

3.2.2. Maquinagem e comando numérico

Em muitas situações são utilizados centros de maquinagem de CNC.

Para pequenas séries de produção torna-se mais vantajoso usar um centro de maquinagem CNC porque, uma vez acabada a produção de uma determinada peça este pode ser reprogramado para produzir outra. Estas máquinas têm uma grande flexibilidade de operações.

Nesta dissertação foram definidas um conjunto de peças a fabricar, nas Laboratório de oficinas mecânicas do ISEP, utilizando um centro de maquinagem (*HAAS VF2*) que pode ser constituído até um total máximo de 5 eixos controlado por CNC, ilustrado na Figura 25.



Figura 25 - Centro de maquinagem (HAAS VF2) presente nas Oficinas mecânicas do ISEP.

Para se proceder à realização do conjunto de peças, foi necessário definir alguns objetivos, que vão desde a definição do próprio conjunto, passando pela elaboração das estratégias de maquinagem (definição das ferramentas necessárias, parâmetros de cada ferramenta e a criação do programa CNC para execução na máquina), e fabricação no centro de maquinagem.

3.2.2.1. Software para o desenvolvimento e simulação CAE

Para efetuar as simulações referentes às forças que atuam nos elementos do dispositivo e ao comportamento do adesivo foram escolhidos os programas *Solidworks*[®].

Para fazer o dimensionamento do dispositivo foi utilizado o *Solidworks*[®] dado ser um programa que permite o dimensionamento dos componentes em 3D, dando ao utilizador uma perspetiva espacial que não seria possível num desenho 2D.

Fizeram-se as simulações dos comportamentos das peças de ligação entre a máquina de tração e o provete TAST em *Solidworks*[®], sendo que os resultados obtidos em termos de forças e deslocamentos foram utilizados para ajustar as dimensões das peças.

3.2.2.2. Softwares para maquinagem CAD/CAM

A integração CAD/CAM diminui os custos porque proporciona uma redução de tempo de comunicação entre diferentes fases do desenvolvimento da peça.

Estes *softwares* calculam automaticamente, depois de definida a ferramenta e o material a maquinar, a velocidade a que a árvore deve rodar e a velocidade de avanço. Estas velocidades têm relação com a dureza do material, com o número de gumes de corte e diâmetro da ferramenta e com a operação, se é de acabamento ou de desbaste.

Apresentam-se de seguida alguns *softwares* CAD/CAM: *Mastercam*[®]; *PowerMILL*[®]; *SolidCAM*[®]/*InventorCAM*[®] e o *FeatureCAM*[®].

Os *softwares* CAD-CAM utilizados para a produção das peças foram utilizados para a elaboração da modelação em 3D. Foi utilizado o *software Solidworks*[®] para a conceção e para a maquinagem o *software FeatureCAM*[®]. Depois da simulação das peças no *software FeatureCAM*[®] esse programa gerado pode ser transferido diretamente para o centro de maquinagem CNC.

3.2.3. Metodologia

- Para a conceção das peças é fundamental fazer uma correta organização e definição da metodologia a ser utilizada:
- Definir o conjunto de peças a maquinar;
- Definir o material das peças
- Realizar a modelação 3D das peças, com o auxílio do *software Solidworks*[®];
- Obter informação acerca das características do material das peças, de forma a proceder-se à melhor definição de ferramentas;
- Criar os desenhos técnicos das peças, de forma a definir estratégias de maquinagem das ferramentas a utilizar, os parâmetros de corte, otimizando o diâmetro de cada ferramenta e ainda as trajetórias de corte;
- Definir as fixações necessárias para a maquinação;
- Proceder a ajustes ao desenho de forma a ser possível a maquinação;
- Criar o programa CNC utilizando a ferramenta CAD-CAM designada *FeatureCAM*[®];

- Analisar o código gerado por esse programa e fazer possíveis correções bem como recriar o programa, analisando cuidadosamente a sequência na simulação;
- Cortar os blocos de aço com as dimensões definidas inicialmente, tendo em conta sobre espessuras necessárias na maquinagem;
- Posicionar o bloco no centro de maquinagem e executar o programa CNC;
- Verificar as peças maquinadas;

3.2.4. Considerações sobre as peças

Os provetes usados, tal como as juntas realizadas neste trabalho, respeitam as práticas de fabrico e controlo para a melhor reprodutibilidade e coerência de resultados. A realização de provetes implica uma fase de projeto e dimensionamento de gabarits.

O material a seleccionar para corresponder às exigências deverá, ter boa resistência mecânica e boa condutividade térmica.

Deste modo o material escolhido para as peças foi um aço DIN CK45, o qual tem uma rigidez suficiente elevada, dado que as peça tem necessidade de bons acabamentos superficiais e uma boa estabilidade dimensional.

Para a maquinagem do material, quando possível, deve-se considerar aumentar a velocidade de maquinagem, fazendo com que esta seja maior que a velocidade de condutividade térmica, concentrando a maior parte do calor dissipado para o material removido [35].

As peças definidas para a realização desta tese vão ser divididas em três grupos:

- Gabarit para fabrico dos provetes;
- Ferramenta para solicitação dos provetes;
- Provetes tipo *TAST*, segundo a norma *ISO 11003-2* [19].

3.2.4.1. Material

Os substratos devem ser metálicos e espessos para que apresentem elevada rigidez. O material a selecionar deverá corresponder às exigências e apresentar um baixo custo. De entre os materiais com estes requisitos, os aços ao carbono (de construção) são os que melhor empregam estas propriedades.

Os aços recomendados na norma de ensaio *ISO 11003-2*, devido ao seu alto módulo de elasticidade, são: *XC18 (AISI 1017)* ou *E24 (ASTM A284)* de grau 1 ou 2.

Do ponto de vista da composição, os aços ferramenta são ligas de aço ao carbono ou ligados, capazes de endurecidos e revenidos.

Tabela 13 - Constituição do aço AISI 1045 [36, 34].

Tipo de aço	Características	Valores em %
<i>AISI 1045</i>	Carbono (C)	0,45
	Silício (Si)	≤ 0,40
	Manganês (Mn)	0,65
	Ferro (Fe)	≤ 98,98

Tabela 14 - Propriedades do aço AISI 1045 [36, 37].

Tipo de aço	Propriedades	Valores
<i>AISI 1045</i>	Tensão de Cedência (MPa)	530
	Tensão de Ruptura (MPa)	625
	Dureza (HB)	179
	Módulo de Young (GPa)	205
	Densidade (g/cm ³)	7,85
	Coefficiente Poisson (ν)	0,29
	Módulo de corte (MPa)	80

Deste modo escolheu-se o aço *DIN CK45*¹ que concilia boas propriedades com baixo custo, possui uma razoável maquinabilidade (55% numa escala de 0 a 100%). É usado em componentes estruturais e de máquinas [36, 37].

A influência das características do aço na maquinagem, não está apenas relacionada com a constituição química e pelas suas propriedades. É importante também conhecer o tratamento térmico a que foi sujeito (Tabela 15), para determinar a microestrutura.

Tabela 15 - Tratamento térmico [36, 37].

Tipo de aço	Características	Valores
AISI 1045	Forjamento (°C)	850 a 1050
	Recozimento (°C)	650 a 700
	Tempera (°C)	800 a 860
	Meio de arrefecimento	4 e 5
	Revenido (°C)	180 a 300

Nota: 4 = óleo; 5 = água

A maquinabilidade pode ser melhorada recorrendo a um tratamento térmico de recozimento; este deve produzir microestruturas com dureza entre 190 a 240 HV [38, 39]

A partir das temperaturas e tempos de arrefecimento é possível determinar a curva de transformação por arrefecimento contínuo (TRC).

A posição do diagrama TRC é um indicativo da temperabilidade do aço. Quanto mais para esquerda a curva do diagrama estiver posicionada mais fácil será a formação de martensite, portanto, pior a maquinabilidade.

Na Figura 26 está representado o diagrama TRC para o aço AISI 1045, com algumas curvas de arrefecimento sobrepostas. As estruturas após tratamento possíveis são a

¹ Normas: Euronorm C45E; UNE F-1140 AISI 1045; SAE 1045; DIN C45, Ck45 Cm45, Cq45

martensite, para arrefecimentos rápidos, ferrite + perlite para arrefecimentos lentos (ou recozimentos). Podem-se obter misturas de estruturas para arrefecimentos intermédios tais como perlite + martensite [40].

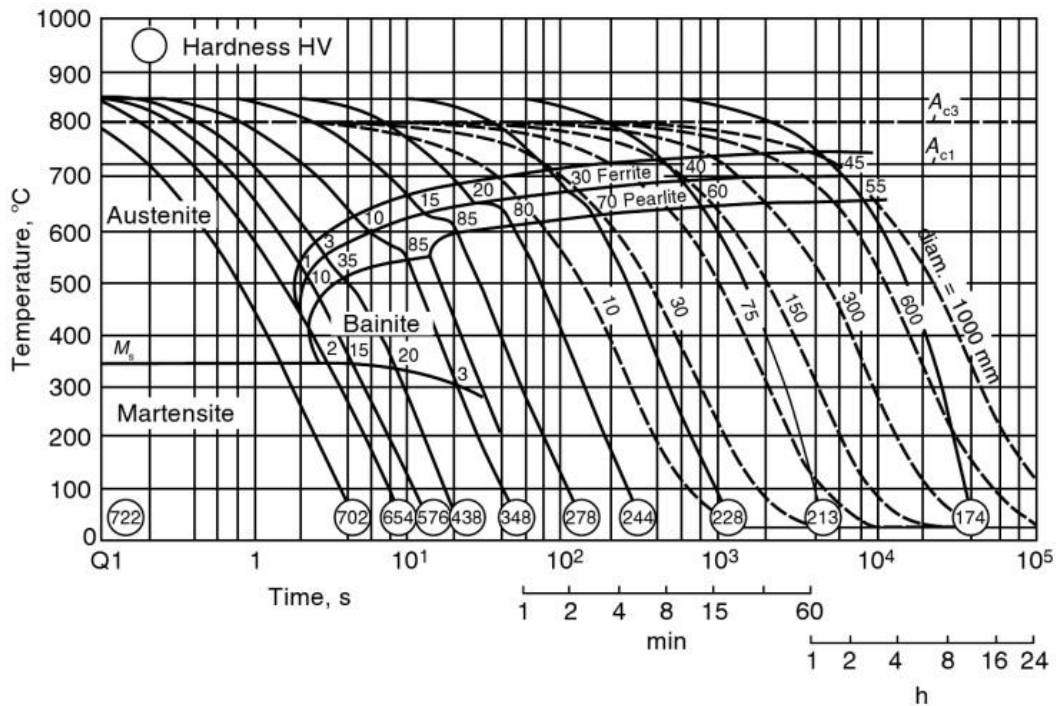


Figura 26 - Diagrama TRC (CCT) para o aço DIN Ck45 (tempera a 850°C) (adaptado da ref^a. [41]).

Pontos a considerar na maquinagem deste material:

- A maquinabilidade pode ser melhorada recorrendo a um tratamento térmico de recozimento, (apenas se a peça já estiver temperada).
- Poderá ser utilizada lubrificação, garantindo assim um melhor acabamento das peças;
- A abrasão do material para com as ferramentas não é grave, mas deve ser considerada.
- Poderão ser utilizadas velocidades generosas de corte, assim como avanços consideráveis.

3.2.4.2. Provetes de *TAST*

Das metodologias de ensaio para obtenção de propriedades de corte, abordadas no próximo capítulo, o ensaio de *TAST* é um dos mais populares, uma vez que tanto os dispositivos de ensaio como a realização dos provetes são relativamente fáceis de executar [3]. A geometria e as dimensões dos provetes *TAST*, fabricados individualmente, são apresentadas na Figura 27. O desenho técnico da peça é apresentado no anexo A.

O ensaio é realizado em amostras com sobre espessura, aderentes rígidos, com um comprimento curto de sobreposição, de modo a obter uma distribuição mais uniforme de tensões de corte.

Os provetes têm furos nas suas extremidades para assegurar a sua ligação à máquina de tração. As duas ranhuras como mostrado na Figura 27 são para garantir a adesão do adesivo nesta área de sobreposição.

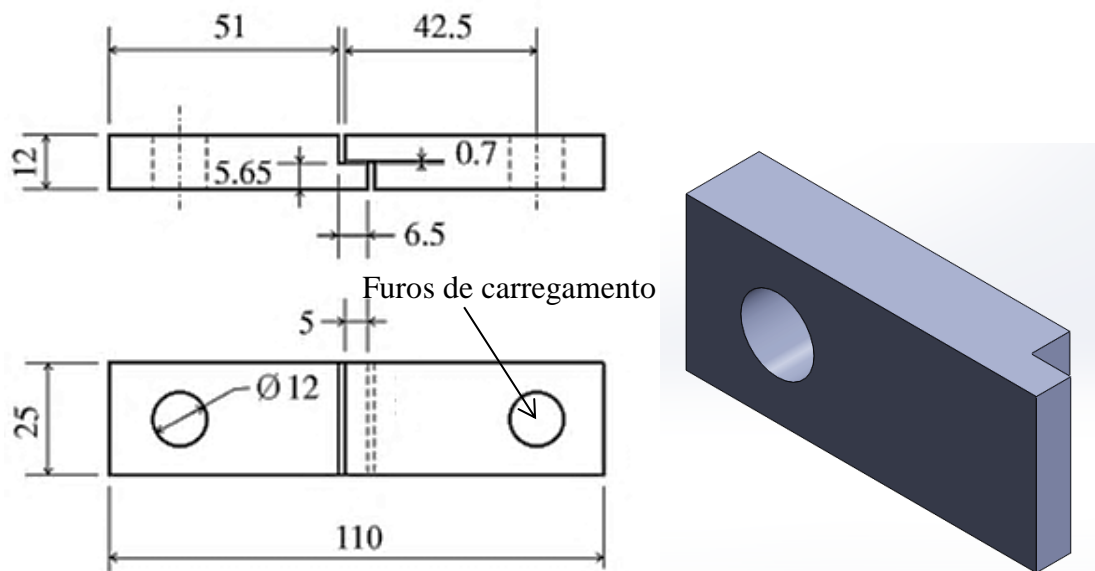


Figura 27 - Provette *TAST*, segundo *ISO 11003-2* (dimensões em mm).

3.2.4.2.1. Gabarit para os provetes de TAST

Para a fabricação do gabarit para os provetes de TAST a referência usada foi a norma ISO 11003-2.

Para manter e alinhar os substratos é necessário um gabarit como apresentado na Figura 28 e Figura 29. Este gabarit, fabricado em aço para assegurar uma boa condutividade térmica, permite a colagem simultânea de 6 provetes TAST. A condutividade térmica é importante no caso de a cura do adesivo ocorrer a quente (não é essencial ter o sobreaquecimento do adesivo que iria alterar as propriedades do adesivo) [18]. A superfície do gabarit deve ser plana, com bom acabamento superficial e livre de qualquer impureza.

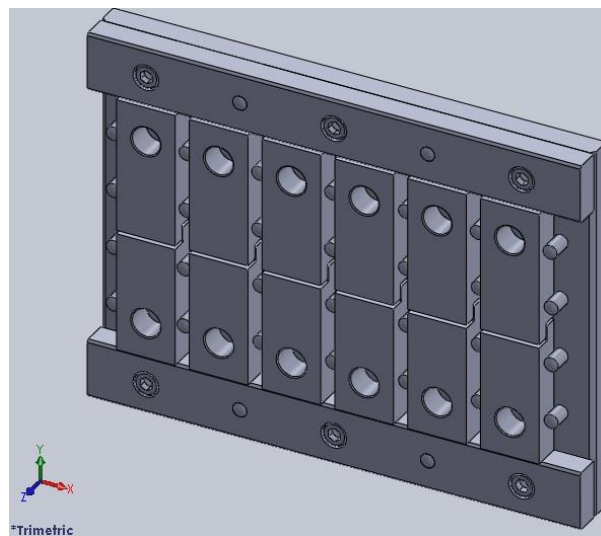


Figura 28 - Desenho do gabarit usado para o alinhamento de provetes.

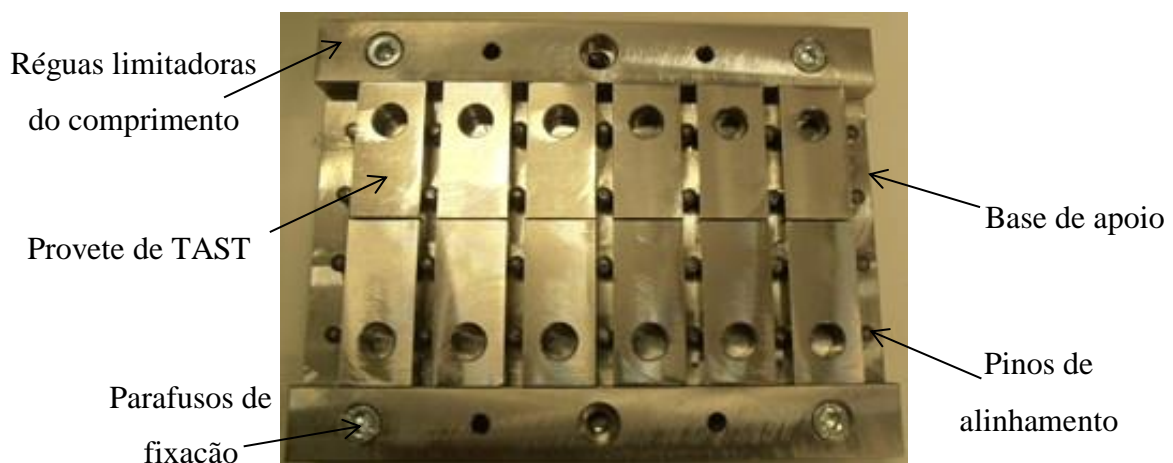


Figura 29 - Foto do gabarit usado para o alinhamento de provetes.

Nesta secção é apresentada a geometria do dispositivo concebido bem como a dos provetes que vão ser utilizados. As dimensões do dispositivo Figura 29 e dos seus componentes estão representadas no anexo A, nos desenhos técnicos.

Este gabarit é constituído pela base de apoio, por duas barras laterais, e por 32 pinos para orientar os provetes. As barras laterais são fixas à base por meio de 6 parafusos M6 com cabeça sextavada interior “*umbrako*”.

3.2.4.2.2. Material para o gabarit

As considerações para o material indicado para a fabricação do gabarit, tem que ter uma boa resistência mecânica, boa dissipação de calor, fácil de maquinar e de baixo custo.

A geometria do material selecionado para a fabricação da base de apoio e as réguas limitadoras do comprimento dos provetes, tem a forma de perfil retangular.

Para o alinhamento dos provetes foram escolhidos, pinos-guia segundo as dimensões da norma *DIN EN ISO 8735-6×18*, sabendo apenas que se trata de um aço de corte. Os parafusos segundo a norma *DIN 912*, foram do tipo $M6 \times 12$, em aço.

3.2.4.3. Ferramentas de ligação a máquina de tração

Para o ensaio dos provetes de *TAST* foi necessário realizar amarras e todo o conjunto de ligação à máquina de tração, sendo que a sua configuração não é muito comum, tal forma que a própria norma de ensaio demonstra um exemplo de uma possível ligação, como apresentado na Figura 30.

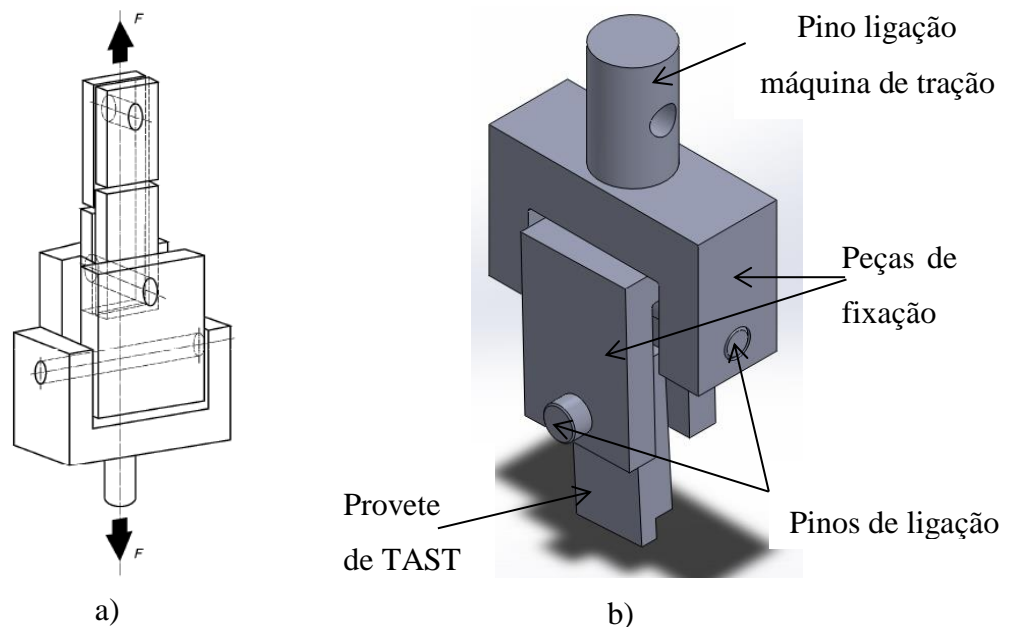


Figura 30 - a) Exemplo do dispositivo para ensaiar o substrato numa máquina de ensaio de tração; b) Exemplo CAD do dispositivo

As amarras para o ensaio de tração apertam as suas extremidades fixando o provete. O seu posicionamento é garantido pelos pinos que passam nos furos dos provetes.

O provete é tracionado para cada um dos lados. A amarra de fixação é efetuada por meio de pinos, deste modo, a zona de ligação do provete está sujeita a corte puro, Figura 30.

Para este método desenvolveu-se um dispositivo de fixação de provetes parecido com o da norma, tendo pequenas alterações construtivas no sentido de privilegiar formas simples (menor número de peças) sendo assim mais fácil de executar e de montar, devido à diminuição das dificuldades de alinhamento, ver Figura 31. Este dispositivo, tal como o exemplo da norma, também tem a função de não deixar submeter o provete a esforços nos eixos ortogonais X e Y, e assim estar sujeito a momentos fletor e torsor. Assim, é assumida um estado de corte puro e uma deformação de corte uniforme ao longo do ensaio. Os desenhos técnicos são apresentados no anexo A.

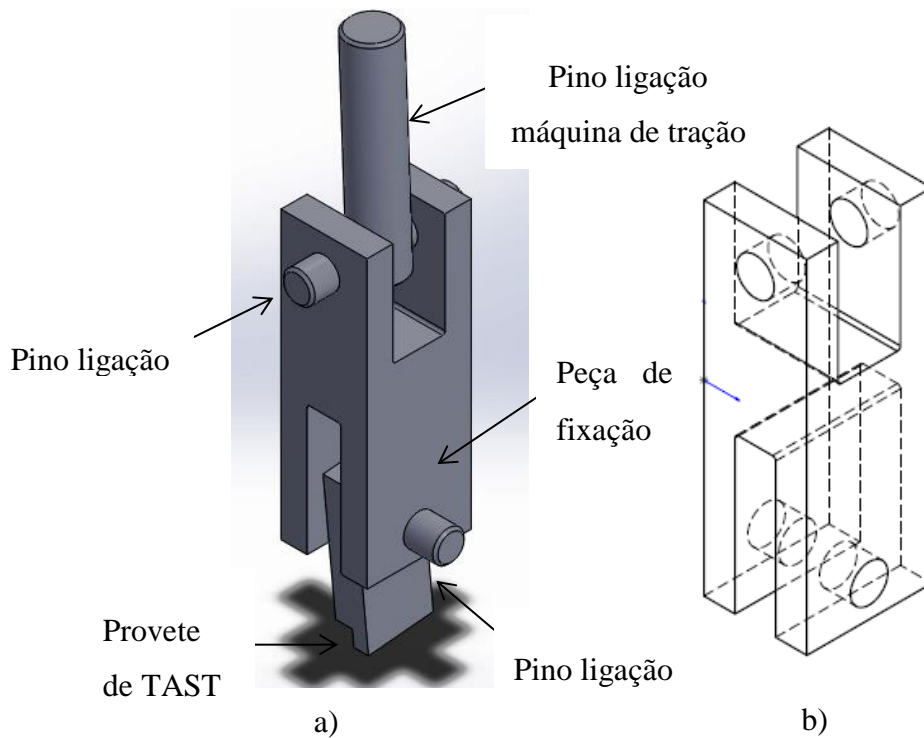


Figura 31- Dispositivo para ensaiar o substrato numa máquina de ensaio de tração a); Desenho do dispositivo b).

3.2.4.3.1. Simulação da resistência

Existem *softwares* que permitem simular elementos coesivos por exemplo o *Ansys*[®] e *Abacus*[®]. Para a simulação da resistência mecânica da ferramenta foi efetuada as simulações referentes às forças que atuam nos elementos do dispositivo e ao comportamento do adesivo foi escolhido o programa *Solidworks*[®]. Sendo os resultados obtidos em termos de forças e deslocamentos utilizados para ajustar as dimensões das espessuras das paredes e distâncias das furações da peça. Foi considerado o adesivo estrutural com maior valor de tensão de corte. O adesivo epóxico é o que tem maior tensão de corte (45 MPa), ver Tabela 5. Para este valor de tensão foi ainda atribuído um coeficiente de segurança de C.S.= 1.5, assim o valor tensão máxima admissível considerado para a simulação do comportamento da peça foi de 68 MPa.

No desenho da peça e simulação da atuação de forças, foram usados elementos sólidos 3D tetraédricos parabólicos integrados com 4 pontos de Gauss (para verificação do Jacobiano).

Para obter uma melhor precisão numérica, utilizou-se uma malha com elementos tetraédricos uniformes de arestas com o mesmo comprimento. O número de pontos de

Gauss tem como base um número de pontos traçados dentro de cada elemento. Para o efeito foi escolhida a componente de 4 nós.

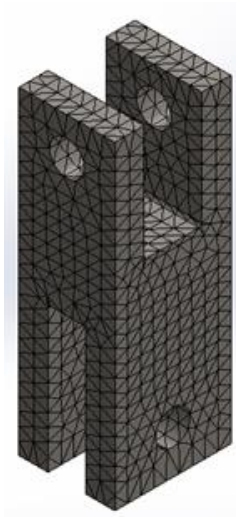


Figura 32- Representação da malha para a simulação da peça.

Para efetuar o estudo das forças a ser submetidas na peça, foram considerados os dois furos inferiores encastrados (pontos fixos), nas faces da superfície superior são solicitadas a atuação de forças, como demonstrado na Figura 33. A força tem a direção do eixo dos yy e sentido positivo.

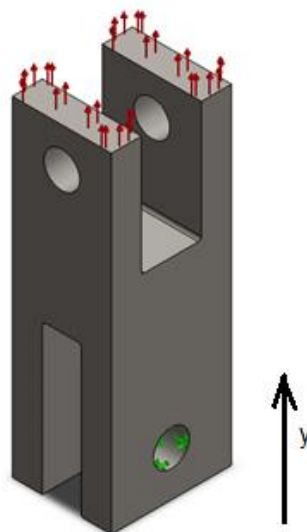


Figura 33- Direção da força no eixo dos yy e sentido positivo.

A Figura 34 e a Figura 35 apresentam a distribuição de tensão e os deslocamentos.

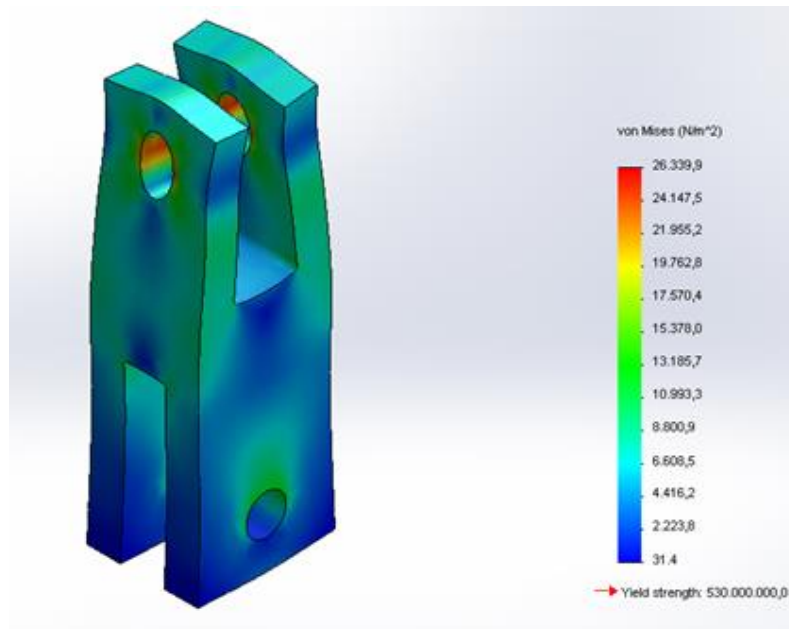


Figura 34 - Distribuição de tensões na peça.

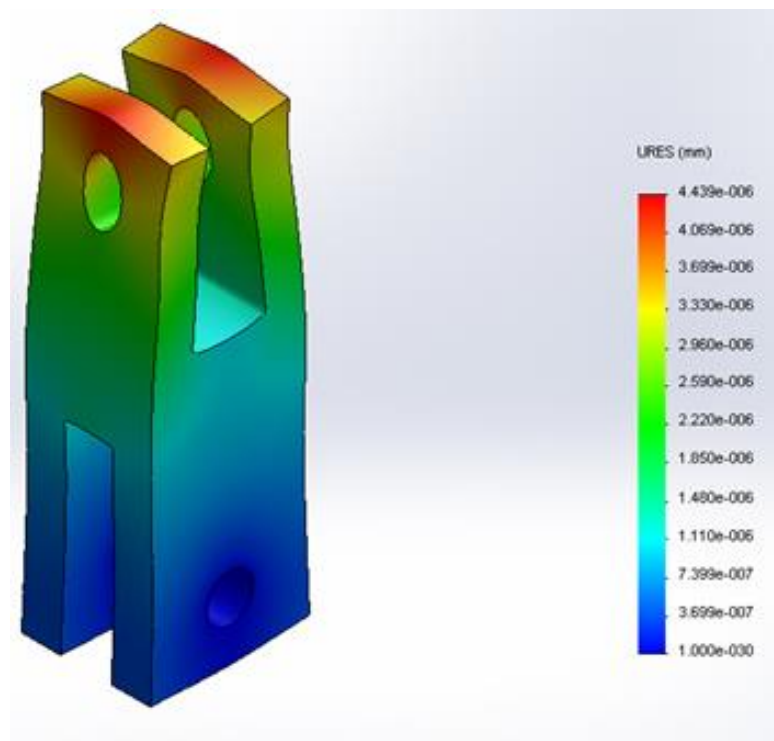
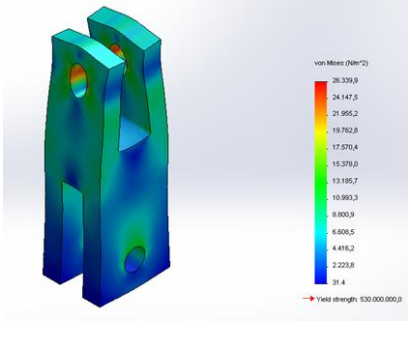
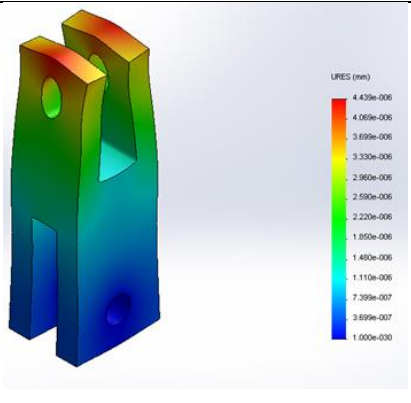


Figura 35 - Distribuição de deformações na peça.

Tabela 16 - Análise de tensões e deslocamentos.

Análise de tensões	Resultados obtidos	
	Tensão máxima (MPa)	266
	Tensão mínima (MPa)	0,41
	Massa (kg)	0,693
	Volume (m ³)	$8,8 \times 10^{-5}$
Análise de deslocamentos	Resultados obtidos	
	Deslocamento máximo (mm)	$4,4 \times 10^{-6}$
	Deslocamento mínimo (mm)	0
	Densidade (Kg/m ³)	7850

Considerando que o valor de tensão de cedência deste aço *AISI 1045* é de 530 MPa, o valor de tensão máxima desta peça é inferior, logo podemos afirmar, partindo desta simulação, que em ensaios futuros a peça deve resistir à solicitação imposta para os ensaios de adesivos estruturais.

3.2.4.3.2. Material para acoplamento à máquina de tração

O material indicado para a fabricação da peça para a ligação a máquina de tração, tem que ter uma boa resistência mecânica, fácil de maquinar e de baixo custo.

O aço *AISI 1045* foi o material selecionado para a fabricação do acoplamento para a ligação a máquina de tração, tem forma de perfil retangular.

3.2.5. Estratégia de maquinagem

Normalmente, o ciclo de desenvolvimento de uma peça em maquinagem é bastante longo e moroso e requer a aplicação de várias áreas do conhecimento técnico. Para a conceção das peças necessárias, para este trabalho foram utilizadas as seguintes técnicas de maquinagem:

- Corte
- Fresagem
- Torneamento

3.2.5.1. Preparação dos blocos

Primeiramente, foram adquiridas 6 barras com dimensões de $150 \times 100 \times 15 \text{ mm}^3$, retangulares calibradas - *DIN 174*. Procedeu-se ao corte longitudinalmente das barras de aço, recorrendo para isso a um serrote mecânico na oficina mecânica do ISEP. Foram cortados 2 provetes de cada barra com dimensões próximas das pretendidas.

Chegou-se à conclusão que seria necessário mais material com dimensões mais reduzidas para diminuir os tempos de fabricação e eliminar grandes desperdícios de material (corte e maquinagem). Atendendo a que o material é relativamente duro, o tempo necessário ao corte (baixo avanço) era bastante elevado, o que inviabiliza o processo. Segundo informações de alguns fabricantes de serras de corte, o número de dentes por comprimento deve ser considerado em função do material e da dimensão da peça a cortar.

Foi também adquirida uma barra de $250 \times 220 \times 15 \text{ mm}^3$, da qual foram retiradas 2 barras laterais e a base. As dimensões obtidas são:

- 12 Provetes tipo *TAST*: $57,50 \times 25 \times 12 \text{ mm}^3$;
- 2 Barras laterais: $212 \times 27 \times 15 \text{ mm}^3$;
- 1 Base: $212 \times 162 \times 15 \text{ mm}^3$.

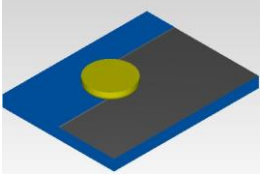
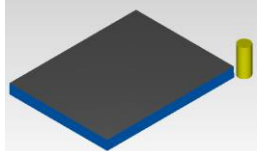
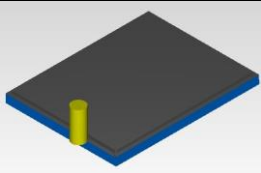
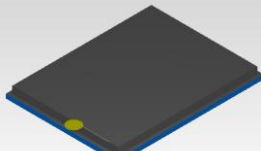
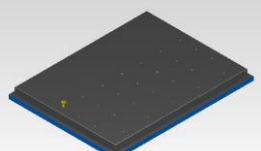
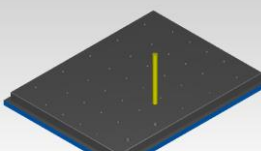
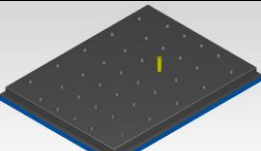
Seguidamente, foram efetuadas as operações de maquinagem que abaixo se descrevem:

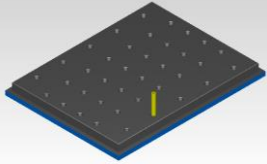
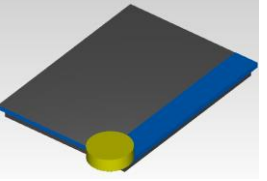
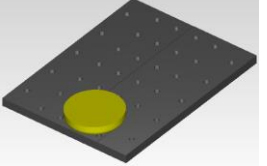
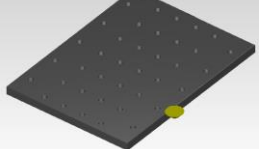
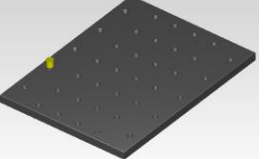
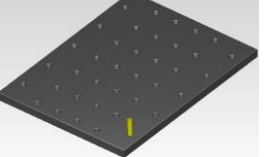
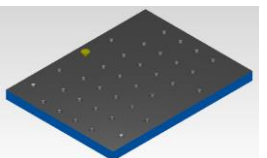
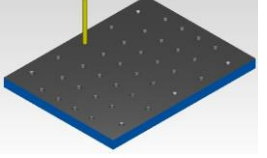
- Os aços laminados e forjados apresentam sempre defeitos superficiais, calamina e uma ligeira camada descarbonizada. Por este motivo, a maquinagem deve ser feita de modo a retirar esta camada superficial (sobremetal) por forma a ter-se a certeza da boa qualidade da superfície da peça acabada. Para o material adquirido, é recomendada a remoção de uma sobreespessura de 2 mm [42].
- Fresagem CNC de desbaste partindo de um material em bruto: esta operação é executada em 2½ eixos, pois a ferramenta é posicionada numa determinada altura em Z e depois executa movimentos em dois eixos para remoção de material deste nível. Quando a remoção de material deste nível é finalizada, a ferramenta posiciona-se numa nova cota em Z (definida pela profundidade de corte), remove o material deste plano, repetindo este processo até o fim. Normalmente, deixa-se uma sobreespessura para a operação final de acabamento;
- Fresagem CNC para alívio de cantos e pré-acabamento: estas operações têm a finalidade de eliminar grandes volumes de material deixado pelo desbaste; devido à ineficiência do processo em remover material em áreas onde a ferramenta de desbaste (devido ao diâmetro) é incapaz de maquinar livremente;
- Fresagem CNC de acabamento: esta é uma operação de fresagem em 3 eixos, que visa remover as sobras de material deixado pelas operações de desbaste;
- Operações manuais de acabamento (polimento e retificação): consomem um tempo relativamente longo. Este processo tem a finalidade de eliminar as imperfeições deixadas pelas operações anteriores de maquinagem, influenciando de forma determinante os custos, tempos de produção, desvios de tolerâncias e qualidade superficial.

3.2.5.2. Sequência de maquinagem

Base

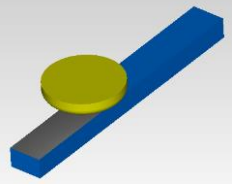
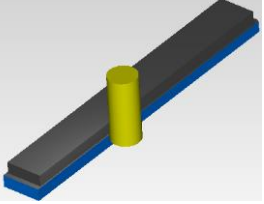
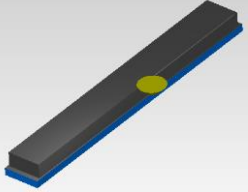
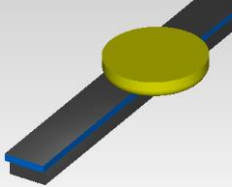
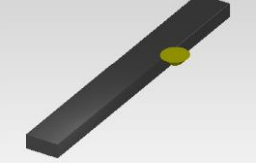
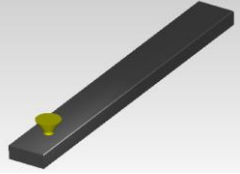
Tabela 17- Preparação da base (gabarit).

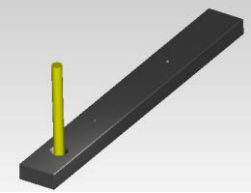
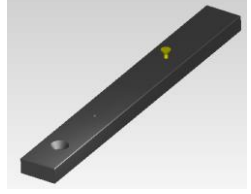
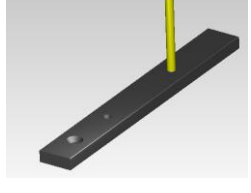

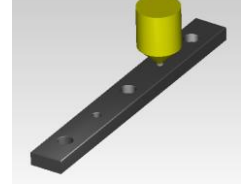
Operação	1ºAperto (Facejamento/ Furação)	Sequência de maquinagem
1	- Facejar a superfície do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK® - Face Mill R200</i> de Ø 63 mm de 4 navalhas, desbastar 1 mm de espessura do bloco inicial, seguido de um acabamento de 0,1 mm.	
2	- Desbastar as laterais começando por quebrar as arestas dos cantos, com a ferramenta <i>CM-Tools® - EndMill:20.0: 53W20006</i> de Ø 20 mm, de 4 navalhas e a uma profundidade de 10,5 mm.	
3	- Desbastar o restante material, com a ferramenta <i>CM-Tools® - EndMill:20.0: 53W20006</i> de Ø 20 mm, de 4 navalhas e a uma profundidade de 10,5 mm. Realizando em seguida o acabamento.	
4	- Realizar os chanfros das arestas. Para isso, utilizar o escareador <i>ChamferMill:M0800</i> ; Realizando uma penetração de 10,5 mm.	
5	- Com a broca de ponto <i>DORMER® - CenterMill:02,5:A200</i> Ø 2,5 mm, marcação do centro para os furos. Realizando uma penetração de 2 mm.	
6	- Posterior realização da furação, produzindo trinta e oito furos com a broca <i>M5,5 - Twist Drill:05.5</i> . Realizando uma penetração 15 mm.	
7	- Facejar o interior de trinta e dois furos, para o Ø 6, facejamento realizado com a fresa <i>CM-Tools® - EndMill:05.0: 53W05006</i> de Ø 5 mm, de 4 navalhas. Realizando uma penetração de 15 mm.	

8	- Alargar os 32 furos para \varnothing 6, com o alargador <i>Counter Sink</i> 90:M0800. Realizando uma penetração de 14,5 mm.	
Operação	2º Aperto (furação; roscagem e facejamento)	Sequência de maquinagem
9	- Facejar a superfície do bloco, com a ferramenta <i>Face Mill:50.0:APKT1604 LAMINA</i> ® APKT1604 de \varnothing 50 mm, de 4 navalhas, desbastar 6 mm da espessura do bloco inicial.	
10	- Facejar a superfície do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK</i> ® <i>COROMILL R200</i> de \varnothing 63 mm e 4 navalhas, acabamento de 0,25 mm.	
11	Realizar os chanfros das arestas. Para isso, utilizar o escareador <i>Chamfer Mill: M0800</i> de \varnothing 8 mm; Realizando uma penetração de 10 mm	
12	- Realizar os chanfros que serão necessários na introdução do alargador. Para isso, utilizar o escareador <i>Counter Sink 90:M0800</i> de \varnothing 8 mm e 1 navalha; realizando uma penetração de 3,2 mm.	
13	- Realização do alargamento dos furos para produzir furos com tolerância H7, utilizar o alargador <i>DORMER</i> ® - <i>Ream:06.0:6H7</i> \varnothing 6 mm, de 6 navalhas. Realizando uma penetração de 10 mm.	
14	- Realizar os chanfros que serão necessários na introdução dos machos para abertura das roscas. Para isso, utilizar o escareador <i>Counter Sink 90:M0800</i> de \varnothing 8 mm; com uma penetração de 3,2 mm.	
15	- Em seguida, realizar as roscas, utilizando um macho M6 <i>DORMER</i> ® EP006H de \varnothing 6 mm para os seis furos. Realizando uma penetração de 9,7 mm.	

Barras laterais.

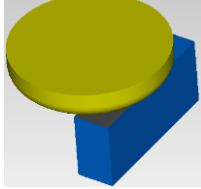
Tabela 18 - Preparação das barras laterais.

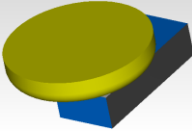
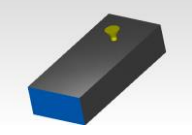
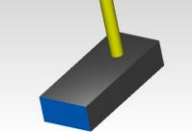
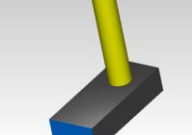
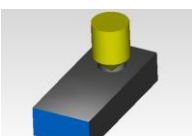
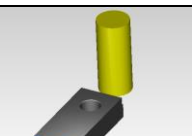
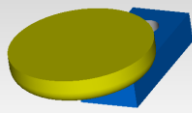
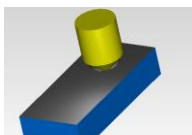
Operação	1ºAperto (Facejamento)	Sequência de maquinagem
1	- Facejar a superfície do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK® Face Mill:63.0:R200</i> de Ø 63 mm e de 4 navalhas, desbastar 0,5 mm da espessura do bloco inicial, seguindo de um acabamento de 0,2 mm.	
2	- Desbastar as laterais com a ferramenta <i>CM-TOOLS® End Mill:20.0: 53W20006</i> de Ø 20 mm e de 4 navalhas, com uma profundidade de 11 mm, seguindo de um acabamento com uma profundidade de 11 mm.	
3	- Realização dos chanfros das arestas superiores. Utilizar o escareador <i>Chamfer Mill:M0800</i> (HSS) de Ø 8 mm e de 1 navalha, Realizando uma penetração de 11 mm.	
Operação	2ºAperto (furação; roscagem e facejamento)	Sequência de maquinagem
4	- Facejar a superfície do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK® Face Mill:63.0:R200</i> de Ø 63 mm e de 4 navalhas, desbastar 0,5 mm da espessura do bloco inicial, seguindo de um acabamento de 0,2 mm.	
5	- Realização dos chanfros das arestas superiores. Utilizar o escareador <i>Chamfer Mill:M0800</i> (HSS) de Ø 8 mm e de 1 navalha, Realizando uma penetração de 11 mm.	
6	- Com a broca de ponto <i>Center Mill_M1600-0630</i> (HSS) Ø 6,3 mm, marcação de 3 centros para os furos. Realizando uma penetração de 10,67 mm.	

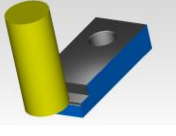
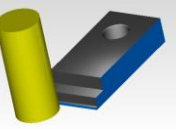
7	- Realização da furação, produzindo 3 furos com a broca <i>Twist Drill</i> _M0660:J (HSS) Ø 6,6 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 14,64 mm.	
8	- Com a broca de ponto <i>DORMER</i> ® <i>Center Mill:02.5: A200</i> (HSS) Ø 2,5 mm, marcação de 2 centros para os furos. Realizar com uma penetração de 2,0 mm.	
9	- Realização da furação, produzindo 2 furos com a broca <i>Twist Drill</i> _M0600:J (HSS) Ø 6 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 14,64 mm.	
10	- Rebaixar os 3 furos, com a fresa <i>DORMER</i> ® <i>End Mill: 05.0: 53W5006</i> (HSS) Ø 5 mm, de 4 navalhas. Com uma penetração de 4 mm.	
11	- Realização dos chanfros nas circunferências dos furos. Utilizar o escareador <i>DORMER</i> ® <i>Counter Sink:31.5: G129</i> (HSS) de Ø 31,5 mm e de 1 navalha, Realizando uma penetração de 3,3 mm.	

Provete TAST.

Tabela 19 - Preparação dos provetes de TAST.

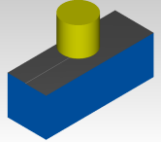

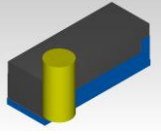
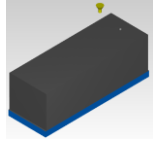
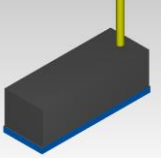
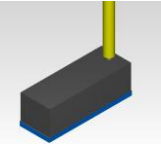
Operação	1º Aperto (Facejamento)	Sequência de maquinagem
1	- Facejar a face lateral do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK</i> ® <i>Face Mill:63.0:R200</i> de Ø 63 mm e de 4 navalhas, desbastar 1,5 mm da espessura do bloco inicial, seguindo de um acabamento de 0,5 mm.	

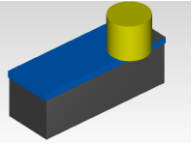
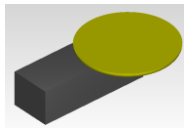
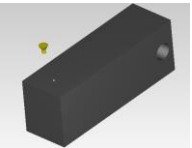
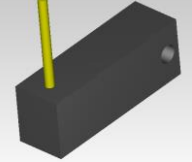
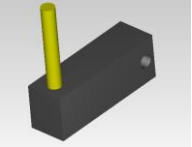
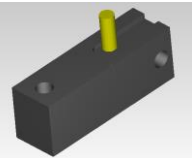
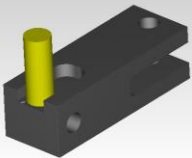
Operação	2º Aperto (Facejamento)	Sequência de maquinagem
2	- Facejar o topo do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK® Face Mill:63.0:R200</i> de Ø 63 mm e de 4 navalhas, desbastar 2,0 mm da espessura do bloco inicial, seguindo de um acabamento de 0,5 mm.	
3	- Com a broca de ponto <i>Center Mill_M1600-0630</i> (HSS) Ø 6,3 mm, marcação de 1 centros para os furos. Realizando uma penetração de 10,67 mm.	
4	- Realização da furação, produzindo 1 furo com a broca <i>Twist Drill_M0600:J</i> (HSS) Ø 6 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 16,403 mm.	
5	- Realização da furação, produzindo 1 furo com a broca <i>Twist Drill_M1200:J</i> (HSS) Ø 12 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 18,805 mm.	
6	- Escarear o furo. Utilizar o escareador <i>DORMER® Counter Sink 90: M1600</i> (HSS) de Ø 16 mm e de 1 navalha, Realizando uma penetração de 6,3 mm.	
7	- Desbastar as laterais com a ferramenta <i>CM-TOOLS® End Mill: 20.0: 53W20006</i> de Ø 20 mm e de 4 navalhas, com uma profundidade de 15 mm, seguindo de um acabamento com uma profundidade de 15 mm.	
Operação	3º Aperto (Facejamento)	Sequência de maquinagem
8	- Facejar o topo do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK® Face Mill:63.0:R200</i> de Ø 63 mm e de 4 navalhas, desbastar 2,0 mm da espessura do bloco inicial, seguindo de um acabamento de 0,5 mm.	
9	- Escarear o furo. Utilizar o escareador <i>DORMER® Counter Sink 90: M1600</i> (HSS) de Ø 16 mm e de 1 navalha, Realizando uma penetração de 6,3 mm.	

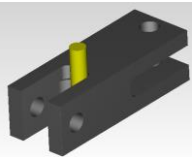
10	- Desbastar o rasgo lateral com a ferramenta <i>CM-TOOLS® End Mill: 20.0: 53W20006</i> de Ø 20 mm e de 4 navalhas, com uma profundidade de 6,350 mm, seguindo de um acabamento com uma profundidade de 6,350 mm.	
11	- Desbastar a lateral com a ferramenta <i>CM-TOOLS® End Mill: 20.0: 53W20006</i> de Ø 20 mm e de 4 navalhas, com uma profundidade de 6,650 mm, seguindo de um acabamento com uma profundidade de 6,650 mm.	

Ferramentas ligação máquina

Tabela 20 - Preparação das ferramentas ligação máquina.

Operação	1º Aperto (Facejamento)	Sequência de maquinagem
1	- Facejar o topo do bloco, com a ferramenta <i>Face Mill: M3200</i> de Ø 32 mm e de 3 navalhas, desbastar 1,0 mm da espessura do bloco inicial.	
2	- Facejar o topo do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK® Face Mill: 80.0: R245</i> de Ø 92,5 mm e de 6 navalhas, acabamento 0,2 mm da espessura do bloco inicial.	
3	- Facejar a face lateral do bloco, com a ferramenta <i>End Mill: M2500: 4reg</i> de Ø 25 mm e de 4 navalhas, desbastar 33,5 mm da espessura do bloco inicial, seguindo de um acabamento de 33,5 mm.	
4	- Com a broca de ponto <i>DORMER® Center Mill: 02.5: A200 (HSS)</i> Ø 2,5 mm, marcação de 1 centro para o furo. Realizar com uma penetração de 2,0 mm.	
5	- Realização da furação, produzindo 1 furo com a broca <i>Twist Drill _M0600:J (HSS)</i> Ø 6 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 33,803 mm.	
6	- Realização da furação, produzindo 1 furo com a broca <i>Twist Drill _M1200:J (HSS)</i> Ø 12 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 37,605 mm.	

Operação	2º Aperto (Facejamento)	Sequência de maquinagem
7	- Facejar o topo do bloco, com a ferramenta <i>Face Mill: M3200</i> de Ø 32 mm e de 3 navalhas, desbastar 6,0 mm da espessura do bloco inicial.	
8	- Facejar o topo do bloco, com a ferramenta <i>SANDVIK® Face Mill:80.0:R245</i> de Ø 92,5 mm e de 6 navalhas, acabamento 0,5 mm da espessura do bloco inicial.	
9	- Com a broca de ponto <i>DORMER® Center Mill:02.5: A200 (HSS)</i> Ø 2,5 mm, marcação de 1 centro para o furo. Realizar com uma penetração de 2,0 mm.	
10	- Realização da furação, produzindo 1 furo com a broca <i>Twist Drill _M0600:J (HSS)</i> Ø 6 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 43,803 mm.	
11	- Realização da furação, produzindo 1 furo com a broca <i>Twist Drill _M1200:J (HSS)</i> Ø 12 mm, de 1 navalha. Realizando uma penetração de 46,605 mm.	
12	- Desbastar interior (lado TAST) com a ferramenta <i>CM-TOOLS® End Mill: 10.0: 53W10006</i> de Ø 10 mm e de 4 navalhas, com uma profundidade de 44 mm, seguindo de um acabamento com uma profundidade de 44 mm.	
Operação	3º Aperto (Facejamento)	Sequência de maquinagem
13	- Desbastar interior (lado máquina) com a ferramenta <i>CM-TOOLS® End Mill: 16.0: 53W16006</i> de Ø 16 mm e de 4 navalhas, com uma profundidade de 33,5 mm.	

14	- Desbastar interior (lado máquina) com a ferramenta <i>CM-TOOLS® End Mill: 10.0: 53W10006</i> de Ø 10 mm e de 4 navalhas, com uma profundidade de 33,5 mm, seguindo de um acabamento com uma profundidade de 33,5 mm.	
-----------	--	---

3.2.5.3. Preparação dos blocos/ Varão

Para a preparação das ferramentas, tal como vimos anteriormente, foram utilizados os processos mais comuns em maquinagem, o torneamento e a fresagem. Estes constituem o maior número de aplicações na prática industrial, embora existam outras operações subsequentes para fabricação dos componentes maquinados.

Torneamento

- O torneamento pode ser decomposto em várias operações e tipos de ferramentas, dados de corte e programação de certas operações.
- O processo varia em função da geometria e do material da peça, das condições, exigências, custos – fatores que podem influenciar a ferramenta de corte.

No anexo B, são mencionadas as ferramentas utilizadas na preparação dos blocos.

Nota: Utilizar ferramentas agudas com geometrias positivas [43].

Furação

Atendendo às tolerâncias requeridas, para as configurações geométricas das ferramentas, será necessária a utilização de brocas de metal duro, de elevado desempenho, revestidas com *TiN/ TiAlN* (CDX) – H8 ou Brocas *HSS / HSCo* de elevado desempenho, revestidas com *TiN/ TiAlN* (ADX) – H9 [43].

Fresagem

O processo de seleção de uma fresa segue as seguintes etapas [43, 44]:

- Escolher o tipo de fresa (se é fresagem cilíndrica tangencial, fresagem frontal, vertical, horizontal, etc.)
- Seleção do diâmetro da fresa (o diâmetro ideal para um bom processo de maquinagem é de uma 1.25 vezes a largura da peça, no mínimo)
- Seleção dos dados de corte: máxima profundidade de corte, avanço por dente, avanço por rotação e velocidade de rotação da ferramenta.

3.2.5.4. Definição dos parâmetros de maquinagem

Os parâmetros de maquinagem tiveram em conta as propriedades do material a maquinar, tendo sido possível definir velocidades de avanço e de rotação, ver anexo C.

Torneamento

Os cálculos foram realizados através das seguintes equações [44, 45]:

- Velocidade de corte (m/min.) $V_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000}$ (4)
 D_c – diâmetro de corte (mm)
 n - r/min (rpm)

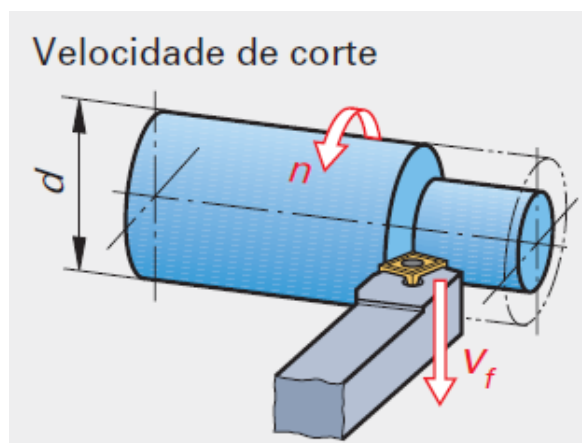


Figura 36 - Velocidade de corte torneamento [45].

- Velocidade de avanço (mm/min.) $V_f = f \times n$ (5)
 f - Avanço (mm)
 n – r/min (rpm)

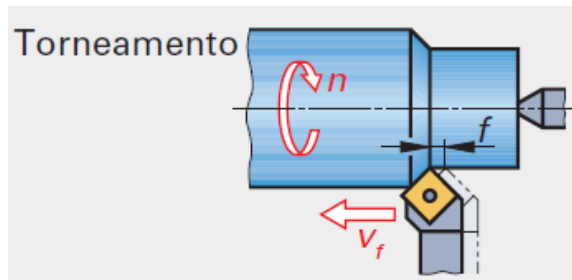


Figura 37 - Velocidade de avanço torneamento [45].

Furação

Os cálculos foram realizados através das seguintes equações [44, 45]:

- Velocidade de avanço (mm/min.) $V_f = f_n \times n$ (6)

f_n – Avanço/rot
 n – r/min (rpm)

- Velocidade de corte (m/min.) $V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000}$ (7)

D – diâmetro (mm)
 n - r/min (rpm)

Fresagem

Os cálculos foram realizados através das seguintes equações [44, 45]:

- Velocidade de corte (m/min.) $V_c = \frac{\pi \times D_c \times n}{1000}$ (8)

D_c – diâmetro de corte (mm)
 n - r/min (rpm)

- Velocidade de avanço (mm/min.) $V_f = f_z \times n \times Z_n$ (9)

f_z - Avanço por dente (mm)
 n – r/min (rpm)
 Z_n - nº de dentes

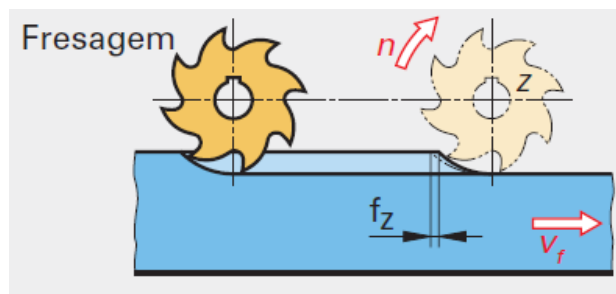


Figura 38 - Velocidade de avanço fresagem [45].

3.3 Detalhes experimentais

3.3.1. Introdução

A escolha do adesivo para a ligação do substrato está dependente de várias características: da velocidade de cura; tempo de utilização; resistência térmica; manuseio; resistência química; cor; necessidades de processo e aprovações específicas [29].

Será abordado o procedimento de ensaio dos provetes, dando particular importância aos equipamentos utilizados e aos *setups* experimentais.

3.3.2. Propriedades dos Adesivos

Foram selecionados três adesivos: um adesivo estrutural de base poliuretano (Adesivo *SikaForce*[®]7888 L10 (VP)), um adesivo epóxico muito rígido (*Araldite*[®] AV138/HV998 de *Huntsman*[®]) e um adesivo epóxico com rigidez com intermédia (*Araldite*[®] 2015 de *Huntsman*[®]).

As propriedades mecânicas dos adesivos utilizados são apresentadas nas Tabela 21 e Tabela 23.

3.3.2.1. Adesivo *Araldite*[®] AV138 da *HUNTSMAN*[®]

O adesivo AV138/HV988 é um **adesivo frágil** conforme se pode observar no gráfico Tensão vs Deformação da Figura 40. Trata-se de um adesivo epóxico, que se apresenta sob a forma de líquido de dois componentes, uma resina (AV138M-1) e um endurecedor (HV988) (Figura 39). A mistura dos componentes resina/endurecedor faz-se numa razão de 100/40, respetivamente. Informações retiradas da ficha técnica, disponibilizada pelo fabricante, ver anexo D.



Figura 39 - Adesivo *Araldite*[®] AV138 da *HUNSTMAN*[®].

Este adesivo apresenta uma boa resistência à temperatura elevada (120 °C). O modo de aplicação pode ser pela utilização de uma espátula.

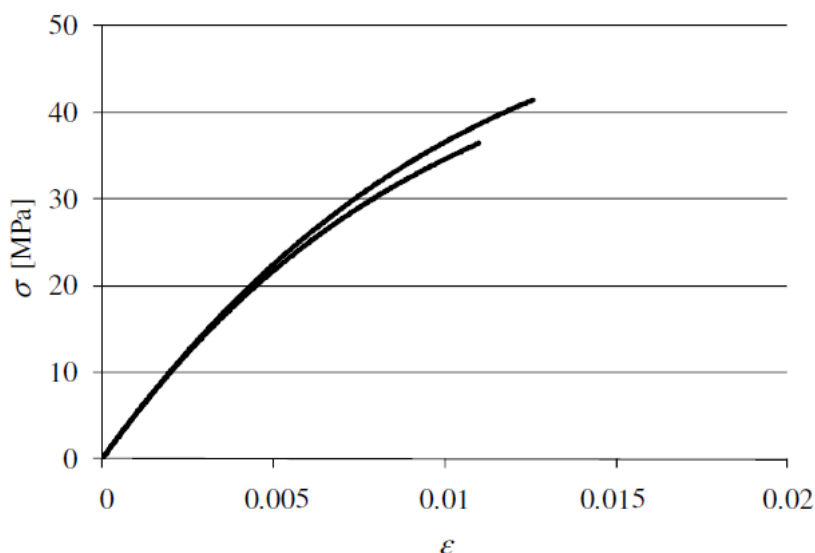


Figura 40 - Curvas Tensão/Deformação do adesivo Araldite® AV138 [46].

As propriedades deste adesivo são apresentadas na Tabela 21. Este adesivo encontra-se sob a forma de uma pasta de epóxico constituída por uma mistura de dois componentes.

Tabela 21 - Propriedades elásticas e plásticas do adesivo Araldite® AV138 [46].

Propriedades	AV138/HV988
Módulo de Young, E [GPa]	4,89 ± 0,81
Tensão de cedência, σ_y [MPa]	36,49 ± 2,47
Tensão de rotura, σ_f [MPa]	39,45 ± 3,18
Deformação à rotura, ϵ_f [%]	1,21 ± 0,10
Módulo de corte, G [GPa]	1,56 ± 0,01
Tensão de cedência de corte, τ_y [MPa]	25,1 ± 0,33
Tensão de rotura de corte, τ_f [MPa]	30,2 ± 0,40
Deformação de rotura de corte, γ_f [%]	7,8 ± 0,7

3.3.2.2. Adesivo *Araldite*[®] 2015 da *HUNTSMAN*[®]

Adesivo sob a forma de pasta epóxida, considerado um **adesivo com rigidez intermédio** constituído por uma mistura de dois componentes (Componente A+B) (Figura 41). Informações retiradas da ficha técnica, disponibilizada pelo fabricante, ver anexo E. Este tipo de adesivo apresenta uma boa resistência à clivagem. O modo de aplicação é feito através de uma pistola. Possui um tempo de aplicação após mistura dos seus componentes (“*pot life*”) de 30-40 minutos a uma temperatura de 25 °C e um tempo de cura de 10 h a 23 °C ou 35 minutos a 70 °C [47]. A mistura dos dois componentes acontece ao longo do bico e na extremidade apresenta-se um adesivo completamente homogêneo.



Figura 41 - Adesivo *Araldite*[®] 2015.

Tabela 22 - Propriedades elásticas e plásticas do adesivo *Araldite*[®] 2015 [48].

Propriedades	<i>Araldite</i> [®] 2015
Módulo de corte, G [MPa]	487 ± 77
Tensão de cedência de corte, τ_y [MPa]	$17,9 \pm 1,8$
Tensão de rotura de corte, τ_f [MPa]	$17,9 \pm 1,8$
Deformação de rotura de corte, γ_f [%]	$43,9 \pm 3,4$

3.3.2.3. Adesivo 7888 L10 (VP) da SikaForce®

O adesivo 7888 L10 da SikaForce®, **adesivo dúctil** é fornecido em cartuchos de 200 ml, com separação de componentes e bico de mistura. A sua aplicação é feita utilizando uma pistola acionada por ar comprimido.

O SikaForce® 7888 trata-se de um adesivo estrutural de base poliuretano fornecido por dois componentes de 600 ml (Componente A+B), altamente estrutural, que cura por reação química e relativamente rápida [49]. O processo de cura ocorre à temperatura ambiente durante 24 horas. Informações retiradas da ficha técnica, disponibilizada pelo fabricante, ver anexo F. As suas principais propriedades estão descritas na Tabela 23.



Figura 42 - Adesivo SikaForce®7888

Tabela 23 - Propriedade do adesivo SikaForce® 7888 [50].

Propriedades	SikaForce® 7888
Módulo de Young, E [GPa]	1,89 ± 0,81
Tensão de cedência, σ_y [MPa]	13,20 ± 4,83
Tensão de rotura, σ_f [MPa]	28,60 ± 2,0
Deformação à rotura, ε_f [%]	43,0 ± 0,6
Tensão de rotura de corte, τ_f [MPa]*	20
Energia crítica modo I, G_{IC} [N/mm]	0,702 ± 0,075
Energia crítica modo II, G_{IIC} [N/mm]	8,72 ± 1,22

*Informação do fabricante.

3.3.2.4. Preparação das amostras

Para a fabricação dos provetes *TAST*, a norma de ensaio *ISO 11003-2* [19] recomenda dois tipos de procedimento para efetuar as amostras, amostras com aderentes de extremo plano (cortadas após colagem do adesivo) ou amostras com aderente escalonado antes da colagem:

- 1- **Amostras com aderentes de extremo plano.** A colagem de placas de aço com a espessura definida e o corte posterior após a cura do adesivo (Figura 43) [19].

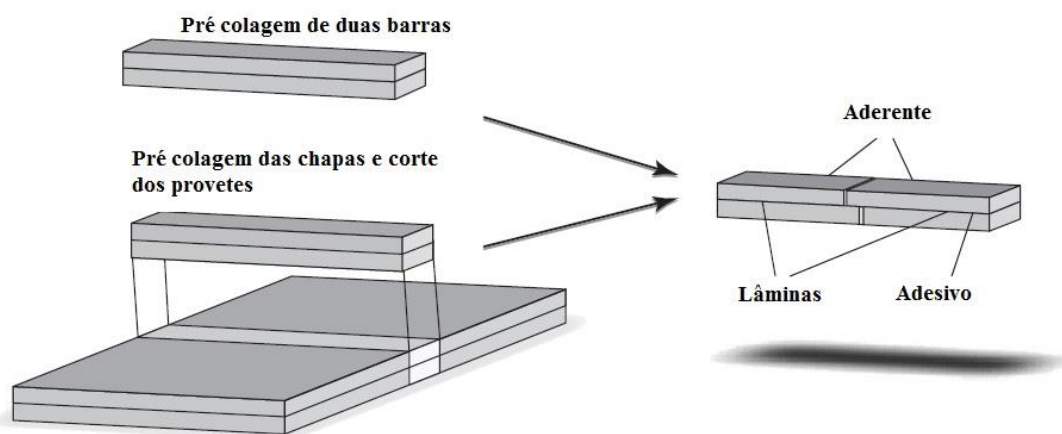
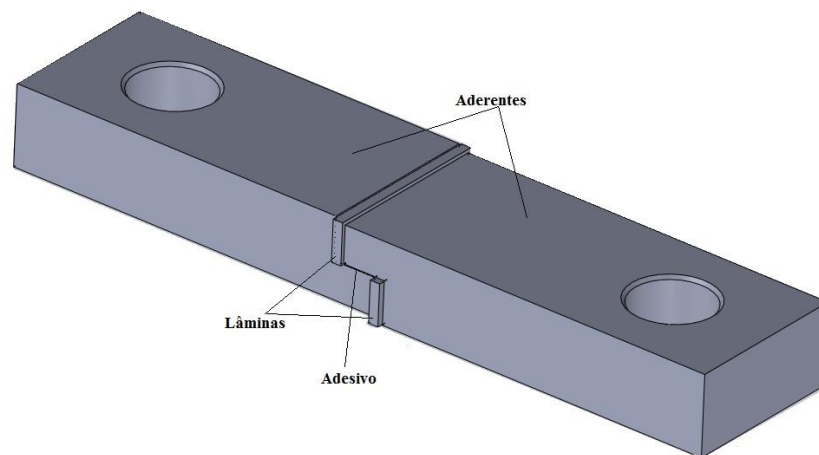


Figura 43 - Recomendações do fabrico dos provetes de *TAST* [26].

- 2- **Amostras com aderente escalonado.** O corte das barras, montagem e colagem posterior (Figura 44) [23].



(a)



Figura 44 - Design provete de *TAST* (a) e geometria do provete de *TAST* após colagem (b).

O primeiro método introduz algumas incertezas no ensaio e requer alguns cuidados especiais pois o corte que é efetuado após a colagem provoca o aumento de temperatura, não devendo ultrapassar os 50°C e podendo também introduzir solventes no adesivo, danificando as suas propriedades. As amostras produzidas por este método não podem ser reutilizadas, o que pode ser um fator importante em termos de custo [26].

Neste trabalho, utilizou-se o segundo método por nos parecer o mais indicado. Primeiro foram cortados e maquinados os substratos, com as dimensões indicadas na norma e só depois colados numa montagem (gabarit), de forma segura. Este garante o alinhamento preciso dos aderentes apresentados na Figura 29. De forma a produzir uma ligação com um comprimento bem controlado, são colocadas lâminas de aço ou PTFE com espessura de 1,5 mm nos espaços existentes entre os aderentes (Figura 44) dos provetes, antes do adesivo e da cura. Depois da cura as lâminas devem ser removidas e se forem de aço deve-se aplicar desmoldante para facilitar a sua remoção [19].

3.3.2.5. Número de amostras

O número de amostras deve ser pelo menos de 3 unidades para cada ensaio de adesivo. Para esta tese foram utilizadas 6 amostras para cada adesivo (6 provetes de *TAST*). Para cada ensaio, preparou-se, seis amostras, assim temos uma maior amostragem de resultados e para o caso de danificarmos alguma amostra na preparação, conseguimos ter um conjunto de valores válidos.

3.3.2.6. Condições e procedimento experimental

Para se proceder ao processo de colagem dos substratos houve necessidade de preparar as superfícies que se encontravam em contato com o adesivo.

3.3.2.6.1. Tratamento mecânico da superfície

As placas do gabarit metálico e os provetes cujas superfícies contactam com o adesivo têm que ser previamente preparados, de modo a melhorar a ligação interfacial. Os contaminantes existentes na superfície metálica, tal como, poeiras, sujidade, óleo ou óxidos, têm que ser removidos para garantir uma boa adesão do adesivo [26]. Neste sentido, as impurezas das placas metálicas foram retiradas recorrendo a uma limpeza manual com uma lixa seguindo-se uma limpeza com acetona em todas as superfícies.

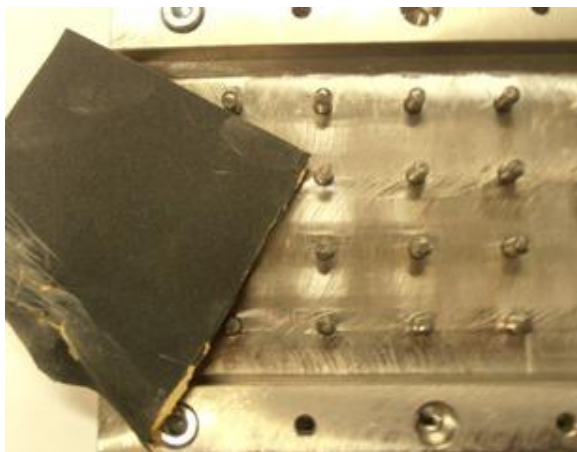


Figura 45 - Limpeza do gabarit com o auxílio da lixa e acetona.

Os substratos foram grenalhados na zona de contacto com o adesivo, a seco com jato de areia (SiO_2) na grenalhadora existente no LEM do ISEP (Figura 46). Após a grenalhagem, as superfícies apresentavam uma rugosidade uniforme, permitindo uma boa molhagem. Posteriormente, os substratos foram desengordurados com acetona, de modo a ficarem limpos e livres de qualquer contaminante [51, 3].



Figura 46- Grenalhadora *CIDBLAST*, modelo:RT6S.

Depois da preparação/limpeza do gabarit e dos substratos, procedeu-se à colagem dos provetes *TAST* seguindo os seguintes passos:

- a) O gabarit e as lâminas foram colocados dentro de um forno a uma temperatura de 60°C, durante 45min (Figura 47).



Figura 47 - Forno elétrico *DELONGHI*.

- b) Após retirar as peças do forno, foi aplicado desmoldante, tendo-se repetido esta operação 3 vezes para garantir uma boa distribuição e facilitar a posterior remoção das lâminas após cura do adesivo (Figura 48).



Figura 48 - Aplicação do desmoldante.

- c) Colocou-se os substratos no gabarit e respetivas lâminas com espessura de 1,5 mm para regular o comprimento de sobreposição.
- d) Após as peças se encontrarem à temperatura ambiente, iniciou-se a aplicação do respetivo adesivo como mostra a Figura 49 para o adesivo *Araldite*[®] 2015. Este foi aplicado através de uma pistola manual (Figura 50) sendo o *Araldite*[®] AV138 e o *SikaForce*[®] 7888 aplicados por intermédio de uma espátula e uma pistola de acionamento pneumático (Figura 51), respetivamente. A Figura 52 mostra mais em pormenor o substrato alinhado pelos pinos do gabarit, com adesivo aplicado na zona de colagem e uma lâmina espaçadora colocada na extremidade do provete.



Figura 49 - Colagem dos provetes com o adesivo *Araldite*[®] 2015.



Figura 50 - Pistola de accionamento manual para aplicação do adesivo *Araldite*[®] 2015.



Figura 51 - Pistola de ar comprimido para aplicação do adesivo Sikaforce[®] 7888.

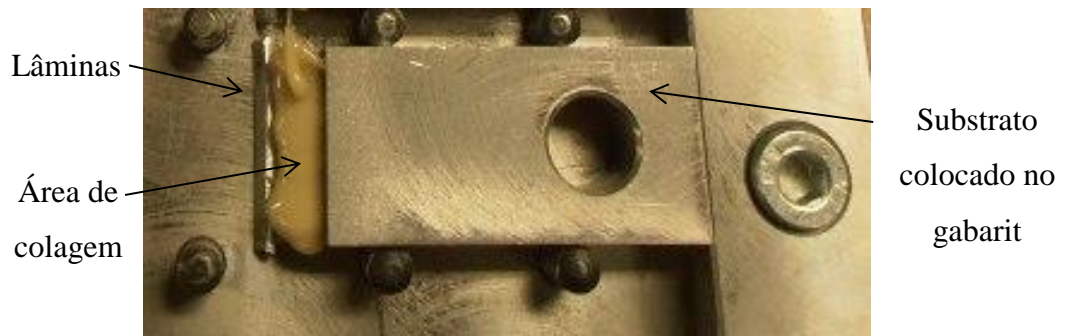


Figura 52 – Substrato colocado no gabarit com adesivo e lâmina espaçadora.

- e) Os provetes foram pressionados e posicionados manualmente. A cura dos adesivos decorreu à temperatura ambiente (20 ± 5 °C).
- f) Os provetes foram retirados do gabarit.
- g) As lâminas foram removidas cuidadosamente para evitar a rotura da ligação.
- h) O excesso de adesivo foi limpo.

- i) A espessura e o comprimento de sobreposição do adesivo foram medidos.

A espessura do adesivo é garantida pela folga existente entre as superfícies dos substratos a colar, sendo o seu valor nominal de $0,7 \pm 0,05$ mm.

O comprimento de sobreposição foi controlado pelas dimensões dos substratos, pelas régulas limitadoras do comprimento do provete (Figura 29) e pelas lâminas (Figura 53) sendo o seu valor nominal de $5 \pm 0,05$ mm. A Figura 54 apresenta um provete *TAST* após colagem e remoção das referidas lâminas de aço.

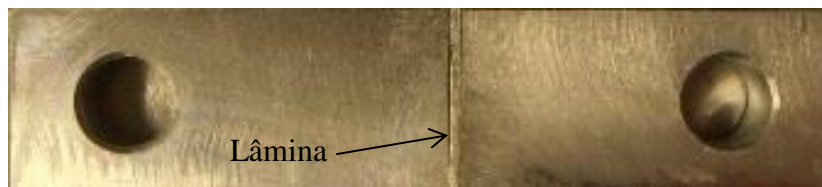


Figura 53 - Lâmina para limitar comprimento de sobreposição.

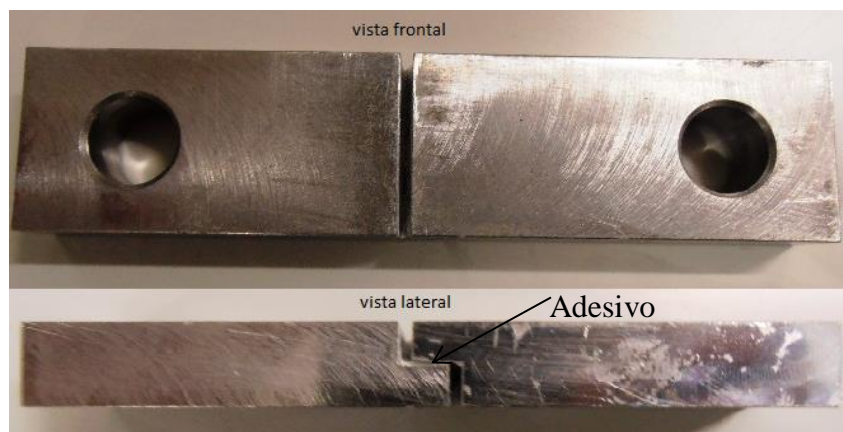


Figura 54 - Substratos após colagem, remoção das lâminas e do excesso de adesivo.

Os ensaios foram realizados no LEM do ISEP, numa máquina de ensaios *Shimadzu* modelo AG-X equipada com uma célula de carga de 100 kN. Os ensaios TAST foram realizados uma semana após a colagem dos substratos sendo que a cura do adesivo ocorreu à temperatura ambiente.

Os provetes foram ensaiados à temperatura ambiente e a uma velocidade de 0,5 mm/min (recomendada pela norma *ISO 11003-2* [19]). Os provetes foram fixos nas amarras por

dois pinos de 12 mm de diâmetro e 60 mm de comprimento, com ajuste deslizante, Figura 31.

O deslocamento entre substratos de cada provete foi medido com extensómetro (comprimento inicial de 50 mm e resolução de 0,1 mm), como se pode ver na Figura 55, baseado no método LVDT (Figura 18) com parte móvel dentro de uma moldura rígida unida por molas. Este método, como indica na teoria, tem alguns inconvenientes. Um dos inconvenientes sentidos foi alguma dificuldade inicial na colocação do extensómetro no provete. Uma vez que o comprimento (50 mm) é maior do que o comprimento de sobreposição do provete de *TAST* (5 mm), o extensómetro mede não só o deslocamento do adesivo, mas também o deslocamento do aço que corresponde aos restantes 45 mm. Portanto, é necessário proceder a uma correção, a fim de obter apenas o deslocamento da ligação adesiva. No caso de a deformação ser desprezável (inferior a 5%), será um bom método atendendo que é um equipamento de fácil utilização, ao contrário dos transdutores indicados pela norma.

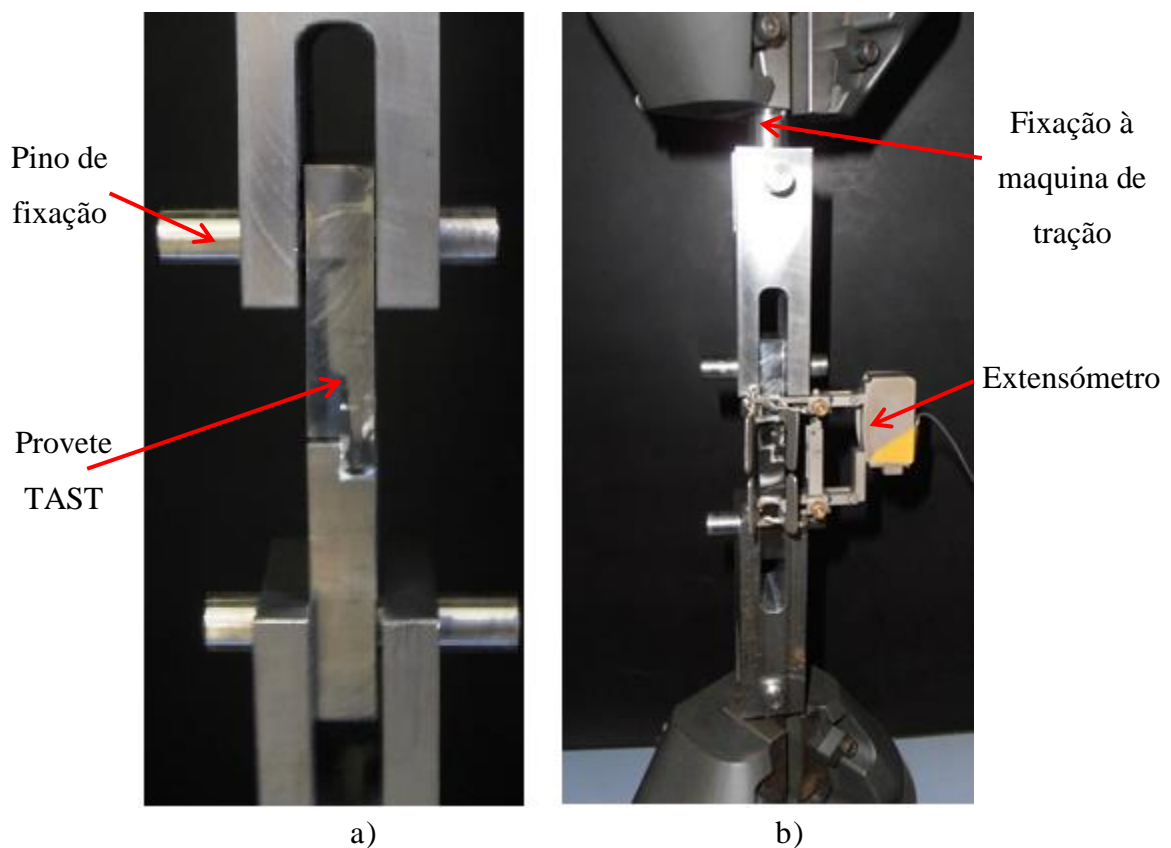


Figura 55 - Fixação da ferramenta nas maxilas da máquina de tração (a) e o pormenor da colocação do extensómetro no provete *TAST* (b).

3.3.3. Resultados dos ensaios *TAST*

Os provetes de TAST (Figura 55) foram fixos nas amarras da máquina de tração do LEM do ISEP. O extensómetro, com um comprimento de referência de $L_e = 50\text{mm}$, registou os do deslocamento (δ) ao longo do ensaio e a célula de carga de 100kN registou os valores da Força (F), até ocorrer a rotura do provete.

Durante os ensaios foram também registados os valores da força medidos pela célula de carga da máquina de ensaio. As forças e os deslocamentos proporcionaram a obtenção das curvas tensão de corte *vs* deformação de corte, através das quais foi possível caracterizar as diferentes propriedades dos adesivos ensaiados (G , $\tau_{\text{máx}}$ e $\gamma_{\text{máx}}$).

Utilizando o sistema de extensometria resistiva para cálculo da deformação de corte do adesivo (γ). O valor da tensão de corte (τ) foi calculado através da força aplicada (F) no provete dividida pela área de ligação ($l \times b$).

O valor de τ no adesivo foi obtido pela seguinte expressão:

$$\tau = \frac{F}{l \times b} \quad (10)$$

Onde:

τ – Tensão de corte [MPa]

l – Comprimento de ligação [mm]

b – Largura da ligação [mm]

Por outro lado, γ foi obtida através da seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{\delta}{t} \quad (11)$$

Onde:

γ – Deformação de corte [mm/mm]

δ – Deslocamento medido pelo extensómetro [mm]

t – Espessura da camada de adesivo [mm]

O deslocamento do adesivo (δ_{adesivo}) é menor do que o deslocamento medido (δ) devido a contribuição da deformação dos aderentes.

O valor de δ_{adesivo} pode calcular-se com uma boa aproximação assumindo que a região do aderente que está ocupada pelo extensómetro atua um esforço de corte τ uniforme.

A δ_{adesivo} efetiva, pode ser obtida pela expressão:

$$\delta_{\text{adesivo}} = \delta - \frac{\tau(t_a - t)}{G_a} \quad (12)$$

Onde:

G_a – Módulo de corte do aderente [MPa]

τ – Tensão de corte do adesivo [MPa]

t_a – Distancia entre hastes do extensómetro [mm]

O valor de G é igual ao declive da região linear na menor deformação de um gráfico de tensão vs deformação [19]. Deste modo os valores de G obtidos a partir das curvas τ/γ dos ensaios, são iguais ao declive da reta tangente na origem das referidas curvas.

O valor de G do adesivo foi obtido pela seguinte expressão:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (13)$$

Onde:

G – módulo de corte do adesivo [MPa]

τ – Tensão de corte do adesivo [MPa]

γ – Deformação de corte do adesivo [mm/mm]

O τ e γ correspondem a um ponto na região linear da curva. Os dados adquiridos da máquina de tração, foram tratados para que o gráfico tensão de corte vs deformação de corte passe pela origem.

3.3.3.1. Adesivo Araldite® AV138/HV 988

No ensaio deste adesivo realizaram-se duas séries, a primeira série só se conseguiu ensaiar uma amostra, uma vez que o processo de remoção das lâminas, levou constantemente a rotura da ligação adesiva dos provetes, durante a remoção das lâminas.

Este procedimento, que consistiu na aplicação de uma suave pancada na lâmina, foi sempre efetuada com o máximo cuidado mas, mesmo assim, não foi possível evitar a rotura frágil de 5 provetes.

Foi realizada uma segunda serie de ensaios, com um tempo de cura de 144 h, aproximadamente à temperatura ambiente. Atendendo a que se trata de um adesivo frágil, foi tido o máximo cuidado no processo de remoção das lâminas. Conseguiu-se conservar 4 amostras válidas para ensaio (TAST1, TAST2, TAST3 e TAST4).



Figura 56 - Provetes ensaiados com adesivo Araldite® AV138-Série2

As curvas apresentadas demonstram que se trata de um adesivo com um comportamento frágil, onde se verifica uma rotura abrupta com valores baixos de deformação. A Figura 57 demonstra alguma repetibilidade dos resultados obtidos para este conjunto de ensaios, a nível de rigidez elástica do adesivo até à rotura.

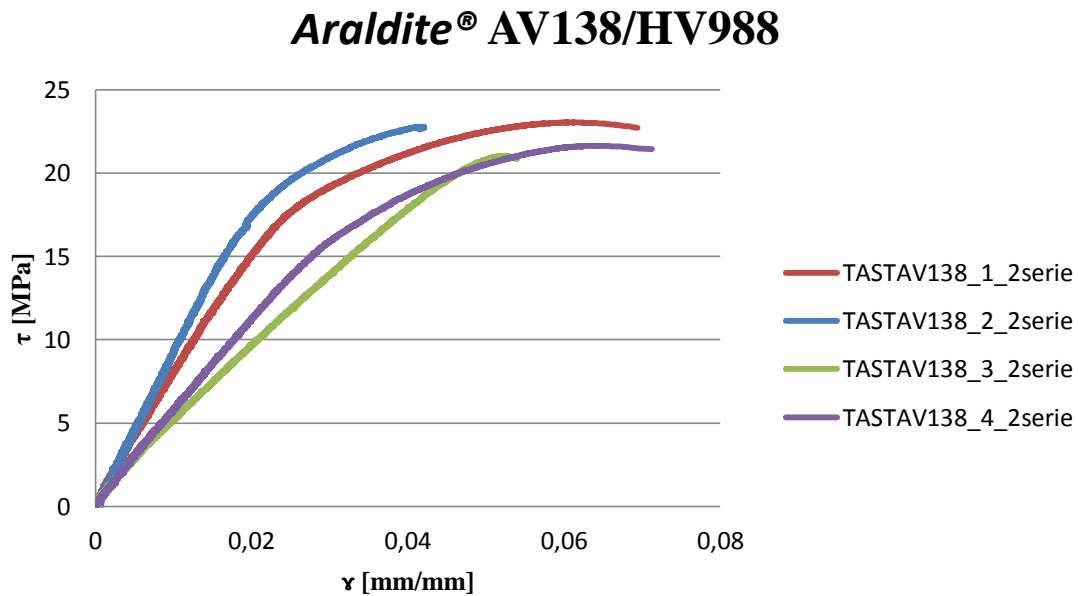


Figura 57 - Curvas tensão-deformação dos provetes de *TAST Araldite® AV138/HV988*

Em seguida são demonstrados os cálculos da correção da deformação do 1º ensaio TASTAV138-1-2s:

$$G_{\text{substrato}} = 80 \text{ GPa}; F = 2,880 \text{ kN}; l = 5 \text{ mm}; b = 25 \text{ mm}$$

$$2 \times t_{\text{substrato}} = 12 \text{ mm} - t_{\text{adesivo}} = 11,3 \text{ mm} \quad (14)$$

$$2 \times \delta_{\text{substrato}} = \frac{2 \times t_{\text{substrato}} \times F}{G_{\text{substrato}} \times l \times b} = 6,50 \mu\text{m} \quad (15)$$

$$\delta_{\text{adesivo}} = \delta_{\text{extensometro}} - 2 \times \delta_{\text{substrato}} = 60,07 - 6,50 = 53,57 \mu\text{m} \quad (16)$$

Como o extensómetro é montado no substrato, o extensómetro mede não apenas o deslocamento do adesivo, mas também a deformação do aderente (Figura 58). Portanto, é necessário aplicar uma correção para os valores medidos de deslocamento, relativo aos aderentes de aço. São apresentadas duas curvas para cada caso, uma com a tensão correspondente ao valor lido com o extensómetro que inclui a deformação do aço (referido

como “TASTAV138_1_2serie”) e foi obtida uma correção pelas equações que representam somente a deformação do adesivo (referidas como "correção" na Figura 58).

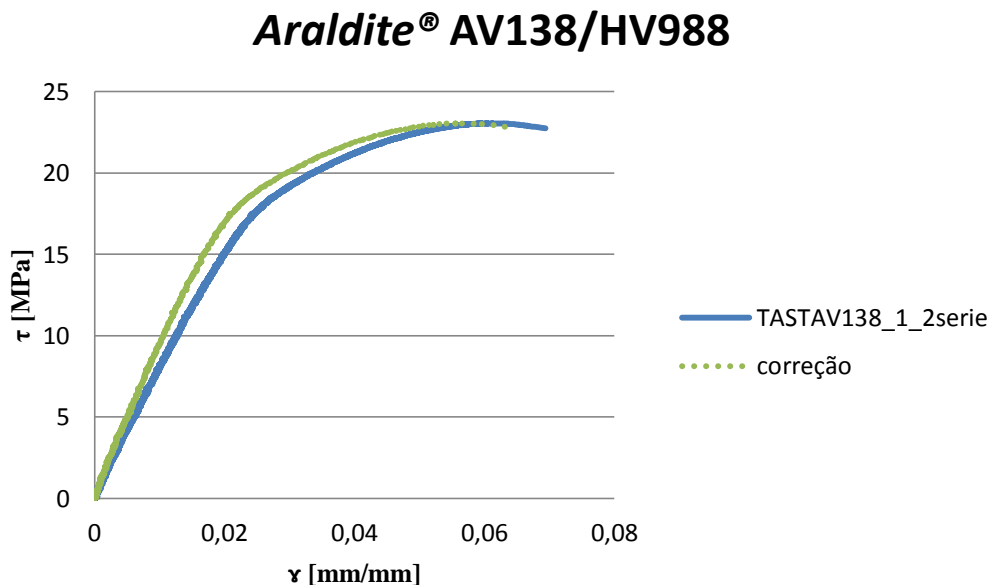


Figura 58 – Comparação das curvas tensão-deformação com correção TAST AV138.

3.3.3.2. Propriedades do adesivo Araldite® AV138/HV988

Na Tabela 24, são apresentados os valores de $\tau_{\text{máx}}$, $\gamma_{\text{máx}}$, o valor de G e o $G_{\text{corrigido}}$. É também demonstrado o valor calculado do erro G , que foi superior a 5% logo, o valor da deformação do aderente deve ser tido em conta no cálculo do módulo de corte. O valor de erro foi calculado pela seguinte expressão:

$$\bullet \text{ Erro}[\%] = \frac{G - G_{\text{corrigido}}}{G} \times 100 \quad (17)$$

Tabela 24 – Propriedades obtidas do adesivo Araldite® AV138/HV988.

Referência do provete	$\tau_{\text{máx}}$ [MPa]	G [MPa]	$G_{\text{corrigido}}$ [MPa]	$\gamma_{\text{máx}}$ [mm/mm]	Erro G [%]	Tipo de rotura
TASTAV138-1-s2	23,04	986,72	1224,80	0,0642	19,4	Coesiva
TASTAV138-2-s2	22,78	1002,00	1247,60	0,0369	19,7	Coesiva
TASTAV138-3-s2	21,04	663,21	757,63	0,0497	12,5	Coesiva
TASTAV138-4-s2	21,64	664,56	752,71	0,0669	11,7	Coesiva
Média	22,13	829,12	995,69	0,0544	15,8	
Desvio padrão	0,94	190,90	277,87	0,0139	4,3	

Como pode ser observado pelas curvas tensão vs deformação da Figura 57, a tensão máxima de corte média foi de 22,13 MPa a $\tau_{\text{máx}}$ calculada em trabalhos anteriores foi de 30,2 MPa (ver Tabela 21). Quanto ao valor médio de G foi de 995,69 MPa. Muito provavelmente estas diferenças estão associadas ao processo de aplicação do desmoldante.

3.3.3.3. Adesivo *Araldite*[®] 2015

As propriedades mecânicas do adesivo *Araldite*[®] 2015 obtidas são apresentadas na Tabela 22. O tempo de cura mínimo indicado pelo fabricante é de 10 h, no entanto o tempo de cura do ensaio foi de aproximadamente uma semana.

Inicialmente seriam ensaiados 6 provetes, mas o processo de remoção das lâminas (Figura 53) levou à ocorrência de uma rotura frágil do provete TAST6. A Figura 60 representa as curvas τ vs γ para os 5 provetes ensaiados com o adesivo de *Araldite*[®] 2015 (TAST1 a TAST5). A rotura dos provetes *TAST* ocorreu no adesivo, tratando-se por isso de uma rotura coesiva (Figura 59).



Figura 59 - Aspeto da rotura nos provetes de TAST com adesivo *Araldite*[®] 2015.



Figura 60 - Provetes ensaiados com adesivo *Araldite*[®] 2015.

Após ensaiar os provetes e proceder ao tratamento dos dados, obtiveram-se os seguintes gráficos τ vs γ . As curvas apresentadas demonstram que se trata de um adesivo com um comportamento de rotura dúctil. Esta verificação é constatada nas curvas em que a rotura do adesivo foi coesiva (TAST1, TAST4 e TAST5).

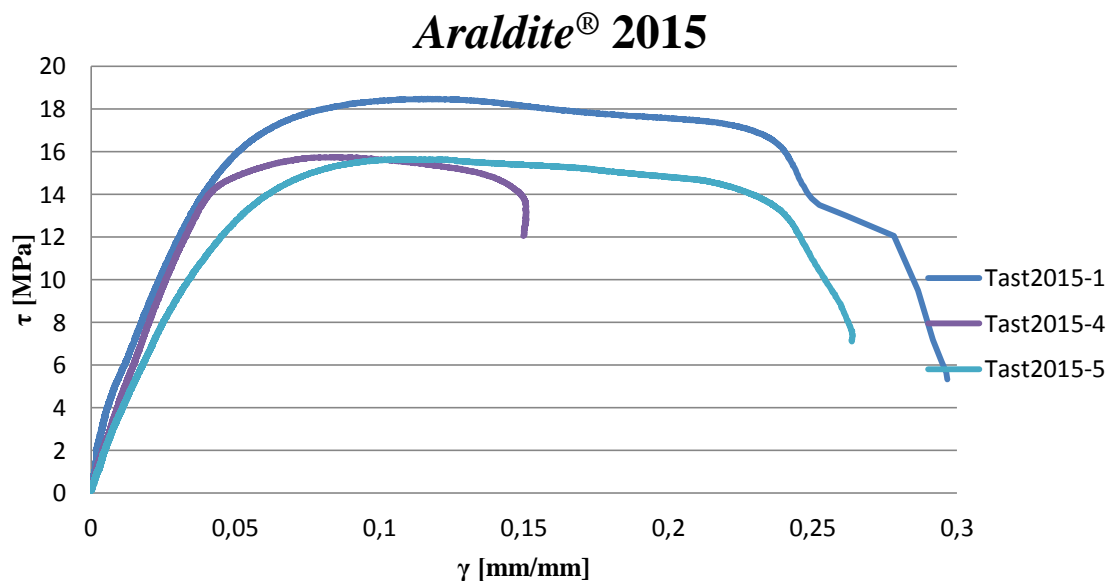


Figura 61 - Curvas tensão-deformação dos provetes de TAST 2015.

Na Figura 62 são apresentadas duas curvas uma com a tensão correspondente ao valor lido com o extensómetro que inclui a deformação do aço (referido como “TAST2015_1”) e foi obtida uma correção pelas mesmas equações utilizadas para o adesivo AV138, que representa somente a deformação do adesivo (referida como "correção").

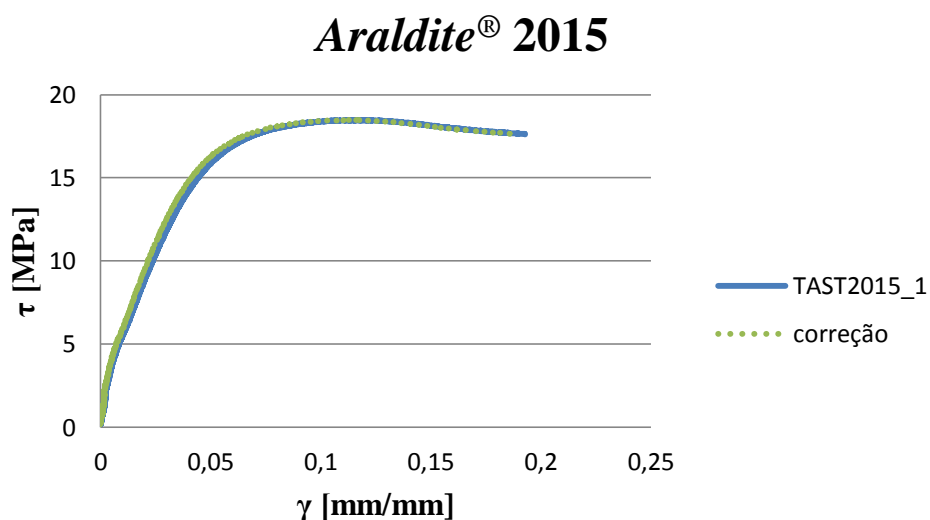


Figura 62 - Comparação da curva tensão-deformação com a correção TAST 2015.

3.3.3.4. Propriedades do adesivo *Araldite*[®] 2015

Na Tabela 25 são determinadas as propriedades do adesivo *Araldite*[®] 2015.

Tabela 25 – Propriedades do adesivo *Araldite*[®] 2015.

Referência do provete	$\tau_{\text{máx}}$ [MPa]	G [MPa]	G _{corrigido} [MPa]	$\gamma_{\text{máx}}$ [mm/mm]	Erro G [%]	Tipo de rotura
TAST2015-1	18,48	630,24	702,03	0,2956	10,2	Coesiva
TAST2015-4	15,75	466,69	508,77	0,1482	8,3	Coesiva
TAST2015-5	15,65	489,83	520,57	0,4328	5,9	Coesiva
Média	16,62	528,92	577,12	0,2922	8,1	
Desvio padrão	1,60	88,51	88,45	0,1423	2,2	

Foi obtida uma τ média de 16,62 MPa, pelos ensaios dos provetes TAST do adesivo *Araldite*[®] 2015. Para determinar o valor de tensão de rotura de corte do adesivo, determinou-se a média dos provetes com rotura coesiva, estes valores estão próximos do $\tau_{\text{máx}}$ do adesivo *Araldite*[®] 2015 de 17,9 MPa, (valor retirado da literatura), ver Tabela 22.

3.3.4. Adesivo *SikaForce*[®] 7888 L10 (VP)

No ensaio deste adesivo também foram realizadas duas séries de ensaios. Atendendo ao número de provetes inválidos (rotura adesiva) na primeira série, foi realizada uma segunda série.

A rotura dos provetes *TAST* deu-se no adesivo muito próximo da interface do substrato que aparentemente ficou sem adesivo, tratando-se por isso de uma rotura coesiva. O tempo de cura mínimo indicado pelo fabricante é de 24 h, no entanto o tempo de cura do ensaio da primeira série foi de aproximadamente 72 h. Na segunda série de ensaios, o tempo de cura foi de aproximadamente 168 h à temperatura ambiente. Na Figura 64 é apresentada a rotura da ligação adesiva dos provetes ensaiados com o adesivo de *Sikaforce*[®] 7888.



Figura 63 - Provetes ensaiados com adesivo *Sikaforce*® 7888.

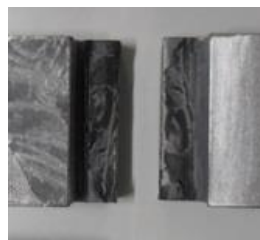


Figura 64 - Aspetto da rotura coesiva do provete de *TAST* com adesivo *Sikaforce*® 7888

Os adesivos dúcteis e tenazes podem sustentar largas deformações antes de romperem, e por isso, a relação entre a tensão deformação é marcadamente não linear, como mostrado na Figura 65. As curvas τ vs γ demonstram um adesivo com um comportamento de rotura dúctil.

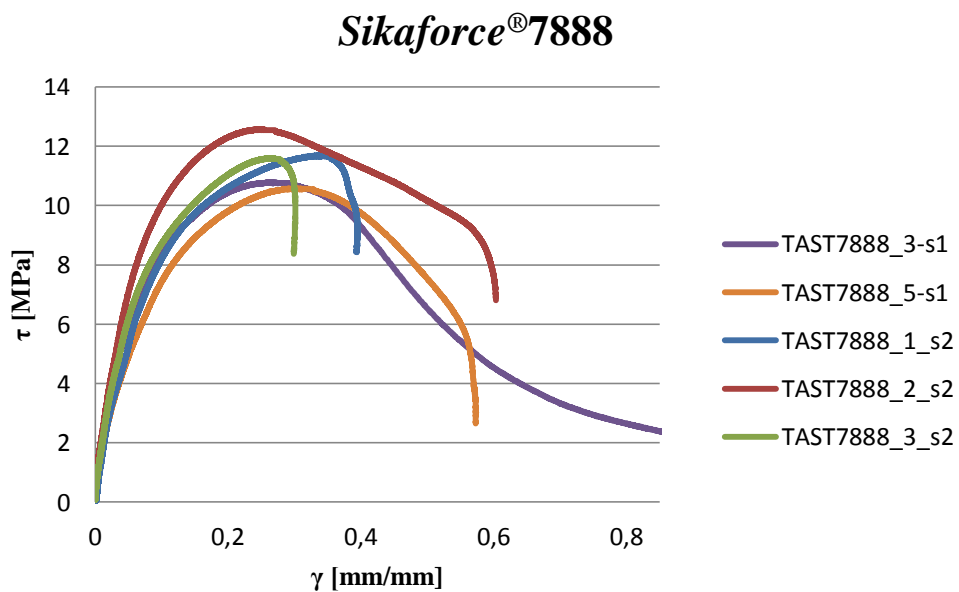


Figura 65 - Curvas tensão-deformação de corte dos provetes de *TAST Sikaforce*®7888.

Na Figura 66 são apresentadas duas curvas uma com a tensão correspondente ao valor lido com o extensômetro que inclui a deformação do aço (referido como “TAST7888_2_s2”) e foi obtida uma correção pelas mesmas equações utilizadas para o adesivo AV138, que representa a deformação do adesivo (referida como "correção").

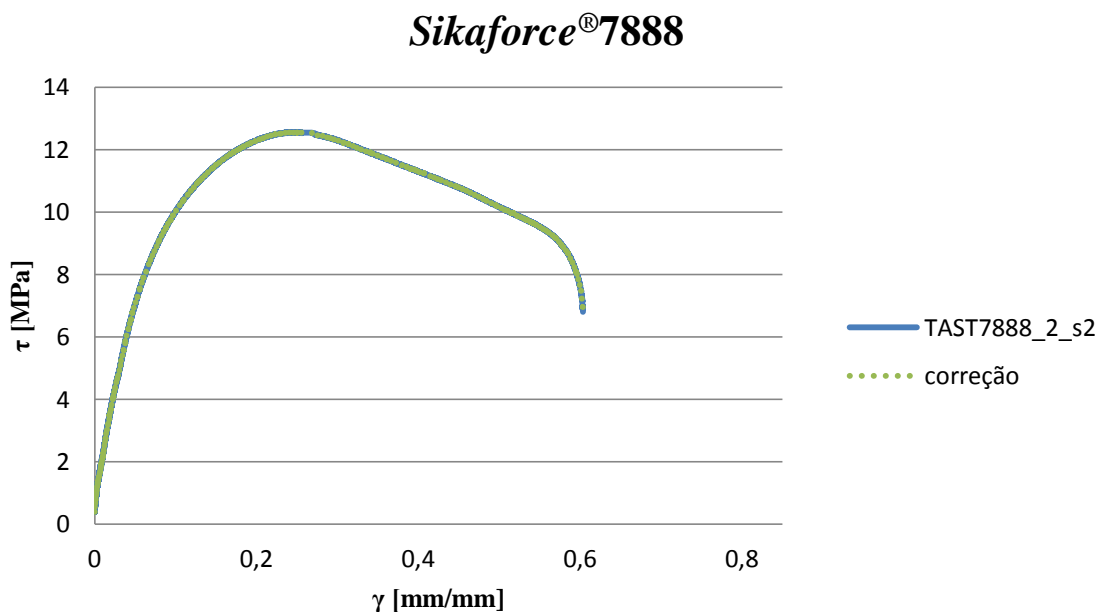


Figura 66 - Comparação das curvas tensão-deformação com correção *Sikaforce*®7888.

3.3.4.1. Propriedades do adesivo *Sikaforce*®7888

Na Tabela 26 os provetes de *TAST* que foram colados com o adesivo *Sikaforce*®7888, são submetidos ao ensaio de corte do adesivo.

Tabela 26 - Propriedades do adesivo *Sikaforce*®7888.

Referência do provete	$\tau_{\text{máx}}$ [MPa]	G [MPa]	$G_{\text{corrigido}}$ [MPa]	$\gamma_{\text{máx}}$ [mm/mm]	Erro G [%]	Tipo de rotura
TAST7888-3-s1	10,67	267,51	279,71	0,6388	4,4	Coesiva
TAST7888-5-s1	10,57	200,46	207,73	0,5724	3,5	Coesiva
TAST7888-1-s2	11,68	214,46	223,66	0,3933	4,1	Coesiva
TAST7888-2-s2	12,57	306,21	320,73	0,7413	4,5	Coesiva
TAST7888-3-s2	10,67	267,51	279,71	0,6388	4,4	Coesiva
Média	11,37	247,16	257,96	0,5865	4,1	
Desvio padrão	0,94	48,82	52,00	0,1463	0,5	

A Tabela 26 apresenta os valores médios e respectivos desvios padrão de G e $\tau_{\text{máx}}$ obtidos pelo ensaio do adesivo *Sikaforce*[®]7888. O valor médio de $\tau_{\text{máx}}$ determinado foi de 11,37 MPa, muito longe do valor $\tau_{\text{máx}}$ de 20 MPa indicado pelo fabricante (apresentado na Tabela 23).

3.3.1. Comparação dos resultados dos ensaios dos adesivos.

A Figura 67, compara curvas de tensão de corte vs deformação experimentais típicos para cada adesivo com o valor corrigido, para todos os adesivos ensaiados.

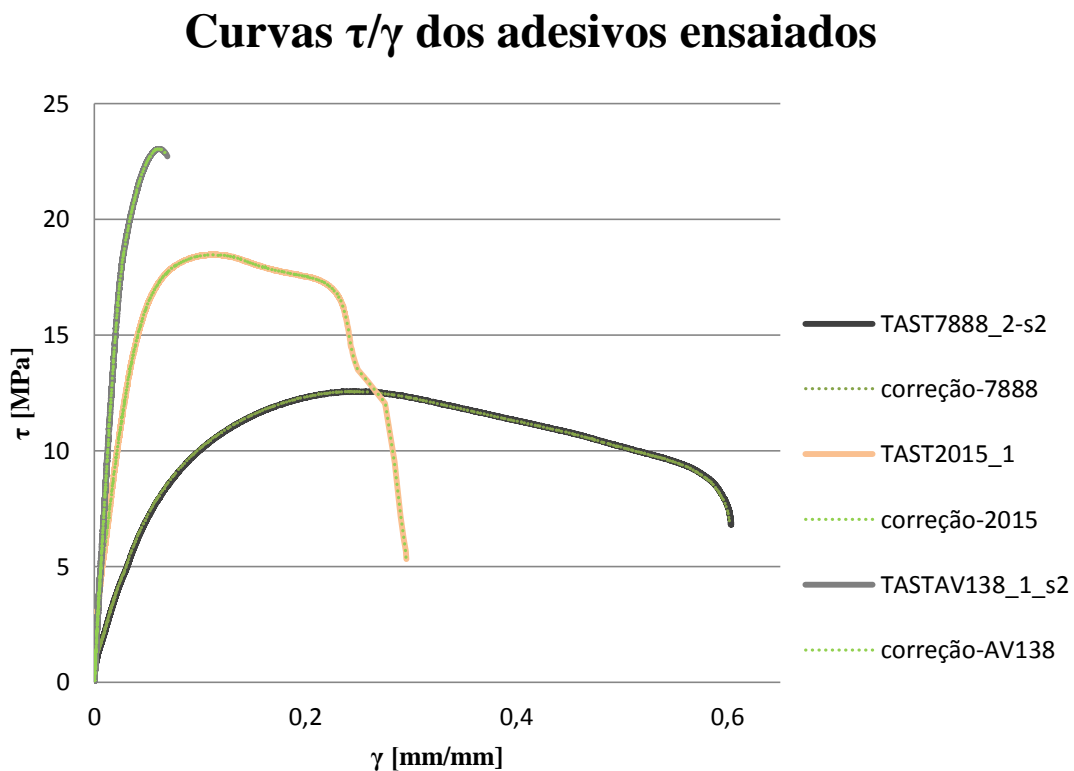


Figura 67 - Comparação das curvas tensão-deformação dos adesivos ensaiados.

Ao analisar as curvas τ/γ dos adesivos, verificou-se que os valores da deformação lida pelo extensômetro resistivo não parecem muito significativos, comparativamente com os valores calculados de deformação efetiva do adesivo. Avaliando os resultados dos três adesivos, constata-se que, o adesivo *Araldite*[®]AV138/HV998 apresenta maior valor de G , seguido do adesivo *Araldite*[®]2015, sendo que, o adesivo *Sikaforce*[®]7888 apresenta o menor valor de G . A $\tau_{\text{máx}}$ segue a mesma sequência. De referir ainda, que contrariamente ao G e a $\tau_{\text{máx}}$, o adesivo que apresenta maior $\gamma_{\text{máx}}$ é o *Sikaforce*[®]7888, sendo o de menor o

Araldite[®]AV138/HV988. Este resultado era de esperar, uma vez que o adesivo *Sikaforce*[®]7888 é considerado um adesivo dúctil e o *Araldite*[®]AV138/HV998 é considerado um adesivo frágil, por exclusão de partes o adesivo *Araldite*[®]2015 é um adesivo intermédio. É ainda importante referir que só foram considerados os resultados das ligações coesivas, para determinar com maior aproximação as propriedades dos adesivos.

No adesivo *Sikaforce*[®]7888 (Figura 66), as duas curvas são praticamente coincidentes o que significa que a deformação do aço para este caso pode ser considerado desprezável. Por outro lado, no caso do adesivo *Araldite*[®]2015, embora a curva "de aço + adesivo" (TAST2015_1) pareça muito semelhante a curva de "correção", o que foi tido em conta foi o valor de erro G acima de 5% (para as condições de ensaio), pelo que foi necessário considerar a deformação do aço e aplicar uma correção. O mesmo se aplica à análise da curva "aço + adesivo" (TASTAV138_1_s2) e à curva "correção" do adesivo *Araldite*[®]AV138/HV998, onde embora também neste caso as curvas pareçam semelhantes, o que se considerou foi o valor de erro que era superior a 5%, sendo necessário aplicar a correção do G. Estes resultados foram obtidos porque quer no adesivo *Araldite*[®]2015, adesivo com rigidez intermédia, quer no adesivo *Araldite*[®]AV138/HV998, adesivo muito rígido, houve necessidade de considerar a deformação do aço como parte substancial da deformação total registada pelo extensómetro.

A Tabela 27 demonstra o módulo de corte obtido das duas curvas ("Aderente + adesivo" e "adesivo") para fins de comparação.

Tabela 27 - Propriedades elásticas e plásticas dos adesivos.

Adesivos		G	$\tau_{\text{máx}}$	$\gamma_{\text{máx}}$
		[MPa]	[MPa]	[mm/mm]
Araldite® AV138/ HV988	Aderente + adesivo	829,12 ± 190,90	22,13 ± 0,94	0,054 ± 0,014
	Adesivo	995,69 ± 277,87		
	Diferença (%)	15,8		
Araldite® 2015	Aderente + adesivo	528,92 ± 88,51	16,61 ± 1,60	0,292 ± 0,142
	Adesivo	577,12 ± 88,45		
	Diferença (%)	8,1		
Sikaforce® 7888	Aderente + adesivo	247,16 ± 48,82	11,37 ± 0,94	0,587 ± 0,146
	Adesivo	257,96 ± 52,00		
	Diferença (%)	4,1		

Relativamente ainda à dispersão estatística, em particular, à incerteza associada à repetibilidade dos ensaios, constataram-se algumas discrepâncias significativas entre os valores da literatura e os valores obtidos neste trabalho, que se deveram essencialmente a:

- A aplicação do desmoldante não foi suficiente nas lâminas, o que dificultou a remoção das lâminas;
- Devido ao processo de corte, os empenamentos das lâminas originaram imperfeições nas juntas;
- A própria remoção das lâminas poderia provocar alguns danos na ligação;
- Foram sentidas algumas dificuldades em garantir com exatidão o alinhamento das ferramentas;
- Relativamente as incertezas associadas as dimensões, embora devam ser tidas em conta, neste trabalho não nos pareceram significativas devido à boa precisão na maquinagem;
- Por fim, constatou-se ainda que a maioria das roturas coesivas foi na proximidade da interface entre o adesivo e o aderente;

4. Conclusões e Trabalhos Futuros

O desenvolvimento deste trabalho tinha como objetivo principal a concepção de ferramentas para o ensaio de *TAST*. Associadamente a esta concepção o fabrico de provetes, de ferramentas de fixação a uma máquina universal de tração, a criação do gabarit para o alinhamento dos provetes durante a cura, o ensaio dos provetes e ainda a comparação de resultados com a literatura. A maquinagem de todas as ferramentas foi um dos objetivos a que nos propusemos, tendo sido possível a sua concretização. As ferramentas foram todas maquinadas tal como o projeto inicial tendo-se realizado ensaios de corte para viabilizar o funcionamento.

Durante a execução dos ensaios foram constatadas falhas cujos resultados contribuíram para uma melhor compreensão dos possíveis ajustes que podiam ser feitos. Assim, na tentativa de melhorar as ferramentas, recomenda-se que a altura dos pinos de fixação seja diminuída de modo a permitir que a peça de fixação dos provetes não tombe após cada ensaio. Ainda, as arestas inferiores da ferramenta deverão ser facejadas ou arredondadas, para facilitar a colocação do extensómetro de contato.

O desenvolvimento do dispositivo foi auxiliado pela simulação numérica do programa de elementos finitos *simulation* do *Solidworks*[®]. Para os valores obtidos da simulação das ferramentas, considerando o maior valor da tensão de corte dos adesivos estruturais, estes estavam muito longe do valor da tensão de cedência da ferramenta.

De referenciar, contudo, que houve alguns resultados anómalos, que se julga terem estado, na remoção das lâminas, por falta de desmoldante.

Os pontos fundamentais, no desenvolvimento deste trabalho, incidiram:

- A fabricação dos substratos para os provetes de *TAST* permitiu, analisar o comportamento mecânico da junta, bem como determinar as propriedades de

corte dos adesivos. Foi garantida uma boa qualidade superficial, geometria e dimensões adequadas para os substratos a utilizar nos ensaios de TAST.

- A ferramenta de fixação dos provetes TAST à máquina universal de tração demonstrou ser de fácil colocação permitindo uma correta solicitação das juntas. Contudo, é necessário ter especial cuidado no alinhamento da ferramenta superior com a ferramenta inferior para evitar possível torção do provete. Nos primeiros ensaios verificou-se que, após a rotura do adesivo, a ferramenta inferior tinha tendência a rodar em torno do pino e colidir com a maxila da máquina de ensaios. Este problema foi provisoriamente resolvido introduzindo um calço entre a ferramenta e a maxila da máquina.
- O fabrico do gabarit possibilitou garantir o correto alinhamento dos substratos e o comprimento da ligação colada.
- Pela análise dos resultados dos ensaios TAST, avaliou-se o comportamento mecânico de três adesivos, o adesivo *Araldite*[®] AV138, o adesivo *Araldite*[®] 2015 e o adesivo *SikaForce*[®]7888. Foi utilizado o método de extensómetro resistivo para a medição dos deslocamentos da camada de adesivo, neste caso com comprimento inicial de 50 mm. Este método tem uma limitação porque a medição do deslocamento longitudinal é realizada ao longo de um comprimento superior ao comprimento da camada de adesivo. Como resultado, este deslocamento inclui uma componente de deformação do adesivo e outra dos substratos. Para obter a componente de deformação do adesivo, é usual aplicar-se uma correção aos valores obtidos, em particular para os adesivos frágeis e de alta resistência. De salientar que a rotura obtida com os diferentes adesivos e nos ensaios considerados válidos foi sempre coesiva. Comparando os resultados obtidos neste trabalho com a literatura e os indicados pelos respetivos fabricantes pode-se constatar o seguinte:
 - O adesivo *Araldite*[®] AV138, apresentou valores de $\tau_{\text{máx}} = 22,1$ MPa e $G = 995,7$ MPa, valores tendencialmente inferiores aos descritos na literatura (30,2 MPa e 1560,0 MPa respetivamente), ver Tabela 21.
 - O adesivo *Araldite*[®] 2015 apresentou valores de $\tau_{\text{máx}} = 16,6$ MPa e $G = 577,1$ MPa. Estes valores estão próximos da $\tau_{\text{máx}}$ e do G do

adesivo Araldite® 2015 de 17,9 MPa e 487 MPa, respetivamente (ver Tabela 22).

- O adesivo *SikaForce*®7888 apresentou valores de $\tau_{\text{máx}} = 11,4$ MPa, valores tendencialmente inferiores aos indicados pelo respetivo fabricante (20,0 MPa), ver Tabela 23.

Esta discrepância observada em alguns resultados, poderá ser explicado pelo desalinhamento das ferramentas e pelas condições de cura diferentes das da literatura e do fabricante.

No futuro, para dar continuidade a este trabalho seria interessante realizar as seguintes tarefas:

- Fabricar a placa superior do gabarit para permitir a sua colocação numa prensa de pratos quentes e, assim, realizar a cura dos adesivos sob condições de pressão e temperatura.
- Alterar a ferramenta de fixação do provete TAST à máquina de ensaios de forma a facilitar a colocação do extensómetro. Como hipótese sugere-se arredondar com um raio de 5 mm ou chanfrar a $5 \times 45^\circ$ as arestas inferiores da ferramenta.
- Reduzir o comprimento dos dois pinos de fixação da ferramenta às maxilas da máquina de tração. O comprimento destes pinos deve passar de 80 mm para 60 mm. Esta alteração permitirá colocar a ferramenta inferior bastante próxima da maxila da máquina impedindo, após a rotura do provete, a sua rotação e colisão com a referida maxila.
- Os dispositivos desenvolvidos nesta dissertação permitirão a realização de ensaios TAST nas mais diversas condições como, por exemplo, velocidade de ensaio, temperatura de cura do adesivo, preparação superficial dos substratos, etc.
- Realizar análise numérica do ensaio de *TAST* recorrendo, por exemplo, ao *software ABAQUS*®.

Referências Documentais

- [1] R. D. Adams, J. Comyn e W. Wake, *Structural adhesive joints in engineering*, 2^oed., London: Chapman & Hall, 1997.
- [2] P. Cognard, *Handbook of Adhesives and Sealants, General Knowledge, Application of Adhesives, New Curing Techniques*, Global: Elsevier Science and Technology, 2006.
- [3] L. F. M. da Silva, A. G. de Magalhães e M. F. S. de Moura, *Juntas adesivas estruturais*, Porto: Publindústria, 2007, p. 358.
- [4] A. Beckwith, B. Strong e W. Scott, “Joining Composite Materials - Mechanical or Adhesive?,” *Plastics: Materials and Processing*, Prentice-Hall, Inc., 1996.
- [5] Pinto A.G.M, *LIGAÇÕES ADESIVAS ENTRE MATERIAIS POLIMÉRICOS*, Porto,FEUP: Tese de doutoramento, 2007.
- [6] E. M. Petrie, *Handbook of adhesives and sealants*, New York: McGraw-Hill, 2000.
- [7] L. F. M. da Silva e A. Öchsner, *Modeling of Adhesively Bonded Joints*, Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2008, pp. 8-11.
- [8] R. D. Adams e M. R. Maheri, “Determination of dynamic shear modulus of structural adhesives in thick adherend shear test specimens,” *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 22, pp. 119-127, 2002.
- [9] L. F. M. da Silva e R. D. Adams, “Measurement of the mechanical properties of structural adhesives in tension and shear over a wide range of temperatures,” *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 19, pp. 109-141, 2005.
- [10] W. R. Broughton e R. D. Mera, “Review of Durability Test Methods and Standards for Assessing Long Term Performance of Adhesive Joints,” National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, United Kingdom, 2007.

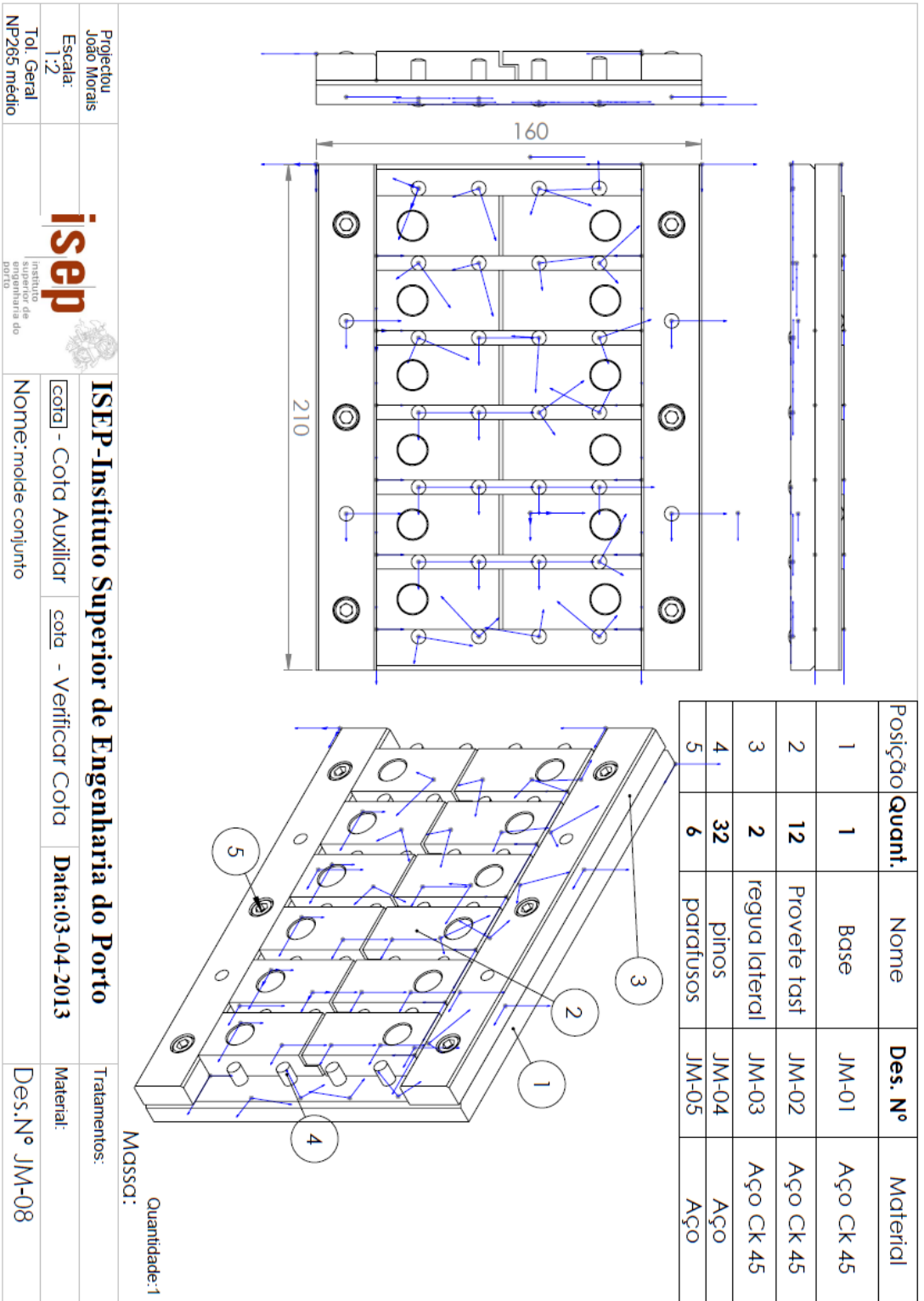
- [11] L. F. M. da Silva, R. J. C. Carbas, G. W. Critchlow, M. A. V. Figueiredo e K. B. Brown, “Effect of material, geometry, surface treatment and environment on the shear strength of single lap joints,” *International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 29, pp. 621-632, 2009.
- [12] B. Broughton e M. Gower, “Preparation and Testing of Adhesive Joints, MGPG N°47,” National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, UK, 2001.
- [13] D. Adams e D. Walrath, “Current status of the losipescu shear test method,” *Journal of composite materials*, vol. 21, pp. 494-507, 1987.
- [14] G. Dean e B. Duncan, “Test Method For Determining Shear Property Data For Adhesives Suitable For Design.,” NPL Report CMMT (B)55,, 6-1996.
- [15] G. Dean e B. Duncan, “A Guide to the Preparation and Testing of Bulk Specimens of Adhesives,” National Physical Laboratory, Teddington, Middx., UK, 1998.
- [16] Departamento de Engenharia Mecânica e G.I., “Projecto PESC N°4 :Caracterização Mecânica de Adesivos Estruturais,” FEUP, Porto, 2004/2005.
- [17] J. A. G. Chousal e M. F. S. F. de Moura, “Validação da medição de deformações por correlação Espacial de Imagem em Compósitos de Matriz Polimérica Através da,” *Revista iberoamericana de ingenieria mecánica*, vol. 11, pp. 23-34, 2007.
- [18] L. F. M. da Silva, R. A. M. da Silva, J. A. G. Chousal e A. M. G. Pinto, “Alternative Methods to Measure the Adhesive Shear,” *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 22, p. 15–29, 2008.
- [19] ISO 11003-2, “Adhesives - Determination of Shear Behaviour; Part 2: Thick-adherend shear test method,” ISO, 2005.
- [20] F. Kadioglu, L. F. Vaughn, F. Guild e R. D. Adams, “USE OF THE THICK ADHEREND SHEAR TEST FOR SHEAR STRESS-STRAIN MEASUREMENTS OF STIFF AND FLEXIBLE ADHESIVES,” *Journal of Adhesion*, vol. 78, pp. 355-381, 2002.
- [21] G. Dean e B. Duncan, “Test methods for determining shear property data for,” NPL

- Report No CMMT(B)56, Middlesex, UK, 1996.
- [22] L. F. Vaughn, “Measurement of basic mechanical properties of adhesives for design use, Phd,” Dissertation, University of Bristol, Bristol, 1998.
- [23] L. F. Vaughn e R. D. Adams, “Test methods For Determining Shear property Data For Adhesives Suitable For Design, Part 3: the thick-adherend shear test method,” *National Physical Laboratory*, vol. 8, 8 Março de 1996.
- [24] Z. Wu, *Compos. Struct.*, vol. 65, pp. 339-345, 2004.
- [25] M. D. Banea, L. F. da Silva e R. D. Campilho, “Moulds design for adhesive bulk and joint specimens manufacturing,” *Assembly Automation*, vol. 32, pp. 284 - 292, 2012.
- [26] L. F. M. da Silva, D. A. Dillard, R. D. Adams, R. Blackman e R. Bamber, *Testing Adhesive Joints: Best Practices*, First Edition, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., 2012, pp. 26-36.
- [27] W. Althof, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, vol. 1, pp. 29-38, 1982.
- [28] J. Cognard, “Numerical analysis of edge effects in adhesively-bonded assemblies - Application to the determination of the adhesive behaviour,” *Computers & Structures*, vol. 86, p. 1704–1717, 2008.
- [29] Z. Qian, “On the evaluation of wedge corner stress intensity factors of bi-material joints with surface tractions,” *Comput. Struct.*, vol. 79, pp. 53-64, 2001.
- [30] J. Cognard e R. Créac’hacdec, “Analysis of the non linear behaviour of an adhesive in bonded assemblies under shear loadings. Proposal of an improved TAST,” *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 23, p. 1333–1355, 2009.
- [31] J. Y. Cognard, R. Créac’hacdec, L. F. M. da Silva, F. G. Teixeira, P. Davies e M. Peleau, “Experimental Analysis of the Influence of Hydrostatic Stress on the Behaviour of an Adhesive Using a Pressure Vessel,” *The Journal of Adhesion*, vol. 87, pp. 804 - 825, 2011.
- [32] J. Cognard, R. Créac’hacdec e L. Sohier, “Influence of adhesive thickness on the behaviour of bonded assemblies under,”

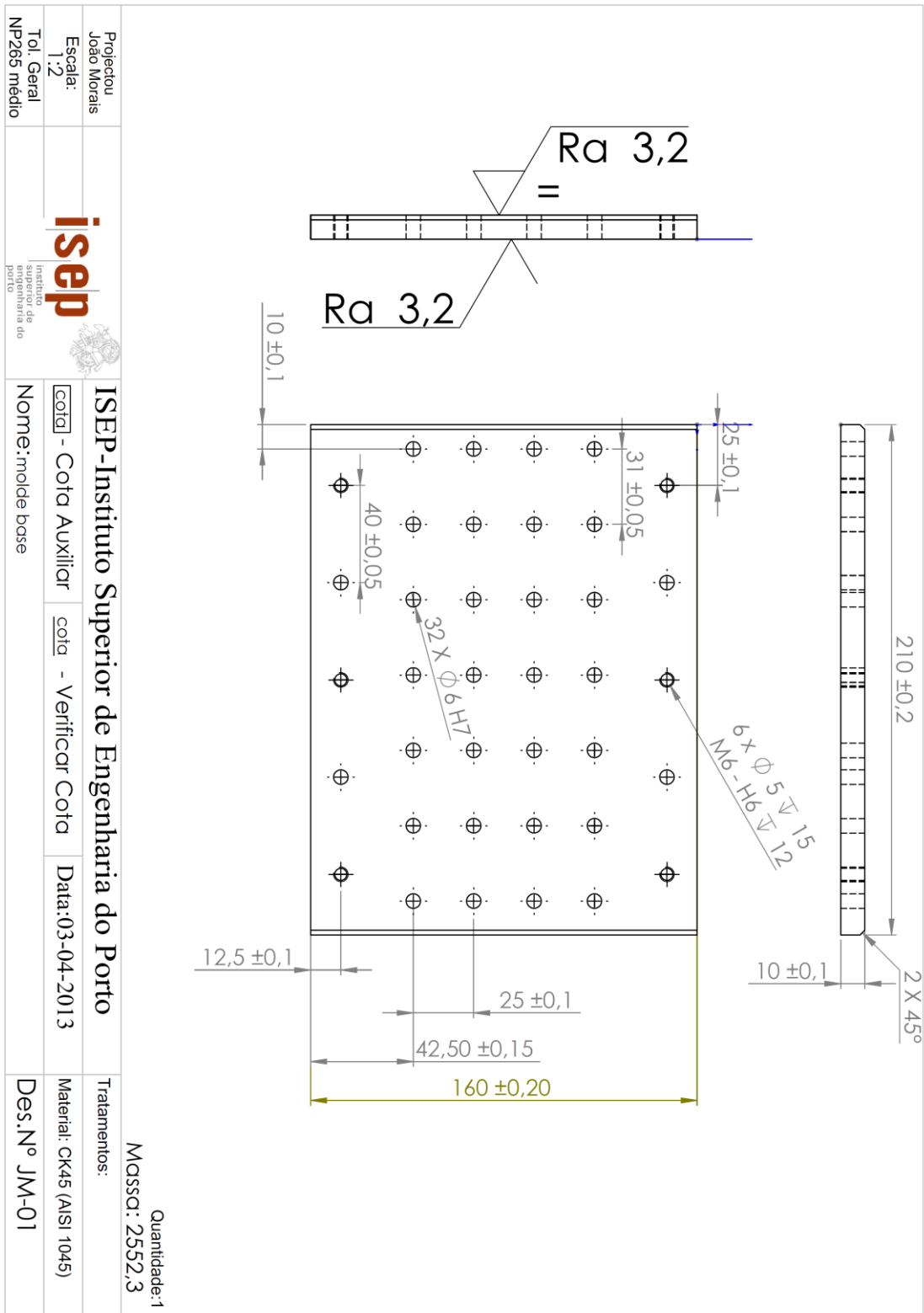
- International Journal of Adhesion & Adhesives*, vol. 30, pp. 257-266, 2010.
- [33] H. Gerling e F. F. da Conceição, *A volta de máquina-ferramenta*, Reverté, 1967.
- [34] “steptools,” 08 06 2013. [Online].
- [35] K. SCHÜTZER e A. L. HELLENO, “Influence Factors for HSC Technology,” *REVISTA DE CIÊNCIA & TECNOLOGIA*, pp. n°23 pag.7-14, 2004.
- [36] “F.ramada,” 08 06 2013. [Online].
- [37] “MATWEB,” 08 06 2013. [Online]. Available: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=cbe4fd0a73cf4690853935f52d910784>.
- [38] G. KRAUSS e R. KENNEDY, *Tool Steels*, 5° ed., ASM International, 1998.
- [39] T. G.E., *Steel Heat Treatment handbook: Metallurgy and Technologies*, Florida: Taylor & Francis group, 2007.
- [40] W. F. Smith, *Structure and properties of engineering alloys*, New York: 2nd, 1993.
- [41] G. Spur e T. Stöferle, *Handbuch der Fertigungstechnik*, Munich: Carl Hanser, 1987.
- [42] P. Soares, *Aços: Características e Tratamentos*, 3° ed., Publindústria, 1980.
- [43] DORMER,
“http://www.dormertools.com/SANDVIK/2531/Internet/Portugese/S004461.nsf/GenerateTopFrameset?ReadForm&menu=&view=http%3A//www.dormertools.com/sandvik/2531/Internet/Portugese/s004459.nsf/Alldocs/Product*2DMachiningSolutions*2ATH*2DTechnicalHandbook&banner=/S,” 2013. [Online].
- [44] SANDVIK, “manual técnico,” 2010.
- [45] U. Fischer , R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Näher, S. Osterle, H. Paetzold e A. Stephan, *Manual de Tecnologia Metal Mecânica (trad. da 43ª edição alemã "Tabellenbuch metall")*, São Paulo: Blucher, 2008.
- [46] R. D. S. G. Campilho, A. M. G. Pinto, M. D. Banea, R. F. Silva e L. F. M. da Silva, “Strength improvement of adhesively-bonded joints using a reverse-bent geometry,”

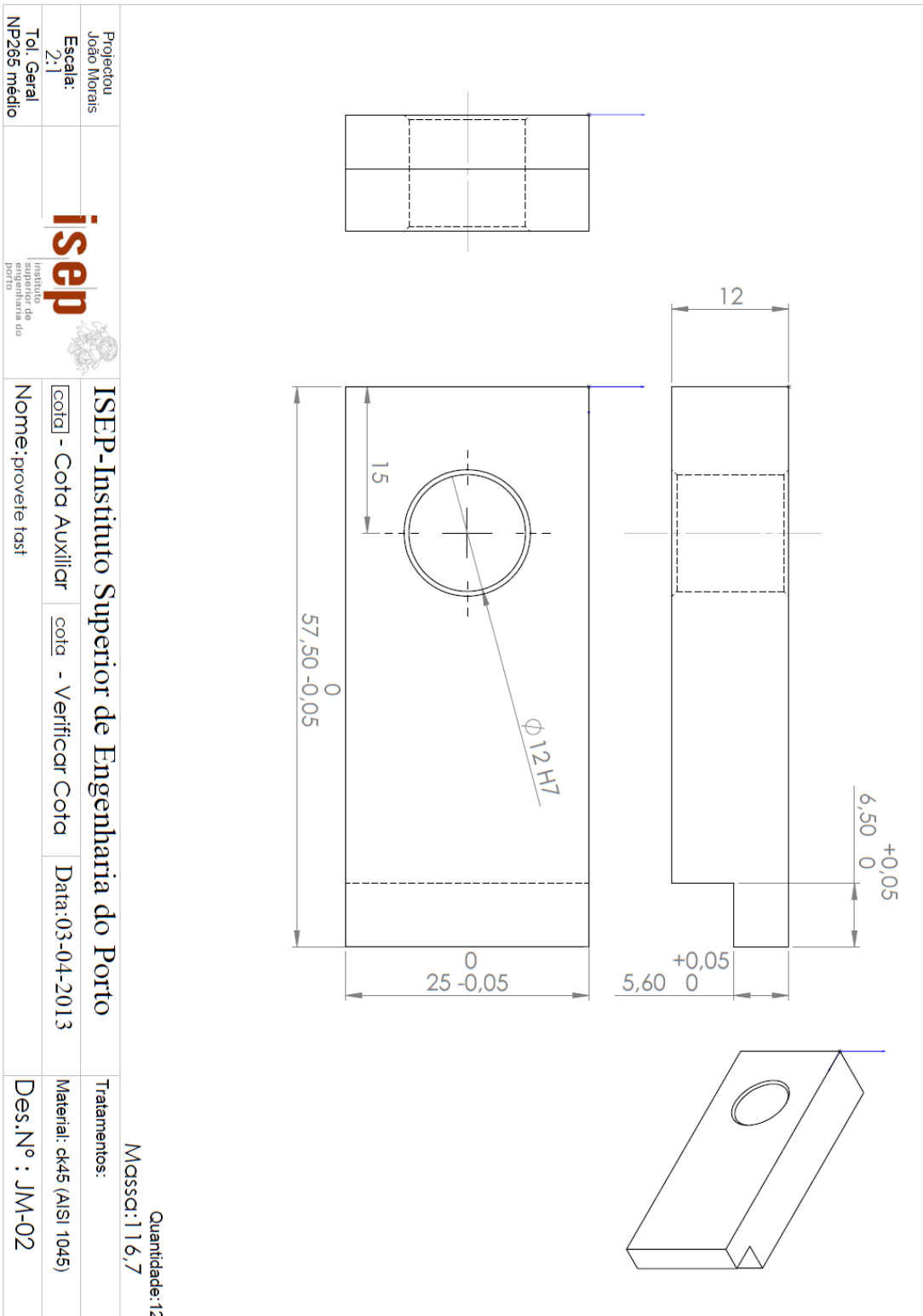
- J. Adhes. Sci. Technol*, vol. 25, pp. 2351-2368, 2011.
- [47] huntsman,
“http://www.huntsman.com/portal/page/portal/advanced_materials/Media%20Library/global/files/SA%20Adhesives%20Selector%20guide.pdf,” 2013. [Online].
[Acedido em 10 09 2013].
- [48] L. F. M. da Silva, G. W. Critchlow e M. A. V. Figueiredo, “Parametric Study of Adhesively Bonded Single Lap Joints by the Taguchi Method,” *Journal of Adhesion Science Technology*, vol. 22, pp. 1477-1494, 2008.
- [49] SIKA, “SikaForce® - 7888 L10 (VP), in Hoja de Datos de Producto, Versión 10 ed.,” 2006, pp. 127-128.
- [50] J. A. B. P. Neto, R. D. S. G. Campilho e L. F. M. da Silva, “Parametric study of adhesive joints with composites,” *International Journal of adhesion & adhesives*, vol. 37, pp. 96-101, 2012.
- [51] Henkel Corporation, “Hysol Surface Preparation Guide,” Aerospace Group., p. 11.
- [52] X. He, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, vol. 31, pp. 248-264, 2011.
- [53] A. Ochsner e J. Gegner, “Critical analysis of the substrate deformation correction in the thick-adherend tensile-shear test,” *Int. J. Adhesion Adhesives*, vol. 24, pp. 37-41, 2004.
- [54] J. Cognar, . L. Creac’hcade, R. Sohie e P. Davied , *International Journal of Adhesion and Adhesives*, p. 393–404, 2008.
- [55] R. D. Adams , J. Comyn e W. C. Wake, *Structural Adhesive Joints in Engineering*, London: Chapman & Hall, 2^aed., 1997.
- [56] G. E. Totten, M. Howes e T. I. Inoue, *Handbook of residual stress and deformation of steel*, Ohio: ASM, 2002.

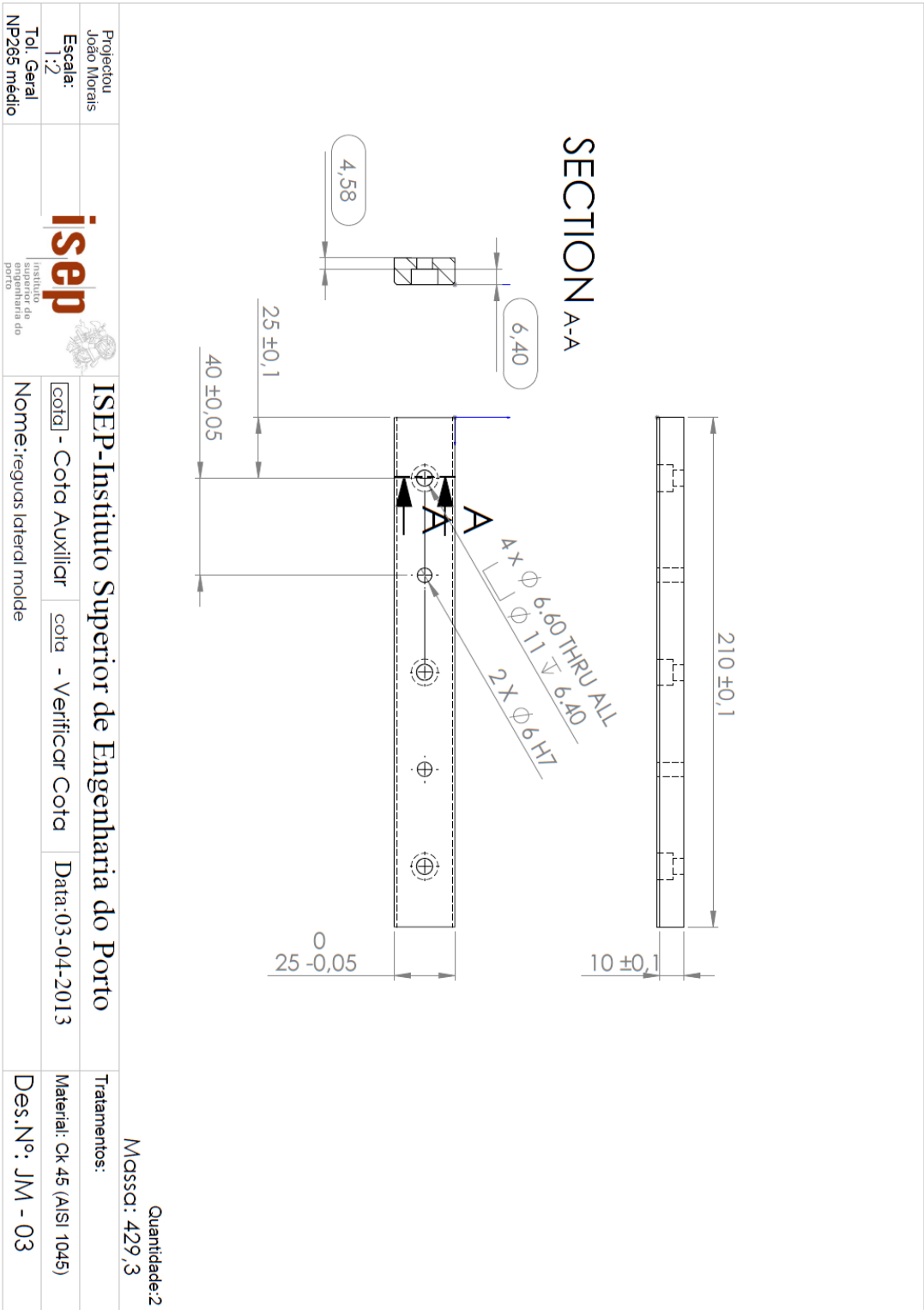
Anexo A. Ferramentas



Projecto: João Morais	 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto			Tratamentos:
Escala: 1:2				Nome: molde conjunto
Tol. Geral NP265 médio	Nome: molde conjunto	Data: 03-04-2013	Material:	







Projectou João Morais				Tratamentos:
Escala: 1:2				Material: CK 45 (AISI 1045)
Tol. Geral NP265 médio				Des.Nº: JM - 03
 Instituto superior de engenharia do porto	ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto			
	cota	- Cota Auxiliar	cota	- Verificar Cota
Nome: reguas lateral molde				

Posição	Quant.	Nome	Des. Nº	Material
1	2	Ligação máquina	JM-06	Aço CK 45
2	2	Fixação	JM-07	Aço CK 45
3	4	veio	JM-09	Aço CK 45
4	12	Provette tast	JM-02	Aço CK 45

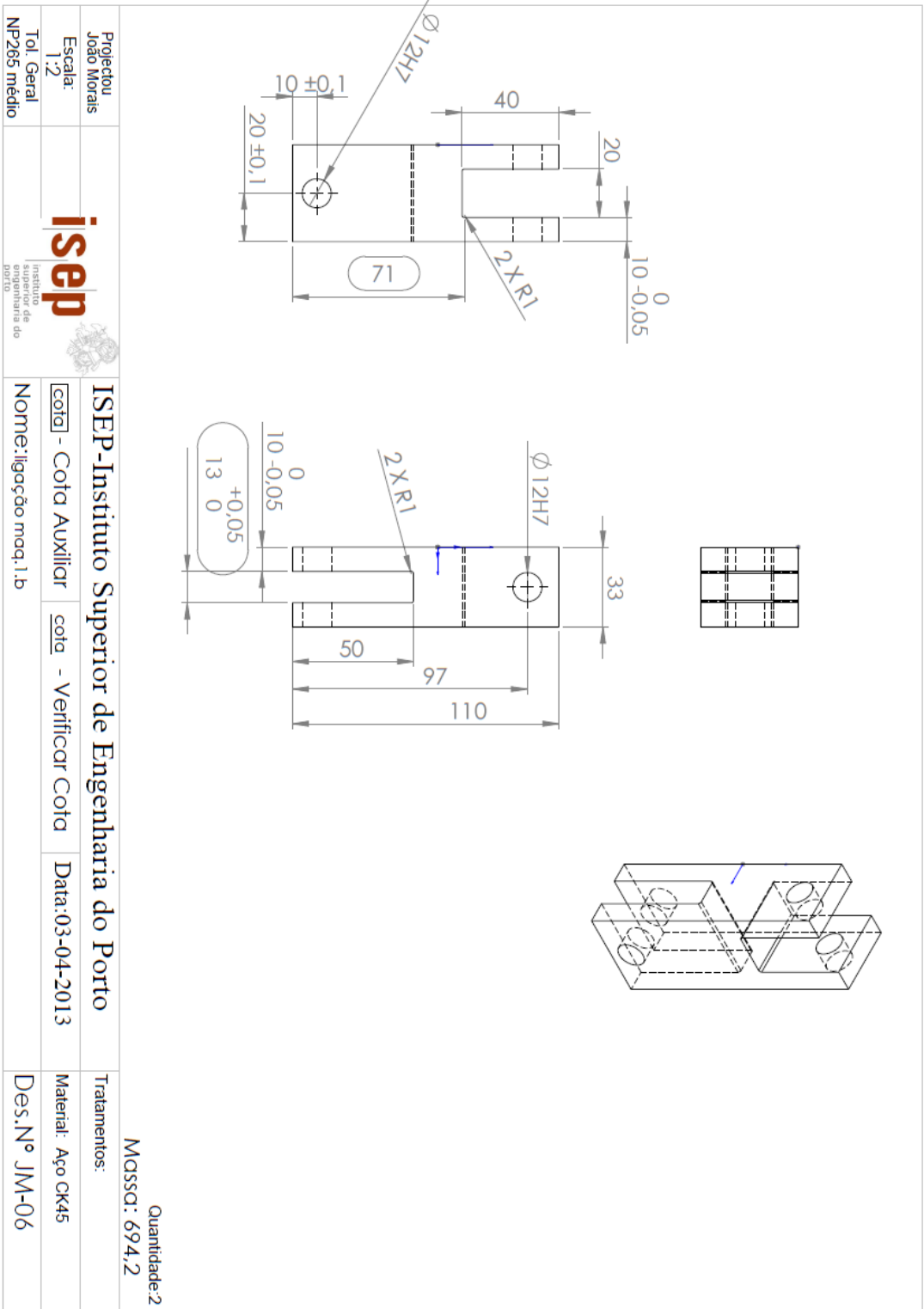
Quantidade: 2
MOSSQ:

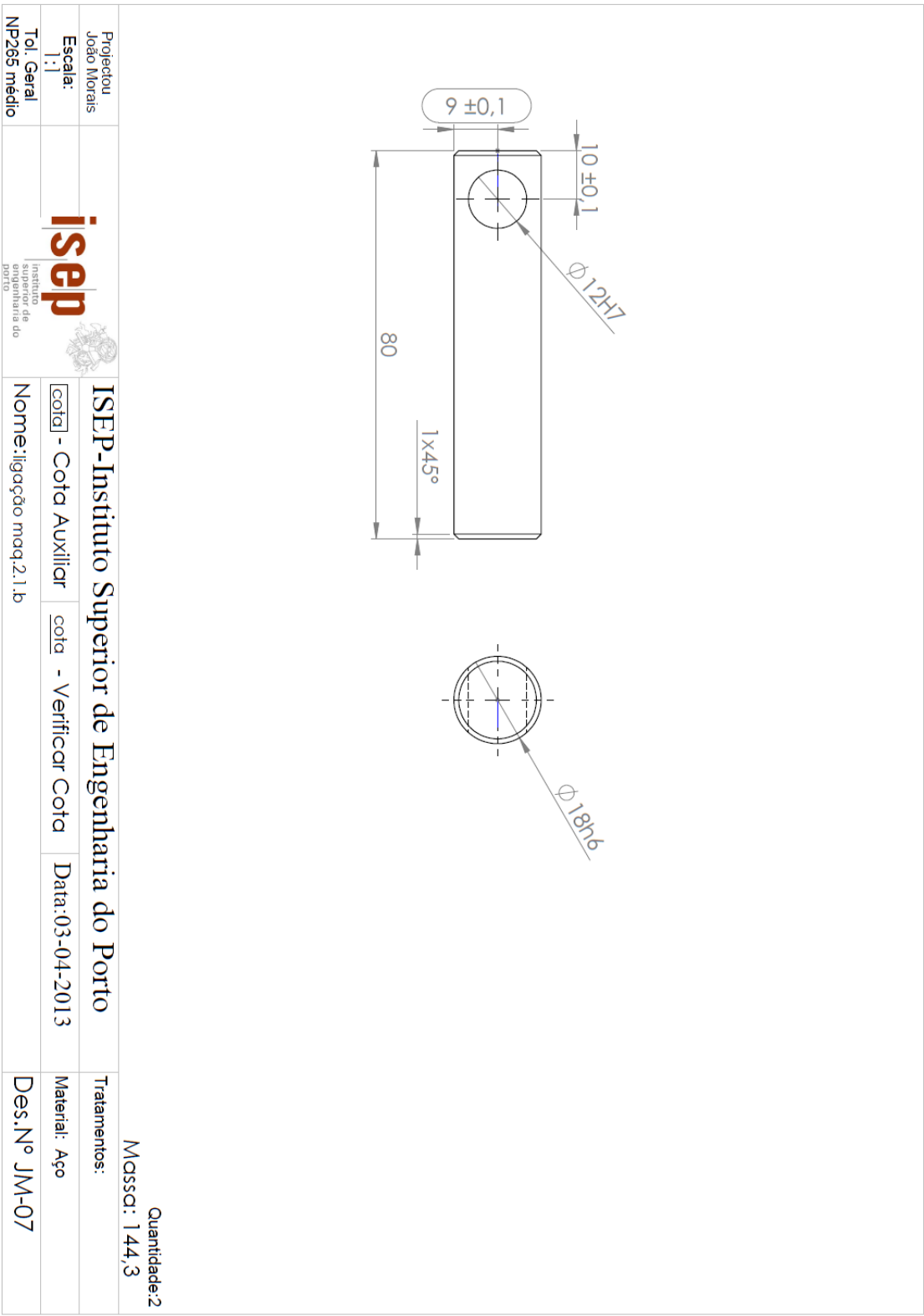
ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto

Nome: fixação maq. tração	Data: 03-04-2013	Tratamentos:
Nome: Cota Auxiliar	cota - Verificar Cota	Material:
Des. Nº JM-10		

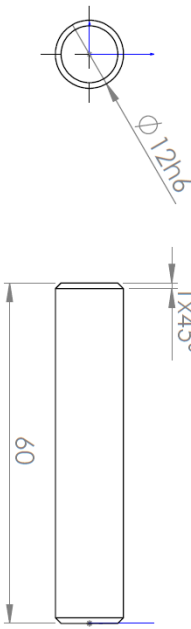
isep
Instituto Superior de Engenharia do Porto

Projector: João Morais
Escala: 1:2
Tol. Geral NP265 médio





Projectou João Morais	 ISEP - Instituto Superior de Engenharia do Porto			Tratamentos:
Escala: 1:1				Nome: ligação maq.2.1.b
Tol. Geral NP265 médio				Des. Nº JM-07

Projectou João Morais				Tratamentos:
Escala: 1:1				Nome: pino maq.b
Tol. Geral NP265 médio	<p>Quantidade: 4</p> <p>Massa: 53,1</p>			Des. Nº JM-07

Anexo B. Ferramentas de maquinagem

Ferramentas de maquinagem da base.

Nº	Tipo de ferramenta	Fabricante	Modelo ferramenta + pastilha - suporte	Diâmetro (mm)	Aplicação	Comprimento do flanco (mm)	Nº de navalhas (z)
T1/ T2/ T12	Fresa de desbaste	SANDVIK®	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Desbaste e acabamento de topo	12	4
T2/ T3	Fresa de acabamento	CM-TOOLS®	End Mill:20.0:53W20006 (HSS)	20	Desbaste e acabamento	46,5	4
T4	Escareador	---	Chamfer Mill:M0800 (HSS)	20	Chanfrar	63	3
T5/ T13	Broca de ponto	DORMER®	Center Mill:02.5:A200 (HSS)	2,5	Pontear	45	2
T6	Broca	---	Twist Drill:05.5 (HSS)	5,5	Furar	64	2
T7	Fresa de acabamento	CM-TOOLS®	EndMill:05.0:53W05006 (HSS)	5	Acabamento	17	4
T8/ T14	Escareador		Counter Sink 90:M0800 (HSS)	8	Chanfrar	51	1
T9	Alargador	DORMER®	Ream:06.0:6H7 (HSS)	6	Alargar a furação	54,5	6
T10	Fresa de desbaste	LAMINA®	FaceMill:50.0: + APKT1604 (Carbide) - CAT 40, Collet	50	Facejamento de topo	92,5	4
T11	Escareador	---	Chamfer Mill: M0800	8	Chanfrar	75	3
T12	Macho	DORMER®	EP006H (HSS)	6	Rosca	25,4	N/A

Ferramentas de maquinagem régua lateral

Nº	Tipo de ferramenta	Fabricante	Modelo ferramenta + pastilha - suporte	Diâmetro (mm)	Aplicação	Comprimento do flanco (mm)	Nº de navalhas (z)
T1/ T2/ T6/ T7	Fresa de desbaste	SANDVIK®	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Desbaste e acabamento de topo	12	4
T3/ T4	Fresa de acabamento	CM-TOOLS®	End Mill:20.0:53W20006 (HSS)	20	Desbaste e acabamento	46,5	4
T5	Escareador	---	Chamfer Mill:M0800 (HSS)	8	Chanfrar	75	1
T11	Broca de ponto	DORMER®	Center Mill:02.5:A200 (HSS)	2,5	Pontear	3,6	1
T9	Broca de ponto	---	center_M1600-0630 (HSS)	6,3	Pontear	6,3	1
T10	Broca	---	Twist Drill _M0660:J (HSS)	6,6	Furar	73	1
T14	Escareador	DORMER®	Counter Sink:31.5:G129 (HSS)	31,5	Escarear	15,75	1
T12	Broca	---	Twist Drill _M0600:J (HSS)	6	Furar	70	1
T4	Fresa de acabamento	CM-TOOLS®	End Mill:05.0:53W5006 (HSS)	5	Acabamento	17	4

Ferramentas de maquinagem provete de TAST


Nº	Tipo de ferramenta	Fabricante	Modelo ferramenta + pastilha – suporte	Diâmetro (mm)	Aplicação	Comprimento do flanco (mm)	Nº de navalhas (z)
T1/ T2/ T3/ T4/ T10/ T11 / T12	Fresa de desbaste	SANDVIK®	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Desbaste e acabamento de topo	12	4
T5	Broca de ponto	DORMER®	Center Mill:02.5:A200 (HSS)	2,5	Pontear	3,6	1
T6	Broca	---	Twist Drill _M0600:J (HSS)	6	Furar	70	1
T7	Broca	---	Twist Drill _M1200:J (HSS)	12	Furar	111	1
T8/ T13	Escareador	---	Counter Sink 90: M1600 (HSS)	16	Escarear	42,8	1
T9/ T14 T15/T16 / T17	Fresa de acabamento	CM-TOOLS®	End Mill:20.0: 53W20006 (HSS)	20	Desbaste e acabamento	46,5	4

Ferramentas de maquinagem ligação máquina.


Nº	Tipo de ferramenta	Fabricante	Modelo ferramenta + pastilha - suporte	Diâmetro (mm)	Aplicação	Comprimento do flanco (mm)	Nº de navalhas (z)
T1/ T8	Fresa de desbaste	---	Face Mill: M3200 (carbide)	32	Desbaste	30	3
T2/ T9	Fresa de desbaste	SANDVIK®	Face Mill:80.0:R245 (Carbide)	92,5	Desbaste e acabamento de topo	50	6
T3/ T4	Fresa de desbaste	---	End Mill: M2500: 4reg (HSS)	25	Desbaste	50,80	4
T5/ T10	Broca de ponto	DORMER®	Center Mill:02.5:A200 (HSS)	2,5	Pontear	3,6	1
T6/ T11	Broca	---	Twist Drill _M0600:J (HSS)	6	Furar	70	1
T7	Broca	---	Twist Drill _M1200:J (HSS)	12	Furar	111	1
T13	Fresa de desbaste	CM-TOOLS®	End Mill:10.0: 53W10006 (HSS)	10	Desbastar e acabamento	27	4
T14	Fresa de desbaste	CM-TOOLS®	End Mill:16.0: 53W16006 (HSS)	16	Desbastar e acabamento	41	4

Anexo C. Parâmetros de maquinagem


Parâmetros de maquinagem gabarit.

1	Ficha técnica						
	Gabarit						
Material			Aço AISI 1045		Parâmetros de corte 		
Tempo de maquinagem			1'58''				
Nº	Modelo ferramenta + pastilha - suporte	Ø (mm)	Operação	Vc (m/min)	n (rpm)	Vf (mm/min)	Penetração (mm)
T1	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (desbaste)	101	509	685	2
T2	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (acabamento)	121	611	534,6	0,1
T3	End Mill:20.0:53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (desbaste)	34	540	320,3	10,5
T4	End Mill:20.0:53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (acabamento)	41	648	249,8	10,5
T5	Chamfer Mill:M0800 (HSS)	20	Chanfrar	56	893	62,5	10,5
T6	Center Mill:02.5:A200 (HSS)	2,5	Pontear	20	2516	105,2	2
T7	Twist Drill: 05.5 (HSS)	5,5	Furar	21	1201	110,4	15
T8	EndMill:05.0:53W05006 (HSS)	5	Facejar (acabamento)	34	2159	320,3	15
T9	Counter Sink 90:M0800 (HSS)	8	Chanfrar	19	737	39,4	3,2
T10	Ream:06.0:6H7 (HSS)	6	Alargar furação	10	572	315,5	14
T11	FaceMill:50.0: + APKT1604 (Carbide) - CAT 40, Collet	50	Desbastar	101	642	863,6	6
T12	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar (acabamento)	121	611	534,6	0,25
T13	Chamfer Mill:M0800 (HSS)	20	Chanfrar	56	893	62,5	10
T14	Counter Sink 90:M0800 (HSS)	8	Chanfrar	19	737	39,4	3,2
T15	EP006H (HSS)	6	Roscar	6	340	340	9,75

Parâmetros de maquinagem régua lateral.

Ficha técnica							
Régua lateral							
Material			Aço AISI 1045				
Tempo de maquinagem			0'56''				
				Parâmetros de corte 			
Nº	Modelo ferramenta + pastilha - suporte	Ø (mm)	Operação	Vc (m/min)	n (rpm)	Vf (mm/min)	Penetração (mm)
T1	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (desbaste)	101	509	685	2
T2	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (acabamento)	121	611	534,6	0,2
T3	End Mill:20.0:53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (desbaste)	34	540	320,3	11
T4	End Mill:20.0:53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (desbaste)	41	648	249,8	11
T5	Chamfer Mill: M0800	8	Chanfrar a aresta	56	893	62,5	11
T6	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (desbaste)	101	509	685	3
T7	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (acabamento)	121	611	534,6	0,25
T8	Chamfer Mill: M0800	8	Chanfrar a aresta	56	893	62,5	11
T9	Center_M1600-0630 (HSS)	6,3	Pontear	11	554	105,2	10,67
T10	Twist Drill _M0660:J (HSS)	6,6	Furar	20	1048	105,2	14,64
T11	Center Mill:02.5:A200 (HSS)	6,3	Centrar	20	2516	105,2	2
T12	Twist Drill _M0600:J (HSS)	6	Furar	20	1048	105,2	14,40
T13	End Mill: 05.0:53W5006 (HSS)	5	Fresar (acabamento)	34	2159	320,3	6,4
T14	Counter Sink:31.5:G129 (HSS)	31,5	Escarear	71	715	39,4	3,3

Parâmetros de maquinagem provete de TAST.

3		Ficha técnica						
		Proвете de TAST						
Material		Aço AISI 1045						
Tempo de maquinagem		0'13''						
				Parâmetros de corte				
Nº	Modelo ferramenta + pastilha - suporte	Ø (mm)	Operação	Vc (m/min)	n (rpm)	Vf (mm/min)	Penetração (mm)	
T1	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar lateral (desbaste)	101	509	685	1,5	
T2	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar lateral (acabamento)	121	611	534,6	0,5	
T3	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (desbaste)	101	509	685	2,0	
T4	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (acabamento)	121	611	534,6	0,5	
T5	Center Mill:02.5: A200 (HSS)	6,3	Centrar	20	2516	105,2	2	
T6	Twist Drill _M0600:J (HSS)	6	Furar	20	1048	105,2	16,403	
T7	Twist Drill _M1200:J (HSS)	12	Furar	20	524	105,2	18,805	
T8	Counter Sink 90: M1600 (HSS)	16	Escarear	19	374	39,4	6,3	
T9	End Mill:20.0: 53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (desbaste)	34	540	320,3	15	
T10	End Mill:20.0: 53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (acabamento)	41	648	249,8	15	
T11	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (desbaste)	101	509	685	3	
T12	Face Mill:63.0:R200 + RCKT 12 04 (Carbide)	63	Facejar topo (acabamento)	121	611	534,6	0,25	
T13	Counter Sink 90: M1600 (HSS)	16	Escarear	19	374	39,4	6,3	
T14	End Mill:20.0: 53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (desbaste)	34	540	320,3	6,350	
T15	End Mill:20.0: 53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (acabamento)	41	648	249,8	6,350	
T16	End Mill:20.0: 53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (desbaste)	34	540	320,3	6,650	
T17	End Mill:20.0: 53W20006 (HSS)	20	Facejar lateral (acabamento)	41	648	249,8	6,650	

Parâmetros de maquinagem ligação máquina.

4							
Ficha técnica							
Ferramentas de ligação máquina							
Material				Aço AISI 1045			
Tempo de maquinagem				1'36''			
				Parâmetros de corte			
Nº	Modelo ferramenta + pastilha - suporte	Ø (mm)	Operação	Vc (m/min)	n (rpm)	V _f (mm/min)	Penetração (mm)
T1	Face Mill: M3200 (carbide)	32	Facejar topo desbaste	101	1003	1012,0	1,0
T2	Face Mill:80.0:R245 (Carbide)	92,5	Facejar topo (acabamento)	121	416	546,2	0,2
T3	End Mill: M2500: 4reg (HSS)	25	Facejar lateral (desbaste)	34	432	320,3	33,5
T4	End Mill: M2500: 4reg (HSS)	25	Facejar lateral (acabamento)	41	518	249,8	33,5
T5	Center Mill:02.5: A200 (HSS)	6,3	Centrar	20	2516	105,2	2
T6	Twist Drill _M0600:J (HSS)	6	Furar	20	1048	105,2	33,803
T7	Twist Drill _M1200:J (HSS)	12	Furar	20	524	105,2	37,605
T8	Face Mill: M3200 (carbide)	32	Facejar topo desbaste	101	1003	1012,0	6,0
T9	Face Mill:80.0:R245 (Carbide)	92,5	Facejar topo (acabamento)	121	416	546,2	0,5
T10	Center Mill:02.5: A200 (HSS)	6,3	Centrar	20	2516	105,2	2
T11	Twist Drill _M0600:J (HSS)	6	Furar	20	1048	105,2	43,803
T12	Twist Drill _M1200:J (HSS)	12	Furar	20	524	105,2	46,605
T13	End Mill:10.0: 53W10006 (HSS)	10	Facejar (desbaste)	34	1079	320,3	41,0
T14	End Mill:16.0: 53W16006 (HSS)	16	Facejar lateral (desbaste)	34	675	320,3	33,5
T15	End Mill:10.0: 53W10006 (HSS)	10	Facejar (desbaste)	34	1079	320,3	33,5
T16	End Mill:10.0: 53W10006 (HSS)	10	Facejar (acabamento)	41	1295	249,8	33,5



Anexo D. ADESIVO ARALDITE[®]
AV138/HV998

Advanced Materials

Araldite® AV 138M-1 / Hardener HV 998

Structural Adhesives

Araldite® AV 138M-1 / Hardener HV 998

Two component epoxy adhesive

Key properties

- Low out gassing / volatile loss
- Excellent chemical resistance
- Temperature resistant to 120°C
- Thixotropic, gap filling paste

Description

Araldite® AV 138M-1 / Hardener HV 998 is a two component, room temperature curing paste adhesive of high strength. When fully cured the adhesive will have excellent performance at elevated temperatures and has high chemical resistance. It is suitable for bonding a wide variety of metals, ceramics, glass, rubbers, rigid plastics and other materials, and is widely used in many industrial applications where resistance to aggressive or warm environments are required. The low out gassing makes this product suitable for specialist electronic telecommunication and aerospace applications.

Typical product data

Property	Araldite® AV 138M-1	Hardener HV 998	Mix
Colour (visual)	beige	grey	grey
Specific gravity	ca. 1.7	ca. 1.7	ca. 1.7
Viscosity (Pas)	thixotropic	thixotropic	thixotropic
Pot Life (100 gm at 25°C)	-	-	35 mins

Processing

Pretreatment

The strength and durability of a bonded joint are dependant on proper treatment of the surfaces to be bonded.

At the very least, joint surfaces should be cleaned with a good degreasing agent such as acetone or other proprietary degreasing agents in order to remove all traces of oil, grease and dirt.

Low grade alcohol, gasoline (petrol) or paint thinners should never be used.

The strongest and most durable joints are obtained by either mechanically abrading or chemically etching ("pickling") the degreased surfaces. Abrading should be followed by a second degreasing treatment

Mix ratio	Parts by weight	Parts by volume
Araldite® AV 138M-1	100	100
Hardener HV 998	40	40

Resin and hardener should be blended until they form a homogeneous mix.

Application of adhesive

The resin/hardener mix is applied with a spatula, to the pretreated and dry joint surfaces.

A layer of adhesive 0.05 to 0.10 mm thick will normally impart the greatest lap shear strength to the joint.

The joint components should be assembled and clamped as soon as the adhesive has been applied. An even con-

tact pressure throughout the joint area will ensure optimum cure.

Mechanical processing

Specialist firms have developed metering, mixing and spreading equipment that enables the bulk processing of adhesive. We will be pleased to advise customers on the choice of equipment for their particular needs.

Equipment maintenance

All tools should be cleaned with hot water and soap before adhesives residues have had time to cure. The removal of cured residues is a difficult and time-consuming operation.

If solvents such as acetone are used for cleaning, operatives should take the appropriate precautions and, in addition, avoid skin and eye contact.

Curing times

Temperature	°C	10	15	23	40	60	80	100
Cure time	hours	48	36	24	16	1	-	-
	minutes	-	-	-	-	-	15	10
LSS at 23°C	N/mm ²	10	11	13	14	15	16	18

LSS = Lap shear strength.

Typical cured properties

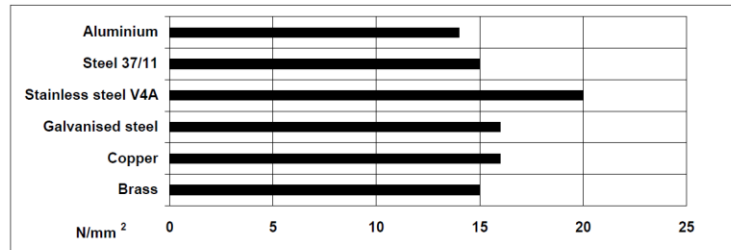
Unless otherwise stated, the figures given below were all determined by testing standard specimens made by lap-jointing 114 x 25 x 1.6 mm strips of aluminium alloy. The joint area was 12.5 x 25 mm in each case.

The figures were determined with typical production batches using standard testing methods. They are provided solely as technical information and do not constitute a product specification.

Average lap shear strengths of typical metal-to-metal joints (ISO 4587)

Cure: 16 hours at 40°C and tested at 23°C

Pretreatment - Sand blasting

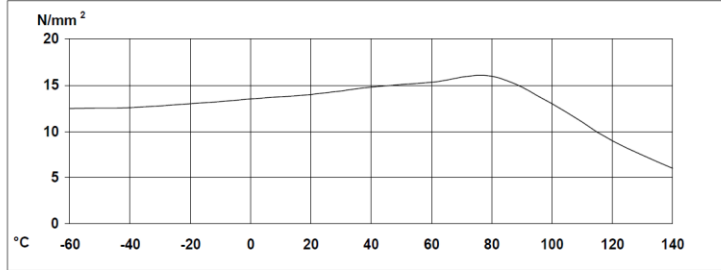


Shear modulus (DMA ISO 6721)

Cure: 16 hours at 40°C

-25°C	2175 MPa
0°C	2030 MPa
20°C	1890 MPa
60°C	780 MPa
100°C	34 MPa
120°C	27 MPa

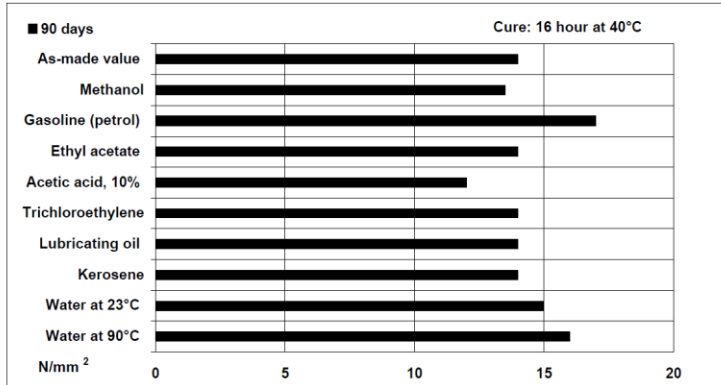
Lap shear strength versus temperature (ISO 4587) (typical average values)
Cure: 16 hours at 40°C



Roller peel test (ISO 4578)

Cure: 16 hours at 40°C	1.8 N/mm
Shore hardness	D84-86
Tensile strength	
Cure: 16 hours at 40°C	43 MPa
Tensile modulus	4.7 GPa
Elongation at break	1.2%

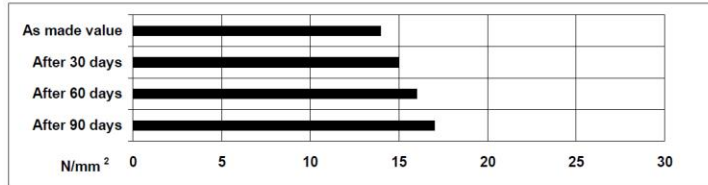
Lap shear strength versus immersion in various media (typical average values)
Unless otherwise stated, L.S.S. was determined after immersion for 90 days at 23°C



Lap shear strength versus tropical weathering

(40/92, DIN 50015; typical average values)

Test at 23°C



Storage

Araldite® AV 138M-1 and Hardener HV 998 may be stored for up to 6 years and 3 years respectively at room temperature provided that the components are stored in sealed containers. The expiry date is indicated on the label.

**Handling
Precautions**

Caution

Our products are generally quite harmless to handle provided that certain precautions normally taken when handling chemicals are observed. The uncured materials must not, for instance, be allowed to come into contact with food-stuffs or food utensils, and measures should be taken to prevent the uncured materials from coming in contact with the skin, since people with particularly sensitive skin may be affected. The wearing of impervious rubber or plastic gloves will normally be necessary; likewise the use of eye protection. The skin should be thoroughly cleansed at the end of each working period by washing with soap and warm water. The use of solvents is to be avoided. Disposable paper - not cloth towels - should be used to dry the skin. Adequate ventilation of the working area is recommended. These precautions are described in greater detail in the Material Safety Data sheets for the individual products and should be referred to for fuller information.

Huntsman Advanced Materials

(Switzerland) GmbH
Klybeckstrasse 200
4057 Basel
Switzerland

Tel: +41 (0)61 299 11 11
Fax: +41 (0)61 299 11 12

www.huntsman.com/advanced_materials
Email: advanced_materials@huntsman.com

Huntsman Advanced Materials warrants only that its products meet the specifications agreed with the buyer. Typical properties, where stated, are to be considered as representative of current production and should not be treated as specifications.

The manufacture of materials is the subject of granted patents and patent applications; freedom to operate patented processes is not implied by this publication.

While all the information and recommendations in this publication are, to the best of our knowledge, information and belief, accurate at the date of publication, NOTHING HEREIN IS TO BE CONSTRUED AS A WARRANTY, EXPRESS OR OTHERWISE.

IN ALL CASES, IT IS THE RESPONSIBILITY OF THE USER TO DETERMINE THE APPLICABILITY OF SUCH INFORMATION AND RECOMMENDATIONS AND THE SUITABILITY OF ANY PRODUCT FOR ITS OWN PARTICULAR PURPOSE.

The behaviour of the products referred to in this publication in manufacturing processes and their suitability in any given end-use environment are dependent upon various conditions such as chemical compatibility, temperature, and other variables, which are not known to Huntsman Advanced Materials. It is the responsibility of the user to evaluate the manufacturing circumstances and the final product under actual end-use requirements and to adequately advise and warn purchasers and users thereof.

Products may be toxic and require special precautions in handling. The user should obtain Safety Data Sheets from Huntsman Advanced Materials containing detailed information on toxicity, together with proper shipping, handling and storage procedures, and should comply with all applicable safety and environmental standards.

Hazards, toxicity and behaviour of the products may differ when used with other materials and are dependent on manufacturing circumstances or other processes. Such hazards, toxicity and behaviour should be determined by the user and made known to handlers, processors and end users.

Except where explicitly agreed otherwise, the sale of products referred to in this publication is subject to the general terms and conditions of sale of Huntsman Advanced Materials LLC or of its affiliated companies including without limitation, Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA, Huntsman Advanced Materials Americas Inc., and Huntsman Advanced Materials (Hong Kong) Ltd.

Huntsman Advanced Materials is an international business unit of Huntsman Corporation. Huntsman Advanced Materials trades through Huntsman affiliated companies in different countries including but not limited to Huntsman Advanced Materials LLC in the USA and Huntsman Advanced Materials (Europe) BVBA in Europe.

Araldite is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof.

Copyright © 2008 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.

Anexo E. ADESIVO ARALDITE[®] 2015

Advanced Materials

Araldite® 2015

Structural Adhesives

TECHNICAL DATA SHEET

Araldite® 2015
Two component epoxy paste adhesive

Key properties	<ul style="list-style-type: none"> • Toughened paste • Ideal for bonding GRP, SMC and dissimilar substrates • Low shrinkage • Gap filling, non sagging up to 10mm thickness • High shear and peel strength
-----------------------	---

Description	Araldite 2015 is a two component, room temperature curing paste adhesive giving a resilient bond. It is thixotropic and non sagging up to 10mm thickness. It is particularly suitable for SMC and GRP bonding.
--------------------	--

Product data																					
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Property</th> <th>2015 A</th> <th>2015 B</th> <th>Mixed Adhesive</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Colour (visual)</td> <td>neutral paste</td> <td>neutral paste</td> <td>neutral paste</td> </tr> <tr> <td>Specific gravity</td> <td>1.4</td> <td>1.4</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>Viscosity at 25°C (Pas)</td> <td>thixotropic</td> <td>thixotropic</td> <td>thixotropic</td> </tr> <tr> <td>Pot Life (100 gm at 25°C)</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>30 - 40 minutes</td> </tr> </tbody> </table>	Property	2015 A	2015 B	Mixed Adhesive	Colour (visual)	neutral paste	neutral paste	neutral paste	Specific gravity	1.4	1.4	1.4	Viscosity at 25°C (Pas)	thixotropic	thixotropic	thixotropic	Pot Life (100 gm at 25°C)	-	-	30 - 40 minutes
Property	2015 A	2015 B	Mixed Adhesive																		
Colour (visual)	neutral paste	neutral paste	neutral paste																		
Specific gravity	1.4	1.4	1.4																		
Viscosity at 25°C (Pas)	thixotropic	thixotropic	thixotropic																		
Pot Life (100 gm at 25°C)	-	-	30 - 40 minutes																		

Processing	<p>Pretreatment</p> <p>The strength and durability of a bonded joint are dependent on proper treatment of the surfaces to be bonded. At the very least, joint surfaces should be cleaned with a good degreasing agent such as acetone, iso-propanol (for plastics) or other proprietary degreasing agents in order to remove all traces of oil, grease and dirt. Low grade alcohol, gasoline (petrol) or paint thinners should never be used. The strongest and most durable joints are obtained by either mechanically abrading or chemically etching ("pickling") the degreased surfaces. Abrading should be followed by a second degreasing treatment.</p>
-------------------	--

Mix ratio	Parts by weight	Parts by volume
Araldite 2015/A	100	100
Araldite 2015/B	100	100

Araldite 2015 is available in cartridges incorporating mixers and can be applied as ready to use adhesive with the aid of the tool recommended by Huntsman Advanced Materials.

Application of adhesive

The resin/hardener mix may be applied manually or robotically to the pretreated and dry joint surfaces. Huntsman's technical support group can assist the user in the selection of a suitable application method as well as suggest a variety of reputable companies that manufacture and service adhesive dispensing equipment. A layer of adhesive 0.05 to 0.10 mm thick will normally impart the greatest lap shear strength to the joint. Huntsman stresses that proper adhesive joint design is also critical for a durable bond. The joint components should be assembled and secured in a fixed position as soon as the adhesive has been applied. For more detailed explanations regarding surface preparation and pretreatment, adhesive joint design, and the dual syringe dispensing system, visit www.araldite2000plus.com.

Equipment maintenance

All tools should be cleaned with hot water and soap before adhesives residues have had time to cure. The removal of cured residues is a difficult and time-consuming operation. If solvents such as acetone are used for cleaning, operatives should take the appropriate precautions and, in addition, avoid skin and eye contact.

Times to minimum shear strength

Temperature	°C	10	15	23	40	60	100
Cure time to reach	hours	12	7.5	4	1	-	-
LSS > 1MPa	minutes	-	-	-	-	17	6
Cure time to reach	hours	21	13	6	2	-	-
LSS > 10MPa	minutes	-	-	-	-	35	7

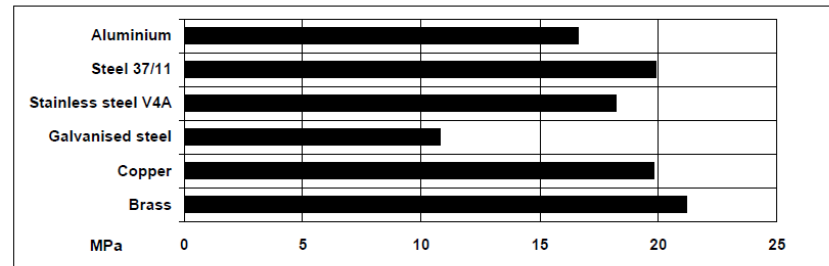
LSS = Lap shear strength.

Typical cured properties

Unless otherwise stated, the figures given below were all determined by testing standard specimens made by lap-jointing 114 x 25 x 1.6 mm strips of aluminium alloy. The joint area was 12.5 x 25 mm in each case. The figures were determined with typical production batches using standard testing methods. They are provided solely as technical information and do not constitute a product specification.

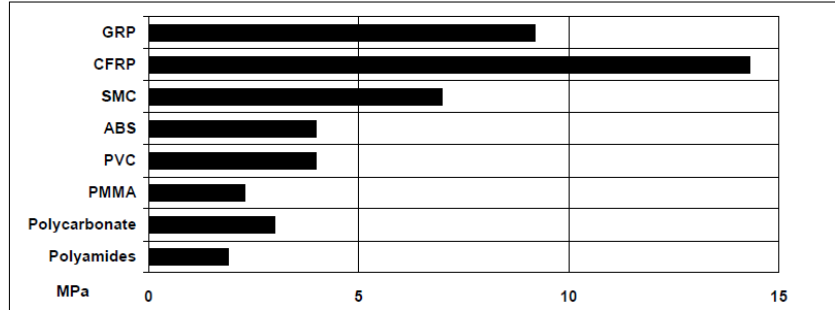
Average lap shear strengths of typical metal-to-metal joints (ISO 4587)

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C
Pretreatment - Sand blasting



Average lap shear strengths of typical plastic-to-plastic joints (ISO 4587)

Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C. Pretreatment – Lightly abrade and alcohol degrease.



Tensile strength at 23°C (ISO 527)

30 MPa

Tensile modulus

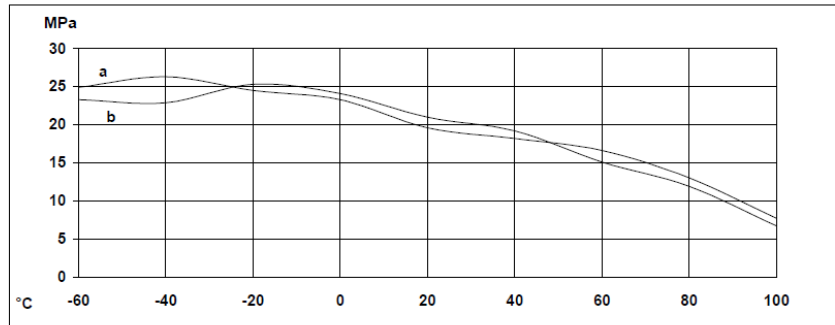
2 GPa

Elongation at break

4.4 %

Lap shear strength versus temperature (ISO 4587) (typical average values)

Cure: (a) = 7 days at 23°C; (b) = 24 hours at 23°C + 30 minutes at 80°C



Roller peel test (ISO 4578)

Cured: 16 hours at 40°C

4 N/mm

Glass transition temperature

Cure: 16 hours at 40°C

67°C by DSC

Cure: 1 hour at 80°C

87 by shear modulus

DIN 53445

Dielectric constant (500v at 25°C)

5.6 at 1 kHz

Anexo F. ADESIVO SIKA FORCE[®] 7888

Hoja de Datos de Producto
Versión 10 / 2006

SikaForce®-7888 L10 (VP)

Adhesivo altamente estructural de rápido curado para ensamblaje

2.3.1.

Datos Técnicos:

	Componente A (Resina)	Componente B (Endurecedor)
Base química	Poliolios, con cargas	Derivados de isocianato, sin cargas
Mecanismo de reacción	Poliadición	
Contenido en sólidos	100 %	100 %
Color	Negro	Amarillento
Color de la mezcla	Negro	
Densidad (25°C) (CQP 553-1)	1,66 g/cm ³ aprox.	1,18 g/cm ³ aprox.
Viscosidad (25°C) (CQP 538-1)	18.000 mPas prox	18.000 mPas aprox.
Viscosidad de la mezcla (CQP 536-1)	65.000 mPas, aprox	
Relación de mezcla	en peso 100	70
	en volumen 100	100
Tixotropía	Buena	
Vida de la mezcla 25°C ¹⁾ (CQP 536-1)	10 min. aprox	
Desarrollo de la resistencia y velocidad de curado	Aún no determinado	
Rango de temperatura de aplicación	15-35°C	
Dureza Shore-D (DIN 53505 / CQP 537-1) ²⁾	70 aprox.	
Alargamiento a rotura (ISO 527/CQP545-1) ²⁾⁴⁾	40% aprox.	
Resistencia a tracción (ISO 527/CQP 545-1) ²⁾⁴⁾	20 Mpa aprox.	
Resistencia a cortadura (DIN EN 1465 /CQP 546-1) ²⁾³⁾	20 Mpa aprox. (depende del sustrato)	
Temperatura de transición vítrea (CQP 509-1)	40° C aprox	
Vida del producto (en envase original cerrado por debajo de 25°C) ²⁾	6 meses	

¹⁾ Tiempo para incremento de viscosidad a 150.000 mPas en reómetro

²⁾ Temperatura de ensayo: 23°C, 50% humedad relativa; condiciones de curado: 48 hrs. RT + 3 hrs. 105°C + 24 hrs. RT

⁴⁾ Sustrato: AlCuMg, platinada; espesor de capa: 1,5 mm

³⁾ Espesor de capa en el ensayo: 4 mm

Descripción

SikaForce®-7888 L10 (VP) es un adhesivo base poliuretano bicomponente altamente estructural de montaje que cura por reacción química para convertirse en un polímero duradero.

Los dos componentes se aplican mediante cartucho por medio de una pistola neumática y un mezclador estático, también mediante el adecuado equipo de mezclado y medida.

SikaForce®-7888 L10 (VP) se fabrica de acuerdo con el sistema de calidad ISO 9001/14001 y con un programa de Seguridad Responsable.

Ventajas

- Corta rotura de hilo.
- Buena tixotropía.
- Adecuado tiempo de trabajo a pesar de su rápido curado.

- Rápido desarrollo de la resistencia, curado a temperatura ambiente.
- Muy alta resistencia.
- Elevada elongación (buena resistencia al impacto).
- Resistencia a los esfuerzos dinámicos.
- Buena adhesión sobre una amplia variedad de sustratos.
- No conductor.
- Resistente al envejecimiento.
- Libre de solventes y PVC



Industry

Áreas de aplicación

SikaForce®-7888 L10 (VP) es apto para uniones estructurales que vayan a estar expuestas a esfuerzos dinámicos y donde la necesidad de un rápido desarrollo de la resistencia y curado sea de vital importancia. SikaForce®-7888 L10 (VP) es ideal para el pegado y ensamblado de piezas de elevado tamaño.

Apto para materiales como plásticos y metales, particularmente aluminio (incluido anodizado), acero (incluido fosfatados, cromados, y zincados) imprimaciones de metales y pinturas (sistema 2C), SMC y otros materiales GFR, madera y materiales cerámicos. Observar las indicaciones del fabricante antes de usar sobre plásticos transparentes, que son susceptibles de sufrir rotura por stress.

Mecanismo de curado

El curado del SikaForce®-7888 L10 (VP) tiene lugar por la reacción química entre los dos componentes.

El proceso de curado se acelera a medida que aumenta la temperatura y a la inversa, es decir, al disminuir la temperatura se prolonga el proceso de curado.

Resistencia química

SikaForce®-7888 L10 (VP) es resistente a la hidrólisis (excelente resistencia). Como la resistencia ante los agentes químicos depende enormemente del sustrato, de la concentración del agente químico, duración de la exposición y la temperatura son muy recomendables ensayos relativos al proyecto en concreto. Esto mismo es válido para la resistencia a la temperatura.

Si el adhesivo no esta expuesto a sustancias químicas el adhesivo resiste permanentemente temperaturas por encima de los 100°C, resistiendo picos de temperatura por encima de este valor durante breves espacios de tiempo.

En caso de que la junta vaya a estar expuesta a agentes químicos recomendamos realizar ensayos previos.

Método de aplicación

Preparación de la superficie

El área de pegado debe estar limpia, seca y libre de grasa, aceite y polvo.

Si necesita asesoramiento sobre aplicaciones específicas pongase en contacto con el Departamento Técnico de sika Industry.

Aplicación

Cartuchos de 2-C:

Pistola tanto manual como neumática.

Usar mezclador estático Sulzer Quadro 8,7z. Antes de la aplicación sobre el material es absolutamente necesario aplicar al menos un cordón de 30 cm. Para alcanzar la mejor calidad de la mezcla.

Hobbock: SikaForce®-7888 L10 (VP) puede ser aplicado directamente desde hobbocks mediante la utilización de un equipo de bombeo tanto neumático como hidráulico utilizando mezcladores tanto estáticos como dinámicos.

No aplicar a temperaturas inferiores a 15° ni superiores a 30°C. La temperatura óptima de aplicación se sitúa entre los 15° y 30°C.

Si necesita asesoramiento acerca del adecuado sistema de bombeo por favor póngase en contacto con el Departamento de Ingeniería de Sika Industry.

Limpieza

SikaForce®-7888 L10 (VP) no curado puede ser eliminado de las herramientas e instrumentos con Sika® Remove-208, isopropanol, acetona, etc. Una vez curado, los restos sólo pueden eliminarse mecánicamente.

Las manos y piel expuesta al producto se deben limpiar con toallita Sika Hand® Cleaner o un limpiador industrial y agua. No utilizar solventes.

Condiciones de almacenamiento

La resina y el endurecedor son sensibles a la humedad. Por lo tanto tienen que ser almacenados en los envases bien cerrados. Después de su uso cerrar inmediatamente.

La resina debe ser almacenada entre 5° y 30° C. Debe ser agitada antes de su uso.

El endurecedor debe almacenarse entre 15° y 30° C.

Durante la aplicación ambos componentes pueden estar expuestos a temperaturas por debajo de 0°C

como máximo durante 3 días. No usar si está cristalizado o los componentes no se han mezclado homogéneamente.

Más información

Existe a su disposición:

- Hojas de Seguridad e higiene

Tipos de envase

Componente A (Resina)	Hobbock 25 kg
Componente B (Endurecedor)	Hobbock 20 kg
Cartucho 2C + mezclador estático Sulzer 8,7 z	600 ml (componente A+B)

Importante

Para información y consejo sobre la manipulación, almacenaje y manejo de productos químicos usados debe remitirse a la actual Hoja de Seguridad del producto la cual contiene datos de seguridad físicos, ecológicos y toxicológicos.

Notas legales

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario de los productos debe realizar pruebas para comprobar su idoneidad de acuerdo con el uso que se le quiere dar. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de los productos. Los derechos de propiedad de terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos se aceptan de acuerdo a los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben de conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Producto local, copia de las cuales se mandarán a quién las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".



Sika, S.A.U.
C/ Aragoneses, 17
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel. 91 657 23 75
Fax 91 661 69 80



SikaForce®-7888 L10 (VP) 2/2