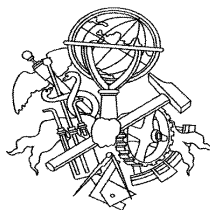


Determinação das propriedades mecânicas à tração de
adesivos estruturais frágeis e dúcteis

Sérgio Daniel Moreira Pinto

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

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



17 de novembro de 2013

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

Candidato: Sérgio Daniel Moreira Pinto, Nº 1110980, 1110980@isep.ipp.pt

Orientador:

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

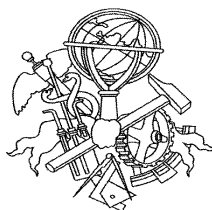
Co-orientadores:

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

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

Mestrado em Engenharia Mecânica – Ramo Materiais e Tecnologias de Fabrico
Departamento de Engenharia Mecânica

Instituto Superior de Engenharia do Porto



17 de novembro de 2013

Aos meus pais, ao meu irmão e à Cátia.

Agradecimentos

Aos meus orientadores, Professor Doutor Raul Campilho, Professor Doutor Arnaldo Pinto e Professor Doutor Francisco Silva, com quem tive o privilégio de trabalhar, usufruindo da sua sabedoria, por todo o apoio e disponibilidade prestada durante toda a dissertação.

Ao Engenheiro Rui Fazenda pela ajuda e fabrico da placa intermédia, assim como a cromagem e retificação da placa superior e inferior do molde.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), pela oportunidade concedida para a elaboração deste trabalho.

À Cátia Bastos, aos meus pais e ao meu irmão, pela paciência, apoio e incentivo demonstrado durante todo este percurso académico.

Por fim, agradeço ao meu amigo, Engenheiro Henrique Fernandes, pela ajuda e incentivo demonstrado durante a realização deste trabalho.

Resumo

A crescente evolução na tecnologia das juntas coladas conferiu um potencial atrativo às ligações adesivas, com aplicações nas mais variadas indústrias. Isto deve-se não só aos aspetos económicos, tais como a melhoria da cadência de produção mas também à resistência mecânica que estas proporcionam. A possibilidade de ligar facilmente materiais distintos, a distribuição mais uniforme das tensões, a melhor resistência à fadiga e a elevada capacidade de amortecimento de vibrações estão entre as principais vantagens da utilização deste tipo de ligação. Estas propriedades transformam as juntas coladas numas das preferidas no momento de seleção de meios de união.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação enquadra-se no âmbito das ligações adesivas e tem como principais objetivos a produção de uma ferramenta para a produção de provetes de adesivo, assim como a determinação das propriedades mecânicas à tração dos mesmos para testar o desempenho do molde fabricado. Para tal, utilizou-se um adesivo frágil (Araldite[®] AV 138), um dúctil (Araldite[®] 2015) e um muito dúctil (SikaForce[®] 7888). Paralelamente é selecionado o método mais adequado na obtenção destes provetes, designadamente escolhendo entre a moldação em molde aberto e a injeção em molde fechado. Com vista à obtenção dos provetes, foi projetado e construído um molde em aço. Recorrendo à máquina de tração Shimadzu AG – X 100, realizaram-se os respetivos ensaios de tração, para a determinação de todas as propriedades mecânicas dos adesivos. Para efeitos de comparação de resultados foram utilizados dois tipos de extensómetros, um mecânico e um ótico. Os resultados experimentais permitiram observar que a presença de vazios afetou especialmente a deformação de rotura e a tensão de rotura. Detetaram-se pequenas discordâncias, comparativamente com os estudos publicados, de algumas características mecânicas obtidas dos diversos adesivos utilizados. Constatou-se também um ligeiro desfasamento entre os valores adquiridos com os dois tipos de extensómetros utilizados.

Palavras-Chave

Adesivos; Propriedades mecânicas; Provetes de adesivo em bruto; Molde; Ensaio de tração.

Abstract

The growing evolution in the technology of bonded joints conferred an attractive potential for adhesive bonding, with applications in various industries. This is due not only to the economic aspects, such as the improvement of production rates, but also to the mechanical strength bonded joints provide. The ability to easily join different materials, the more uniform distribution of stresses, the better fatigue resistance and high vibration damping capacity are among the main advantages of using this type of joint. These properties turn the bonded joints in one of the preferred at the time of selection joining methods.

The work developed in this thesis falls within adhesive bonding and has as main objectives the production of a tool for the production of bulk adhesive specimens, as well as the determination of their tensile mechanical properties, to test the performance of the fabricated mold. For this purpose, a brittle (Araldite[®] AV 138), a ductile (Araldite[®] 2015) and a very ductile adhesive (SikaForce[®] 7888) were used. Concurrently, the most suitable method to obtain these specimens is selected, by choosing between pouring in open mold and injection in closed mold. To obtain the specimens, a steel mold was designed and built. Using the tensile testing machine Shimadzu AG - X 100, tensile tests were performed for the determination of all the mechanical properties of the adhesives. For comparison of results, two types of gauges were used, namely mechanic and optical. The experimental results allowed to conclude that the presence of voids especially affected the failure strain and tensile strength. A small disagreement was sensed, compared to published studies, regarding some of the mechanical properties obtained from the various adhesives used. There was also a slight mismatch between the values obtained with the two types of gauges used.

Keyword

Adhesives; Mechanical properties; Bulk adhesive specimens; Mold; Tensile test.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	VII
RESUMO	IX
ABSTRACT.....	XI
ÍNDICE	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABELAS	XXI
NOMENCLATURA.....	XXIII
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 TÉCNICAS DE UNIÃO ENTRE COMPONENTES.....	5
2.1.1 <i>Ligações soldadas</i>	5
2.1.2 <i>Ligações aparafusadas</i>	6
2.1.3 <i>Ligações rebitadas</i>	7
2.1.4 <i>Ligações adesivas</i>	8
2.2 ADESIVOS ESTRUTURAIS	10
2.2.1 <i>Caracterização dos adesivos estruturais</i>	11
2.2.2 <i>Tipos de adesivos estruturais</i>	11
2.3 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DE ADESIVOS	12
2.3.1 <i>Ensaios de adesivo em bruto</i>	13
2.3.1.1 Determinação de tensões limite.....	14
2.3.2 <i>Ensaios de adesivo em junta adesiva</i>	16
2.3.2.1 Determinação de energias de fratura	17
2.4 FABRICO DE PROVETES MACIÇOS DE ADESIVO EM MOLDE	20
2.4.1 <i>Requisitos para os materiais do molde</i>	21
2.4.2 <i>Fabrico de provetes por moldação</i>	23
2.4.3 <i>Fabrico de provetes por pressão entre pratos</i>	25
2.4.3.1 <i>Moldura de suporte</i>	26
2.4.4 <i>Aplicação do adesivo</i>	27
2.4.5 <i>Processo de cura</i>	28
2.4.6 <i>Acabamento final</i>	29
2.5 ENSAIOS A PROVETES DE ADESIVO EM BRUTO	29
2.5.1 <i>Procedimentos de ensaio</i>	30
2.5.2 <i>Análise de resultados</i>	32
3 DESENVOLVIMENTO	35

3.1	FABRICO DO MOLDE DE CURA.....	35
3.1.1	<i>Desenho do molde</i>	37
3.1.2	<i>Materiais utilizados</i>	39
3.1.3	<i>Maquinagem do molde</i>	41
3.1.3.1	Sequência de maquinagem	42
3.1.4	<i>Tratamentos/acabamentos realizados</i>	54
3.2	FABRICO DOS PROVETES.....	54
3.2.1	<i>Adesivos utilizados</i>	54
3.2.2	<i>Preparação do molde</i>	59
3.2.3	<i>Aplicação do adesivo</i>	61
3.2.3.1	Aplicação do adesivo Araldite® AV138 por moldação em molde aberto	61
3.2.3.2	Araldite® 2015 por moldação em molde aberto	63
3.2.3.3	Aplicação do adesivo SikaForce® 7888 por injeção e por moldação em molde aberto.....	64
3.2.4	<i>Cura dos adesivos</i>	67
3.2.4.1	Cura do adesivo Araldite® AV138.....	67
3.2.4.2	Cura do adesivo Araldite® 2015.....	68
3.2.4.3	Cura do adesivo SikaForce® 7888 por injeção.....	69
3.2.4.4	Cura do adesivo SikaForce® 7888 por moldação em molde aberto	70
3.3	ENSAIOS DE TRAÇÃO	71
3.3.1	<i>Condições de ensaio</i>	72
3.3.2	<i>Medição das deformações</i>	73
3.3.2.1	Extensometria mecânica	73
3.3.2.2	Correlação de imagem.....	74
3.4	RESULTADOS OBTIDOS	75
3.4.1	<i>Resultados obtidos com a utilização do extensómetro mecânico</i>	76
3.4.1.1	Adesivo Araldite® AV138.....	76
3.4.1.1.1	Curvas P- δ e σ - ϵ	76
3.4.1.1.2	Propriedades mecânicas	78
3.4.1.1.3	Análise dos resultados	78
3.4.1.2	Adesivo Araldite® 2015.....	79
3.4.1.2.1	Curvas P- δ e σ - ϵ	79
3.4.1.2.2	Propriedades mecânicas	81
3.4.1.2.3	Análise dos resultados	81
3.4.1.3	Adesivo SikaForce® 7888 obtido por moldação em molde aberto e por injeção	82
3.4.1.3.1	Curvas P- δ e σ - ϵ	83
3.4.1.3.2	Propriedades mecânicas	85
3.4.1.3.3	Análise dos resultados	86
3.4.2	<i>Resultados obtidos com a utilização do extensómetro ótico</i>	89
3.4.2.1	Adesivo Araldite® AV138.....	89
3.4.2.1.1	Curvas P- δ e σ - ϵ	89
3.4.2.1.2	Propriedades mecânicas	90
3.4.2.1.3	Análise dos resultados	91
3.4.2.2	Adesivo Araldite® 2015.....	92

3.4.2.2.1	Curvas P- δ e σ - ϵ	92
3.4.2.2.2	Propriedades mecânicas	93
3.4.2.2.3	Análise dos resultados	94
3.4.2.3	Adesivo SikaForce [®] 7888 obtido por moldação e por injeção	95
3.4.2.3.1	Curvas P- δ e σ - ϵ	95
3.4.2.3.2	Propriedades mecânicas	99
3.4.2.3.3	Análise dos resultados	100
3.4.3	<i>Comparação de resultados</i>	100
3.4.3.1	Provetes do adesivo Araldite [®] AV138.....	100
3.4.3.2	Provetes do adesivo Araldite [®] 2015	101
3.4.3.3	Provetes do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto.....	102
3.4.3.4	Provetes do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por injeção	103
4	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	105
4.1	CONCLUSÕES.....	105
4.2	TRABALHOS FUTUROS	107
	REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	109
	ANEXO A.	117
	ANEXO B.	123
	ANEXO C.	131
	ANEXO D.	135
	ANEXO E.	139

Índice de Figuras

Figura 1 – Evolução dos processos de soldadura ao longo do tempo [3].....	6
Figura 2 – Comparação da distribuição de tensões entre um processo de ligação convencional por rebites e uma ligação adesiva [14].....	7
Figura 3 – Comparação da distribuição de tensões de corte com e sem alteração geométrica dos substratos (Adaptado da referência [18]).	9
Figura 4 – Dimensões do provete pela norma NF T 76-142 (dimensões em mm).....	13
Figura 5 – Curva típica tensão-deformação de um adesivo [25].	15
Figura 6 – Determinação da tensão limite de elasticidade recorrendo aos métodos [25]:	16
Figura 7 – Junta de sobreposição simples [32 e 33].	16
Figura 8 – Modos de rotura em juntas adesivas.	18
Figura 9 – Representação esquemática do ensaio DCB.	18
Figura 10 – Representação esquemática do ensaio ENF.....	19
Figura 11 – Aprisionamento de ar entre uma película adesiva e as superfícies do molde: a) Aprisionamento inicial, b) Deslocamento parcial, c) Posicionamento final [44].	20
Figura 12 – Iniciação da fenda numa ligação adesiva [46].	21
Figura 13 – Gráfico de relacionamento do Modulo de Elasticidade em função do custo por unidade de volume [53].	22
Figura 14 – Gráfico de relacionamento da condutibilidade térmica em função do custo por Quilograma [53].	23
Figura 15 – Vista explodida do molde utilizado no método de fabrico de provetes de adesivo por moldação: 1 – Placa inferior, 2 – Placa intermédia, 3 – Placa superior [32 e 33].	24
Figura 16 – Placa de adesivo produzida de acordo com a norma NF T 76-142 [26].	25
Figura 17 – Vista explodida do molde utilizado na produção de placas de adesivo por pressão entre pratos [32 e 33].	26
Figura 18 – Aplicação do adesivo [25].	28
Figura 19 – Geometria típica de um provete utilizado em ensaios de tração [16].	30
Figura 20 – Fixações especiais para ensaio de provetes de adesivos frágeis.	31
Figura 21 – Influência da velocidade de ensaio nas curvas tensão-deformação de um adesivo dúctil [56].	32
Figura 22 – Processo de uma análise de resultados [53].	33
Figura 23 – Projeto inicial para molde de cura com sistema de aquecimento incorporado.	35
Figura 24 - Placa intermédia do molde com seis cavidades com a geometria do provete utilizada no processo por moldação.	36
Figura 25 - Placa interior do molde utilizada para o processo de pressão entre pratos.	37
Figura 26 - Placa superior do molde: a) Superfície exterior, b) Superfície interior.	38

Figura 27 - Placa inferior do molde.....	38
Figura 28 - Montagem do molde.....	39
Figura 29 – Diagrama de transformação em arrefecimento contínuo para o aço C 45 E [58].	40
Figura 30 – Placas em bruto usadas para a produção das placas (inferior e superior) do molde.	41
Figura 31 - Fresadora CNC HAAS.	42
Figura 32 – Fresa DORMER de 20 mm de diâmetro [60].	42
Figura 33 – Primeira fixação antes de proceder à maquinagem da placa superior.....	44
Figura 34 – Maquinagem lateral da placa superior.	44
Figura 35 – Maquinagem lateral do lado oposto.	45
Figura 36 – Sistema de fixação lateral.	45
Figura 37 – Maquinagem do rebaixo.	46
Figura 38 – Maquinagem da superfície em contacto com os provetes.....	46
Figura 39 – Maquinagem da superfície exterior do molde.....	47
Figura 40 – Broca DORMER de 4 mm de diâmetro [60].	47
Figura 41 – Execução da furação para extração do ar acumulado no interior do molde.....	48
Figura 42 – Execução das furações para enchimento do adesivo.....	49
Figura 43 – Furação efetuada para estabelecer o aperto entre as placas.	49
Figura 44 – Furações utilizadas para alojamento da cabeça dos parafusos M10.	50
Figura 45 – Roscagem a M10 da placa inferior.	51
Figura 46 – Macho M10 (E500) utilizado na execução das roscas da placa inferior [60].	51
Figura 47 – Placa superior e inferior do molde após a maquinagem.	53
Figura 48 – Placa intermédia obtida por corte a laser.	53
Figura 49 – Placa superior após cromagem dura e retificação.	54
Figura 50 - Adesivos utilizados: a) Araldite® AV138 e o respectivo endurecedor; b) SikaForce® 7888; c) Araldite® 2015.	55
Figura 51 – Curvas típicas de tensão-deformação de um adesivo dúctil (A) e frágil (B). [60].....	55
Figura 52 – Curvas tensão-deformação do adesivo Araldite® AV138 [66].....	57
Figura 53 - Curvas tensão-deformação do adesivo Araldite® 2015 [68].	58
Figura 54 – Curva tensão-deformação do adesivo SikaForce® 7888 [65].....	58
Figura 55 – Limpeza da placa intermédia com acetona.	59
Figura 56 – Aquecimento do molde.	60
Figura 57 – Aplicação do desmoldante.	60
Figura 58 – Aplicação do adesivo Araldite® AV138.....	61
Figura 59 – Compactação manual do adesivo nas cavidades do molde.....	62
Figura 60 – Surgimento de bolhas de ar após aperto do molde.....	63
Figura 61 – Aplicação do adesivo Araldite® 2015.....	63
Figura 62 – Compactação do adesivo Araldite® 2015.	64
Figura 63 – Pistola acionada por ar comprimido utilizada para aplicação do adesivo SikaForce® 7888.	65

Figura 64 – Injeção do adesivo SikaForce® 7888.....	65
Figura 65 – Aplicação do adesivo SikaForce® 7888 por moldação em molde aberto.	66
Figura 66 – Finalização do processo de enchimento do adesivo SikaForce® 7888.....	67
Figura 67 – Provetes de adesivo Araldite® AV138 após processo de cura.....	68
Figura 68 – Adesivo Araldite® 2015 após processo de cura.....	68
Figura 69 – Provetes obtidos por injeção após extração do molde.	69
Figura 70 – Superfície lateral de um provete com vazios.	69
Figura 71 – Vazio na superfície de um dos provetes.....	70
Figura 72 – Provetes de adesivo SikaForce® 7888 obtidos por moldação em molde aberto.....	70
Figura 73 – Máquina universal de ensaios Shimadzu Autograph AG-X 100.	71
Figura 74 – Corpos de prova utilizados nos ensaios de tração.	72
Figura 75 – Padrão utilizado na calibração do extensômetro ótico.	73
Figura 76 – Extensômetro mecânico utilizado durante o ensaio de tração.	74
Figura 77 – Extensômetro ótico utilizado.	75
Figura 78 – Provelte com as marcas coladas no corpo do provete.....	75
Figura 79 – Curvas $P-\delta$ dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® AV138.	77
Figura 80 – Curvas $\sigma-\varepsilon$ dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® AV138.....	77
Figura 81 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® AV138.....	79
Figura 82 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® AV138 após realização do ensaio de tração.	79
Figura 83 – Curvas $P-\delta$ dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® 2015.....	80
Figura 84 – Curvas $\sigma-\varepsilon$ dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® 2015.....	80
Figura 85 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® 2015.	82
Figura 86 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® 2015 após realização do ensaio de tração.....	82
Figura 87 – Curvas $P-\delta$ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por moldação em molde aberto.....	83
Figura 88 – Curvas $\sigma-\varepsilon$ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por moldação em molde aberto.....	84
Figura 89 – Curvas $P-\delta$ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção.	84
Figura 90 – Curvas $\sigma-\varepsilon$ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção.....	85
Figura 91 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por moldação em molde aberto.....	86
Figura 92 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por moldação em molde aberto após realização do ensaio de tração.	87
Figura 93 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção.	87
Figura 94 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção após realização do ensaio de tração.	87
Figura 95 – Curvas $P-\delta$ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite® AV138 adquiridas com o recurso ao extensômetro ótico.	90

Figura 96 – Curvas σ - ε dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite [®] AV138 adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.	90
Figura 97 – Superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite [®] AV138.....	91
Figura 98 – Provetes 4, 5 e 6 obtidos do adesivo Araldite [®] AV138 após realização dos ensaios de tração.	92
Figura 99 – Curvas P - δ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite [®] 2015 adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.	92
Figura 100 – Curvas σ - ε dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite [®] 2015 adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.	93
Figura 101 – Superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite [®] 2015.	94
Figura 102 – Provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite [®] 2015 após realização do ensaio de tração.	94
Figura 103 – Curvas P - δ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.....	95
Figura 104 – Curvas σ - ε dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.....	96
Figura 105 – Superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto.....	97
Figura 106 – Provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto após realização dos ensaios de tração.	97
Figura 107 – Curvas P - δ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por injeção, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.	98
Figura 108 – Curvas σ - ε dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por injeção, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.	98
Figura 109 – Superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por injeção.	98
Figura 110 – Provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce [®] 7888 obtidos por injeção após realização dos ensaios de tração.....	99

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Calendarização do projeto ao longo do ano letivo.....	2
Tabela 2 – Diferentes classes de materiais poliméricos e suas propriedades mecânicas [20].....	10
Tabela 3 – Propriedades dos adesivos utilizados neste trabalho.	57
Tabela 4 – Propriedades à tração do adesivo Araldite® AV138 adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico.	78
Tabela 5 – Propriedades à tração do adesivo Araldite® 2015 adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico.	81
Tabela 6 – Propriedades à tração do adesivo SikaForce® 7888 adquiridas através da utilização do extensómetro mecânico.	86
Tabela 7 – Propriedades à tração do adesivo Araldite® AV138 obtidas com a utilização do extensómetro ótico.	91
Tabela 8 – Propriedades à tração do adesivo Araldite® 2015 adquiridas com a utilização do extensómetro ótico.	93
Tabela 9 – Propriedades à tração do adesivo SikaForce® 7888 adquiridas com a utilização da extensometria ótica.....	99
Tabela 10 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo Araldite® AV138 adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.....	101
Tabela 11 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo Araldite® 2015 adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.	102
Tabela 12 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo SikaForce® 7888 produzidos por moldação em molde aberto adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.....	102
Tabela 13 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.....	103

Nomenclatura

Caracteres Romanos

A – Área da superfície de fenda

D – Diâmetro

E – Módulo de Young

F – Força

G – Taxa de libertação de energia

P – Carga

U – Energia de deformação interna do sólido

W – Trabalho das forças exteriores

Caracteres Gregos

A – Comprimento de fenda

δ – Deslocamento

ε – Deformação de rotura à tração

σ – Tensão normal

σ_y – Tensão limite elástico

σ_r – Tensão de rotura à tração

τ – Tensão de corte

Operadores

Δ – Diferença

- – Subtração

× – Multiplicação

+ – Soma

Abreviaturas

DCB – Double Cantilever Beam

ECT – Edge-Crack Torsion

ENF – End Notched Flexure

ELS – End Loaded Split

ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto

JSS – Junta de sobreposição simples

4ENF – Four-Point End Notched Flexure

Δl – Variação de deslocamento durante o ensaio

f_n – Avanço por rotação

f_z – Avanço por navalha

l – Comprimento final do provete

l_0 – Comprimento entre referências

Le – Comprimento de base do extensómetro

mm – Milímetros

min - Minuto

n – Número de rotações por minuto

V_f – Velocidade de avanço

V_c – Velocidade de corte

z – Número de navalhas de corte

1 Introdução

1.1. Contextualização

Os adesivos estruturais, devido às suas potencialidades na ligação de materiais distintos, têm vindo a ter um crescimento bastante significativo, devido às inúmeras vantagens que este tipo de ligação apresenta. A distribuição uniforme das tensões, a melhor resistência à fadiga, a elevada capacidade de amortecimento de vibrações confere às juntas adesivas um potencial atrativo à investigação e desenvolvimento. O presente trabalho pretende de algum modo, contribuir na obtenção mais eficiente das características mecânicas à tração, assim como um melhor conhecimento dos fatores que influenciam o fabrico de provetes isentos de defeitos.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo proceder ao estudo e caracterização de adesivos estruturais, através da realização de ensaios de tração de provetes de adesivo, obtidos através do molde produzido, onde é imperativo identificar:

- O módulo de Young;
- A tensão limite elástico;
- A tensão de rotura;
- Deformação de rotura.

Para a produção e caracterização dos provetes de adesivo foi necessário:

- Fabricar um molde em aço para auxiliar a obtenção dos provetes de adesivo maciço;

- Produzir provetes de três adesivos diferentes, um frágil (Araldite® AV 138) e dois dúcteis (Araldite® 2015 e SikaForce® 7888);
- Utilizar dois métodos na obtenção das amostras, a injeção em molde fechado e a moldação em molde aberto;
- Realizar ensaios de tração, com o recurso a dois tipos de extensómetros, um mecânico e um ótico.

1.3. Calendarização

Na Tabela 1 encontra-se representada a calendarização das várias etapas executadas no decorrer da presente dissertação:

Tabela 1 – Calendarização do projeto ao longo do ano letivo.

Ano	2012		2013										
	Mês	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT
Tarefas	1												
	2												
	3												
	4												
	5												
	6												
	7												

Tarefas:

1 – Revisão bibliográfica 2 – Projeto do molde 3 – Maquinagem do molde

4 – Produção dos provetes 5 – Ensaios experimentais 6 – Análise de resultados

7 – Elaboração do relatório

1.4. Organização do relatório

A presente dissertação encontra-se organizada em 4 capítulos:

Capítulo 1 – São definidos os objetivos da presente dissertação, os principais conteúdos referentes a cada capítulo e a calendarização da realização da Dissertação.

Capítulo 2 – Foi realizada a revisão bibliográfica que abordará a comparação entre os diferentes métodos de ligação de materiais, os adesivos estruturais, a determinação das propriedades dos adesivos, os diferentes métodos na obtenção de provetes de adesivo e, por último, os ensaios de adesivos em bruto.

Capítulo 3 – Refere-se a todo o trabalho experimental realizado, nomeadamente o projeto do molde, a caracterização dos materiais utilizados, a sequência da maquinagem, a maquinagem do molde e a obtenção dos provetes de adesivo. No mesmo capítulo é descrito todo o tratamento de dados obtidos após realização dos respetivos ensaios de tração, assim como a correspondente análise de resultados.

Capítulo 4 – São apresentadas as conclusões relevantes do presente trabalho, assim como sugestões de trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Técnicas de união entre componentes

Existem diferentes processos de ligação entre sólidos, sendo os mais comuns as ligações aparafusadas, rebitadas, soldadas e adesivas. Esta última representa o processo de ligação que tem estimulado maior interesse na comunidade científica e que tem sido alvo de inúmeras investigações [1]. De facto, a utilização de adesivos em ligações estruturais tem sofrido ao longo das últimas décadas uma evolução bastante significativa, tanto a nível de processos de ligação como nas tecnologias utilizadas [2].

2.1.1 Ligações soldadas

Designa-se por ligação soldada todo o processo de união de dois ou mais componentes metálicos ou não metálicos, por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e adição de material, obtendo-se uma união permanente com propriedades mecânicas similares ou superiores às do metal base [3].

O processo de soldadura atingiu o seu auge durante a segunda Guerra Mundial, devido à necessidade de construir navios e aviões soldados, sendo o arco elétrico com elétrodo revestido usado como processo de ligação. Posteriormente foram desenvolvidos outros tipos de soldadura, conforme representado na Figura 1 [3].

São inúmeras as vantagens no uso deste modo de ligação. Destacam-se a enorme variedade de processos, a possibilidade do processo poder ser automatizado, a estanquicidade das juntas (contrariamente ao que sucede com as ligações rebitadas ou aparafusadas) e o facto de se tratar de um processo portátil [4].

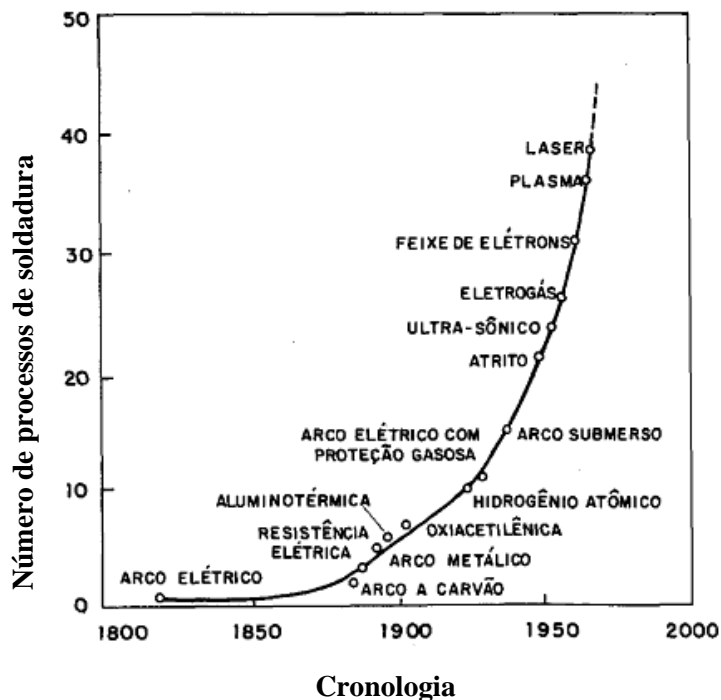


Figura 1 – Evolução dos processos de soldadura ao longo do tempo [3].

No entanto, este tipo de ligação apresenta também algumas desvantagens. Conforme representado na Figura 1, alguns dos processos recorrem a materiais de adição e portanto, estão associados a custos elevados. São também obrigatórias a revisão e manutenção dos equipamentos para que estes mantenham a sua adequada eficiência. Além disso, trata-se de um processo no qual é fundamental a preparação da junta (elaboração de chanfros) e que exige mão-de-obra altamente qualificada [5].

2.1.2 Ligações aparafusadas

A montagem de componentes com o recurso a parafusos é o método ideal quando se pretende que a montagem ou desmontagem seja rápida e simples. Este tipo de ligação, ao contrário das ligações soldadas, tem tendência a diminuir a resistência dos componentes devido à presença, em muitos casos, de vários furos em pequenas áreas, diminuindo assim a secção transversal dos elementos a ligar, o que pode originar a rotura destes. Para prevenir este problema deve-se, quando possível, aumentar a espessura dos elementos a unir [6].

As principais vantagens do uso deste tipo de ligação são a fácil montagem e desmontagem dos componentes a ligar, a economia de energia, a necessidade de mão-de-obra menos qualificada, a possibilidade de ligação de peças de natureza diferente e a boa resposta à

fadiga. No entanto, é importante salientar algumas desvantagens associadas a este tipo de ligação, tais como a necessidade de um pré-posicionamento dos elementos e a difícil modificação de algum furo, em caso de necessidade, a não distribuição uniforme das tensões e a ocorrência de corrosão galvânica [8].

2.1.3 Ligações rebitadas

Na atualidade, as ligações rebitadas têm merecido algum destaque, não pelo aperfeiçoamento da técnica, mas sim pela preocupação em manter em bom estado todas as estruturas metálicas unidas por rebites [8]. Este tipo de ligação atingiu o seu auge no final do século XIX e início do século XX, onde se recorria às ligações rebitadas na construção de pontes. As pontes metálicas antigas não foram inicialmente projetadas tendo em conta o fenómeno de fadiga, uma vez que apenas no presente século este começou a ser considerado um parâmetro imprescindível na avaliação do estado físico das pontes [9].

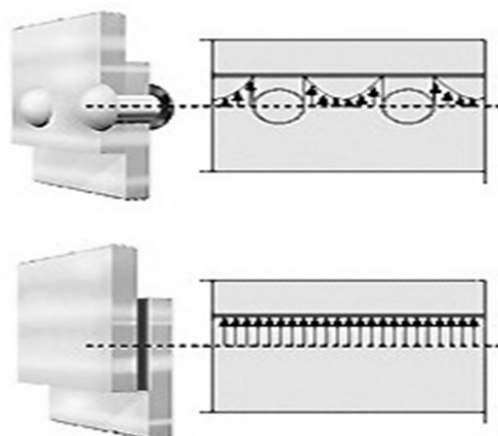


Figura 2 – Comparação da distribuição de tensões entre um processo de ligação convencional por rebites e uma ligação adesiva [14].

Pode ser observado na Figura 2 um fenómeno que muitas vezes origina rotura prematura por fadiga, mais especificamente um fenómeno de concentrações de tensões junto dos furos. Este fenómeno pode motivar a rotura dos elementos, devido ao excesso de furos presentes em áreas pequenas (como ocorre com as ligações aparafusadas) [10]. Em certos casos as juntas rebitadas apresentam um peso superior, comparativamente com as ligações

soldadas e coladas, devido ao número de rebites a utilizar [12]. Em contrapartida, este tipo de ligação apresenta algumas vantagens, das quais a facilidade de reparação de um elemento de ligação e o custo, que é reduzido comparativamente com as ligações soldadas. Comparativamente com as ligações aparafusadas, as ligações por rebites apresentam a vantagem de não ser necessário um ajustamento perfeito entre parafusos e furos, já que na utilização desta técnica, os rebites preenchem completamente os furos por deformação plástica, durante a cravação. Deste modo, permitem também a estanquicidade da junta a ligar, assim como a facilidade no controlo de qualidade [13].

2.1.4 Ligações adesivas

A utilização exponencial das juntas coladas deve-se aos progressos na formulação das colas poliméricas e aos problemas que as ligações alternativas apresentam para certos tipos de materiais. As juntas coladas são especialmente indicadas para estabelecer a ligação entre materiais não soldáveis, como é o caso de certas ligas de alumínio, e são menos suscetíveis a problemas de fadiga e corrosão comparativamente às juntas soldadas e rebitadas. As juntas adesivas correspondem ao método preferido para a ligação entre materiais compósitos devido à boa distribuição de carga sobre uma superfície maior, o que origina uma menor concentração de tensões, motivando deste modo um melhor desempenho na ligação [15]. Deste modo a integridade das fibras é mantida (ou seja, não são cortadas pelos furos).

De uma maneira geral, este tipo de ligação é uma boa alternativa aos outros processos de ligação convencionais, essencialmente devido às suas características e propriedades, tais como [14 – 17]:

- Possibilidade de unir materiais diferentes;
- Bom amortecimento de vibrações;
- Obtenção de elevadas resistências;
- Estabelecimento de uma excelente relação peso/resistência, devido ao baixo peso estrutural destas ligações;
- Baixos custos de produção e facilidade de automatização;

- Garantia de estanquicidade da junta. Ao mesmo tempo que unem, os adesivos atuam também como vedantes, impedindo que a condensação penetre na ligação, reduzindo, portanto, a probabilidade de ocorrer corrosão;
- Distribuição uniforme das tensões na largura da ligação, bem como redução da concentração de tensões ao longo do comprimento de sobreposição (Figura 2);
- Excelente resistência à fadiga. No entanto, esta vantagem é variável em função das geometrias das juntas, que podem ser mais ou menos suscetíveis às concentrações de tensões ao longo do comprimento da ligação, conforme demonstrado na Figura 3.

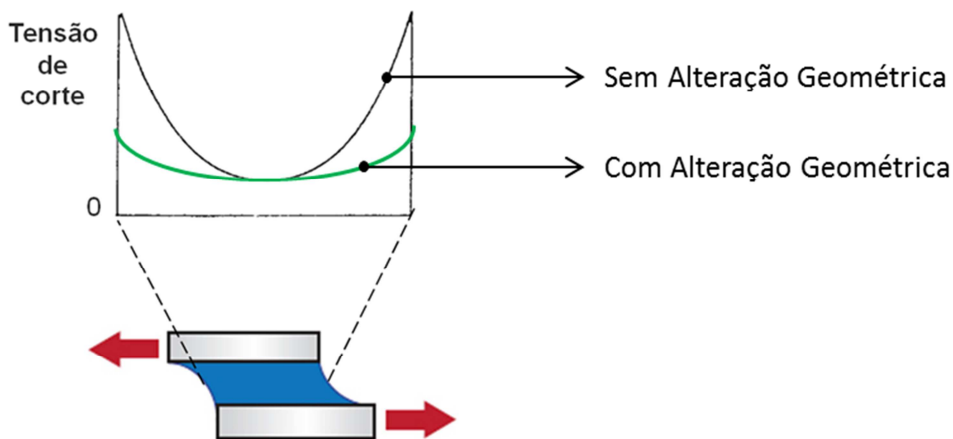


Figura 3 – Comparação da distribuição de tensões de corte com e sem alteração geométrica dos substratos (Adaptado da referência [18]).

Por outro lado, algumas desvantagens associadas às ligações adesivas comprometem a utilização deste tipo de ligação em determinados ambientes. Das principais desvantagens das juntas coladas destacam-se [15]:

- A durabilidade limitada;
- Fraca resistência à clivagem e ao arrancamento;
- A fraca resistência em ambientes extremamente húmidos ou altas temperaturas;
- A impossibilidade de desmontagem;

- A necessidade de uma boa preparação da superfície, sendo obrigatório despende algum tempo;
- O difícil controlo de qualidade, embora na atualidade existam algumas técnicas não destrutivas, nomeadamente a análise por ultrassons, por vibrações, radiografia, entre outros [19].

2.2 Adesivos estruturais

Nos últimos anos o recurso aos adesivos estruturais tem vindo a aumentar significativamente, pois estes têm demonstrado um enorme potencial na ligação de materiais distintos. Esta particularidade deve-se à eficiência das juntas adesivas, comparativamente com os restantes tipos de ligação.

Existem diversos tipos de classificações possíveis dos adesivos, nomeadamente com base na sua estrutura molecular. Assim, é possível classifica-los como termoplásticos, termoendurecíveis e elastómeros [20]. Estes diferenciam-se entre si quanto à sua natureza, rigidez, fragilidade, resistência mecânica, térmica, resistência à ação dos agentes químicos, composição química, modo de endurecimento, custo e desempenho [18 e 20].

Tabela 2 – Diferentes classes de materiais poliméricos e suas propriedades mecânicas [20].

Material Polimérico	Propriedades Mecânicas			
	Flexibilidade	Resistência Mecânica	Resistência Térmica	Resistência a Agentes Químicos
Resinas Termoendurecíveis	Má	Boa	Boa	Boa
Resinas Termoplásticas	Média	Medíocre	Medíocre	Boa
Elastómeros	Muito Boa	Má	Variável	Medíocre

Após colagem de dois substratos, proporcionada pelo adesivo à estrutura, é esperado que quando submetida a uma carga, esta apresente rotura pelo substrato sem promover danos na região de adesão. Como tal, as exigências e requisitos deste tipo de ligação são maiores do

que para as restantes [21]. Na Tabela 2 é possível verificar a diversidade que existe entre os materiais poliméricos em relação às suas principais propriedades mecânicas.

2.2.1 Caracterização dos adesivos estruturais

Os adesivos estruturais são normalmente fabricados com base em resinas termoendurecíveis. Estes devem proporcionar uma elevada rigidez, elevada resistência à tração e flexibilidade suficiente para resistir às forças presentes no ambiente de serviço. Espera-se que estes resistam a forças consideráveis, permitindo que a resistência ao corte obtenha valores superiores a 6MPa, bem como uma boa resistência às adversidades do meio ambiente [21]. Outra definição válida para adesivo estrutural, é a que considera o adesivo estrutural um material que não sofre fluência quando submetido a cargas significativas [22].

2.2.2 Tipos de adesivos estruturais

Como já foi referido, considerando a classificação por estrutura molecular, os adesivos termoendurecíveis destacam-se como adesivos estruturais. Entre estes, os fenólicos, os epóxidos, os acrílicos e os poliuretanos levam vantagem em relação aos restantes. Na atualidade, existe um amplo leque de tipos de adesivos, com características distintas, para que a escolha do adesivo, mediante as propriedades desejadas e as condições de utilização, seja simples. De seguida é feita uma comparação dos adesivos acima referidos, onde é dada maior relevância às suas propriedades:

- Os adesivos fenólicos foram os primeiros a serem usados para estabelecer a ligação entre metais. São normalmente fornecidos em dois componentes e apresentam baixo custo. Estes possuem boa resistência mecânica e resistência a altas temperaturas ($> 100^{\circ}\text{C}$), bem como aos agentes ambientais. Para efetuar a cura dos adesivos fenólicos, é necessário recorrer a altas temperaturas ao mesmo tempo que é aplicada pressão. Durante este processo ocorre a libertação de água. Como principais desvantagens, é de salientar a sua baixa resistência à corrosão por solventes, ao impacto e elevada fragilidade [18 e 23].
- Os adesivos epóxidos são conhecidos por serem os mais versáteis do mercado. Apresentam excelente resistência à tração, ao corte, à humidade e a solventes. Estes adesivos curam à temperatura ambiente ou a altas temperaturas, por exemplo a 120°C , no caso de serem constituídos por apenas um componente. No caso de serem de dois

componentes, a cura pode ser processada a partir dos 5^oC. Não se verifica a libertação de substâncias voláteis e possuem baixa contração, formando ligações bastante duráveis com a maioria dos materiais. Na utilização deste tipo de adesivo é conveniente garantir as quantidades exatas de resina e endurecedor. Caso contrário há a possibilidade da ligação não apresentar as propriedades mecânicas adequadas. Contudo, os adesivos epóxicos apresentam uma grande fragilidade, sendo necessário adicionar modificadores (termoplásticos e borrachas) por forma a conferir-lhes alguma ductilidade [18].

- Os adesivos acrílicos têm uma grande aplicação na indústria mecânica na fixação de componentes como por exemplo na fixação de rolamentos, travamento de roscas, isto é, de componentes de forma cilíndrica [18]. Apresentam boa resistência mecânica, assim como boa resistência ao impacto. Curam à temperatura ambiente, são de fácil utilização e, conforme o adesivo e o endurecedor, podem ser misturados antes da aplicação nas superfícies dos substratos ou podem ser aplicados separadamente em cada uma das superfícies a unir [23]. São particularmente utilizados na colagem de plásticos com baixa energia superficial, como é o caso do polietileno e do polipropileno, garantindo uma boa aparência e flexibilidade na montagem [18]. No entanto, possui um tempo de utilização (*pot-life*) demasiado curto.
- Os adesivos poliuretanos, contrariamente aos epóxicos, apresentam elevada resistência ao arrancamento, ao choque e a vibrações, excelente tenacidade e ductilidade, capacidade de preenchimento de folgas, bem como bom comportamento a baixas temperaturas. São utilizados na união de borrachas, metais e plásticos, curando à temperatura ambiente ou a altas temperaturas. São normalmente apresentados sob a forma de dois componentes [23]. Estes adesivos permitem a utilização em aplicações estruturais, pois apresentam resistência de rotura ao corte da ordem dos 20 MPa [18].

2.3 Determinação das propriedades de adesivos

Atualmente existem vários ensaios que permitem identificar as características dos adesivos. Estes podem ser divididos em duas categorias: ensaios de provete de adesivo em bruto ou ensaios de adesivo em junta de sobreposição simples [24]. Os provetes e métodos de ensaio são semelhantes aos utilizados para materiais plásticos. Durante a produção dos provetes de adesivo em bruto, é importante garantir que estes tenham uma espessura o mais

fina possível, por forma a representar a camada adesiva obtida nas juntas adesivas [25]. Já os ensaios de junta de sobreposição simples são realizados com o intuito de avaliar o comportamento ao corte do adesivo [18 e 23].

2.3.1 Ensaios de adesivo em bruto

Os ensaios de adesivos em bruto são utilizados para a determinação das propriedades à tração, ao corte e à compressão. No caso de ensaios de tração, estes devem obedecer à norma Francesa NF T 76-142 [26]. Esta especifica que o provete deve ter a forma de “osso de cão” com as dimensões indicadas na Figura 4.

É fundamental ter o cuidado de evitar a formação de bolhas de ar durante o enchimento do molde, tanto em molde aberto como em molde fechado [12]. Estas originam vazios, através do aprisionamento de ar nas cavidades de cura do adesivo [19], fragilizando deste modo a estrutura dos provetes. Em consequência, há o impedimento da caracterização correta dos adesivos devido à diminuição da área resistente e à criação de zonas de concentração de tensões.

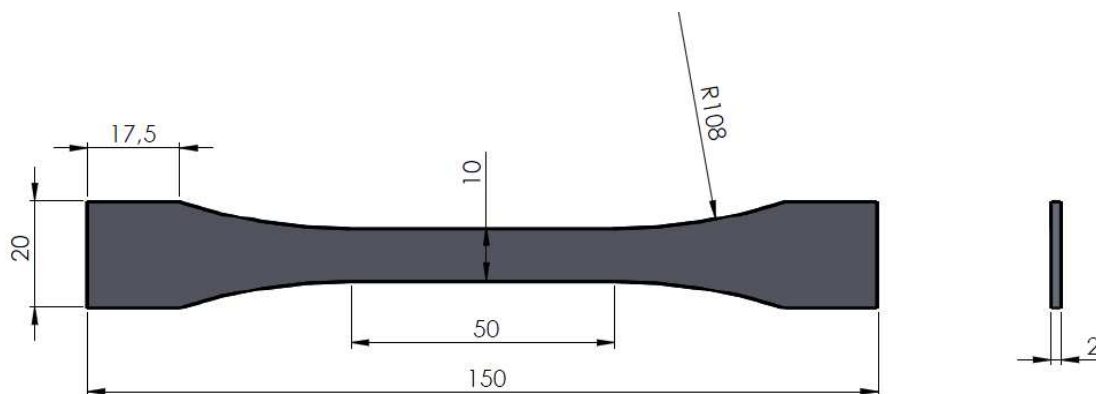


Figura 4 – Dimensões do provete pela norma NF T 76-142 (dimensões em mm).

Após a produção dos provetes, estes são ensaiados, permitindo a determinação da curva de tensão-deformação. A mesma é então utilizada para a obtenção do módulo de elasticidade, da tensão limite de cedência, da tensão de rotura e a deformação de rotura.

2.3.1.1 Determinação de tensões limite

Na determinação das tensões limite durante os ensaios de tração, é importante que sejam utilizados equipamentos de medição bastante precisos, nomeadamente a célula de carga, para se realizar a medição da força. É recomendado que a carga máxima não seja superior em mais de uma ordem de grandeza à força de rotura do corpo de prova [23], garantindo assim maior precisão nos resultados. O deslocamento pode ser medido através de extensómetros mecânicos ou óticos. Em certos casos, é possível executar esta medição com o recurso ao cabeçote do equipamento de ensaios, no entanto, é aconselhável a execução de uma correção do deslocamento, já que aquando da realização do ensaio, o equipamento não executa apenas a medição dos provetes, mas sim de todos os constituintes da máquina de ensaios [25 e 27]. Para obtenção de um maior rigor na curva tensão-deformação, é sugerido o uso de extensómetros óticos, ou seja, equipamentos de medição sem contacto. Deste modo, garante-se a inexistência de qualquer tipo de tensão adicional no provete aquando do ensaio. Paralelamente, o recurso a este tipo de extensómetro permite o ensaio até à rotura do provete, contrariamente ao que sucede com o uso do extensómetro mecânico. No caso deste equipamento, devido ao seu curso limitado, torna-se necessário interromper o ensaio para retirá-lo dos provetes antes destes atingirem a rotura [25 e 28].

Concluído o ensaio e realizado o tratamento dos dados, obtém-se uma curva idêntica à ilustrada na Figura 5, que é utilizada posteriormente na obtenção das características mecânicas dos corpos de prova. Designadamente é possível obter o módulo de elasticidade, a tensão limite elástico, a tensão de rotura à tração e a deformação de rotura à tração.

Na obtenção do módulo de elasticidade, a norma EN ISO 527-2 [29] recomenda a seleção de dois pontos no gráfico, de preferência entre 0,05% e 0,25% da deformação, pelo facto de se tratar de um conjunto de valores coincidentes com a zona elástica dos provetes. A estes dois pontos seleccionados no intervalo da deformação adequado, correspondem dois valores da tensão, de acordo com a curva do gráfico. Estes serão então utilizados no cálculo do módulo de Young, através da Equação 1:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Equação 1

Na equação apresentada, $\Delta\sigma$ representa a diferença da tensão aplicada entre os pontos 0,05% e 0,25% e $\Delta\varepsilon$ a variação da deformação entre os pontos 0,05% e 0,25%.

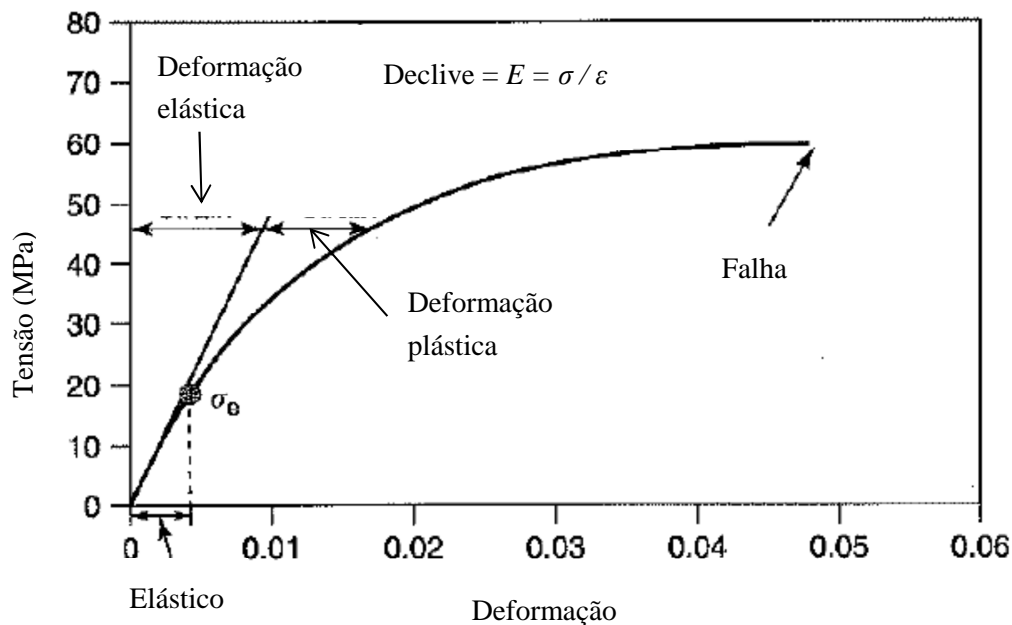


Figura 5 – Curva típica tensão-deformação de um adesivo [25].

É permissível recorrer a outros métodos na obtenção do módulo de elasticidade, designadamente através da execução de uma reta tangente à zona elástica do adesivo, iniciada na origem do gráfico [25] como se observa no gráfico da Figura 5. Para alguns autores, o cálculo para a obtenção da tensão limite de elasticidade não é linear, pois, ao contrário do aço, os polímeros não apresentam patamares de cedência na transição do regime elástico-plástico [30]. Na presença de adesivos dúcteis, deve-se considerar a tensão limite de elasticidade como a tensão de rotura, como se observa na Figura 6 [31]. Já no caso de adesivos frágeis, é utilizada a intersecção de uma reta tangente à zona elástica do adesivo com a reta tangente à zona plástica do mesmo na obtenção da tensão limite de elasticidade, como se observa no gráfico tensão-deformação da Figura 6 [25].

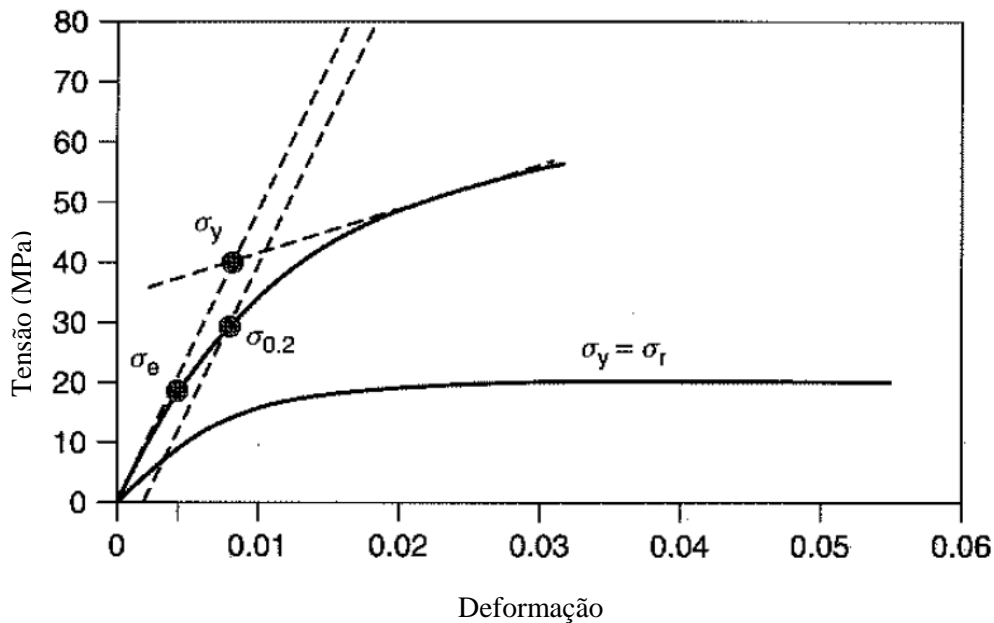


Figura 6 – Determinação da tensão limite de elasticidade recorrendo aos métodos [25]:

- Tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2% ($\sigma_{0,2}$);
- Igualar a tensão limite de elasticidade à tensão de rotura ($\sigma_y = \sigma_r$);
- Intersecção de tangentes (σ_y).

2.3.2 Ensaios de adesivo em junta adesiva

A utilização de juntas adesivas na identificação das propriedades dos adesivos é o método mais utilizado pelos investigadores, devido à facilidade com que as juntas são obtidas e ensaiadas. A junta mais utilizada é a junta de sobreposição simples como exemplificado na Figura 7 [23]. Este tipo de junta é normalmente utilizada com o objetivo de determinar a resistência da junta adesiva.

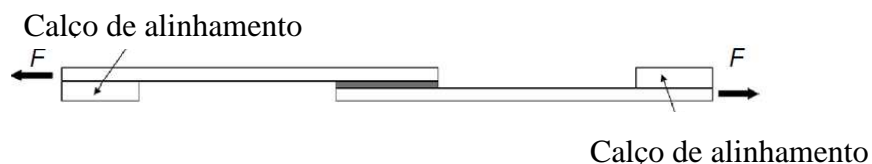


Figura 7 – Junta de sobreposição simples [32 e 33].

É possível verificar a existência de calços (normalmente do mesmo material do substrato) nas extremidades da junta, usados com o objetivo de eliminar o desalinhamento da junta na máquina de ensaios (embora o momento fletor provocado pela força aplicada não

seja eliminado). Após este processo, as juntas ficam prontas a ser ensaiadas, permitindo a determinação das propriedades da mesma. Normalmente são utilizados moldes para a produção deste tipo de juntas, pois permitem garantir um melhor alinhamento dos substratos e controlar a espessura do adesivo [32 e 33]. Após a realização do ensaio, uma propriedade que é importante identificar, é a resistência ao corte. Um princípio fundamental das juntas coladas é que estas devem transmitir preferencialmente esforços de corte, já que toda a área colada contribui favoravelmente na resistência aos esforços. Para a obtenção das curvas tensão-deformação ao corte dos adesivos recorre-se normalmente ao ensaio de juntas de sobreposição simples. A tensão de corte é então calculada pelo quociente entre a força aplicada e a área colada [14 e 18].

2.3.2.1 Determinação de energias de fratura

Os critérios utilizados na determinação das energias de fratura baseiam-se no conceito da Mecânica de Fratura, que considera que todos os materiais possuem defeitos. Falhas, delaminagens, fendas, são exemplos das imperfeições que podem ser encontradas nos materiais, causados pelos próprios processos de fabrico ou por acidentes provocados durante o seu funcionamento [14].

Os conceitos iniciais ligados à Mecânica da Fratura surgiram no início do século XX, quando um investigador concluiu, na execução de ensaios experimentais, que a tensão de rotura das fibras de vidro aumentava com a diminuição do diâmetro das mesmas. Este problema está associado à proporção do número de defeitos, que crescem à medida que as dimensões dos materiais aumentam [34]. Concluiu-se ainda que a propagação do dano surge quando a taxa de libertação de energia de deformação na extremidade do defeito iguala a taxa crítica de libertação de energia de deformação.

Esta é então obtida através da seguinte expressão:

$$G = \frac{dW}{dA} - \frac{dU}{dA} \quad \text{Equação 2}$$

na qual o W representa o trabalho das forças exteriores, U a energia de deformação interna do sólido e A a área da superfície da fenda.

A propagação do dano pode iniciar-se em três modos diferentes: em Modo I a fenda tende a abrir quando solicitada à tração, ao passo que os Modos II e III são modos onde esta se inicia quando a junta é solicitada a esforços ao corte, como se representa na Figura 8.

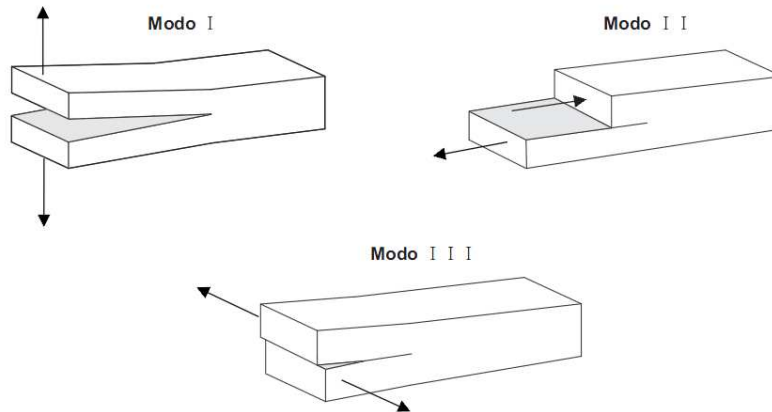


Figura 8 – Modos de rotura em juntas adesivas.

Para caracterização à fratura em Modo I, um dos ensaios mais utilizados é o *Double Cantilever Beam* (DCB) devido à facilidade com que a junta é produzida e à possibilidade de se obter matematicamente a taxa de libertação de energia utilizando a teoria das vigas [35]. Durante este tipo de ensaio (Figura 9), o provete é solicitado em abertura, onde é registada a carga P e o deslocamento δ para os respectivos comprimentos de fenda a . Todo o procedimento do ensaio DCB está descrito na norma ASTM D3433 [36].

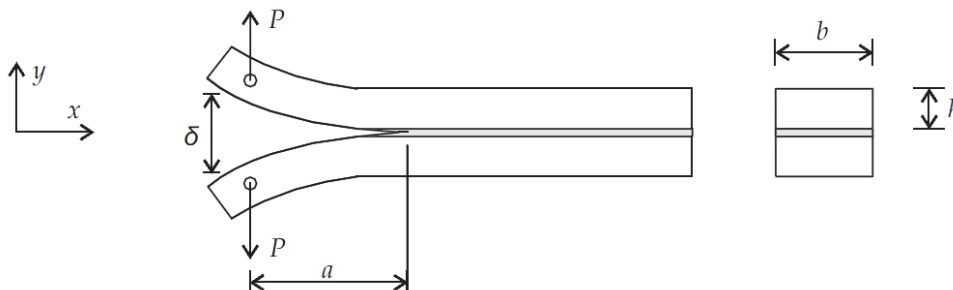


Figura 9 – Representação esquemática do ensaio DCB.

Quando se opta por caracterizar o adesivo em Modo II, existem várias opções disponíveis, designadamente o ensaio *End Loaded Split* (ELS), o *Four-Point End Notched Flexure* (4ENF) e o *End Notched Flexure* (ENF). Este último, comparativamente com os dois restantes, trata-se do ensaio mais adequado na caracterização do adesivo, devido à sua simplicidade (Figura 10) [37 e 38]. Para a realização do ensaio, o provete é constituído por duas barras de espessura uniforme, coladas entre si, contendo uma fenda numa das extremidades. Posteriormente, o provete é apoiado nas extremidades e é aplicada uma carga a meio vão, causando um modo de corte no adesivo. Já o ensaio *Edge-Crack Torsion* (ECT) é o mais usual no Modo III.

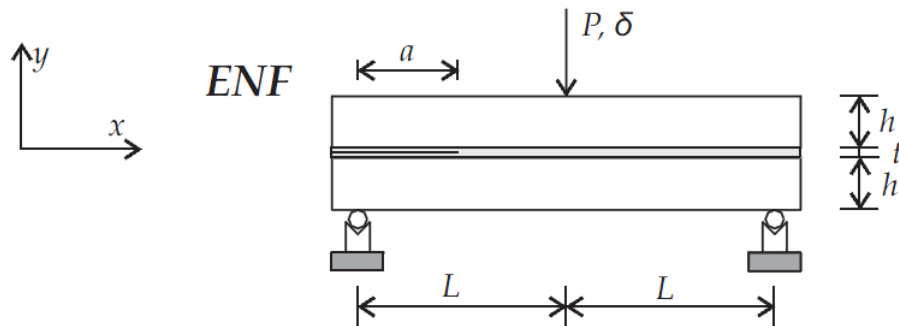


Figura 10 – Representação esquemática do ensaio ENF.

As técnicas da Mecânica da Fratura têm algumas limitações, concretamente em relação à previsão da rotura. Em muitas circunstâncias, observa-se que os aderentes plastificam antes da rotura pela camada adesiva, fazendo com que este conceito não seja apropriado na previsão da rotura destas ligações adesivas. Outra limitação reside no facto de muitas estruturas não possuírem defeitos iniciais, que são necessários para a aplicação destas técnicas [38, 39 e 40]. A resolução deste problema passa pela utilização conjunta das metodologias da Mecânica da Fratura e da Resistência dos Materiais utilizando modelos de dano coesivo [41]. Estes baseiam-se em elementos finitos, uma técnica que nos últimos anos tem evoluído bastante, e que constitui na atualidade um dos métodos mais utilizados na análise de problemas ligados à iniciação e propagação de danos em estruturas [42 e 43]. Com o recurso a estes modelos, torna-se possível simular o início e propagação da fenda.

2.4 Fabrico de provetes maciços de adesivo em molde

Uma dificuldade inerente ao processo de fabrico de provetes de adesivo em bruto é a possibilidade de formação de vazios durante o vazamento ou injeção do adesivo nas cavidades do molde. O surgimento desses espaços vazios está intimamente relacionado com o aprisionamento de ar entre o adesivo e as superfícies do molde, como está representado na Figura 11 [44].

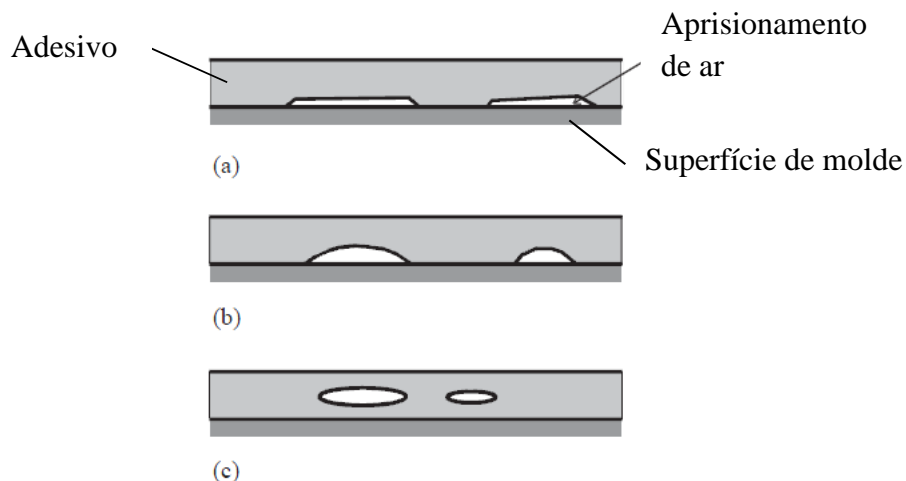


Figura 11 – Aprisionamento de ar entre uma película adesiva e as superfícies do molde: a) Aprisionamento inicial, b) Deslocamento parcial, c) Posicionamento final [44].

Estas porosidades originam zonas frágeis que reduzem a resistência dos provetes pela diminuição da área resistente dos mesmos, surgindo como pontos preferenciais de rotura. Desta forma, a estrutura do provete fica fragilizada quando sujeita a carga. Este fenómeno designa-se como “*crazing*” (Figura 12) [45].

A fim de evitar o surgimento destes vazios, que são vulgarmente responsáveis pela rotura prematura dos adesivos, deve-se recorrer à técnica do vácuo, ou à aplicação de pressão hidrostática suficientemente elevada para comprimir o ar aprisionado a volumes insignificantes, forçando-o a dissolver-se no adesivo [45, 47 e 48].

Face à não adequação da determinação de propriedades de adesivos por ensaios de tração de juntas, nomeadamente pela não existência de tensões constantes do adesivo e influência dos substratos, procede-se normalmente ao ensaio de provetes maciços de adesivo para caracterizar o comportamento à tração [47 e 49]. Como já foi referido, trata-se de um

processo onde é necessário obter provetes isentos de defeitos, ou seja, sem vazios causados pelo aprisionamento de ar. A geometria dos provetes, ilustrada na Figura 4, e as dimensões do molde, estão descritos na norma NF T 76-142 [26].

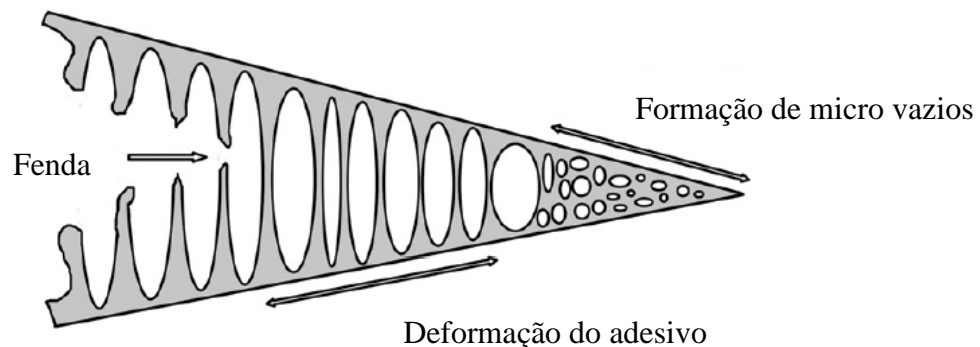


Figura 12 – Iniciação da fenda numa ligação adesiva [46].

2.4.1 Requisitos para os materiais do molde

A obtenção de provetes com bom acabamento superficial exige que os materiais utilizados para fabrico das placas constituintes do molde cumpram certos requisitos. Estes materiais devem apresentar elevada resistência mecânica, para não deformarem durante o processo de fabrico e serem suficientemente rígidos para assegurar a estabilidade dimensional dos provetes fabricados [50]. Desta forma evita-se a ocorrência de deformação plástica do molde quando este está sob pressão. A maquinabilidade é também um fator importante na produção de moldes, já que pode representar 30% dos custos totais de fabricação. O bom acabamento superficial dos provetes de adesivo só é possível quando o material do molde apresenta uma boa aptidão para o polimento. Assim, após a realização da maquinagem das placas constituintes do molde, é necessário realizar o polimento das superfícies que estão em contacto com o adesivo, por forma a obter-se uma superfície lisa e sem marcas da maquinagem. Paralelamente o bom acabamento superficial facilita a desmoldagem dos provetes [51].

O material deve também possuir uma elevada dureza, para garantir uma boa resistência ao desgaste por abrasão. Esta característica é essencial para evitar defeitos durante a extração dos provetes (riscos por exemplo). Para melhorar esta característica, podem ser realizados tratamentos térmicos, sendo necessário para tal que o material apresente uma boa temperabilidade [51]. A boa condutibilidade térmica é uma característica imprescindível, pois,

para além de evitar um sobreaquecimento, que iria modificar as propriedades dos adesivos [18], garante deste modo, uma boa dissipação de calor [25], permitindo realizar a cura do adesivo a temperaturas elevadas.

Após análise do gráfico da Figura 13, que avalia a rigidez dos materiais em função do custo, pode-se constatar que os materiais que melhor satisfazem estas duas características são os aços ao carbono e os ferros fundidos. Estes últimos, embora possuam uma boa relação rigidez-custo, são excluídos da seleção, pois o custo da obtenção do molde em ferro fundido seria bastante superior comparativamente com o aço ao carbono. A utilização do ferro fundido para a obtenção das placas constituintes do molde também iria trazer limitações, não só mecânicas, mas também ao nível da qualidade das placas. Esta desvantagem está associada à baixa precisão dimensional e ao acabamento, assim como devido à existência de porosidades e vazios. A outra desvantagem está associada à elevada percentagem de carbono (superior a 2,06%), que origina elevada fragilidade, logo, baixa tenacidade e ductilidade [51 e 52].

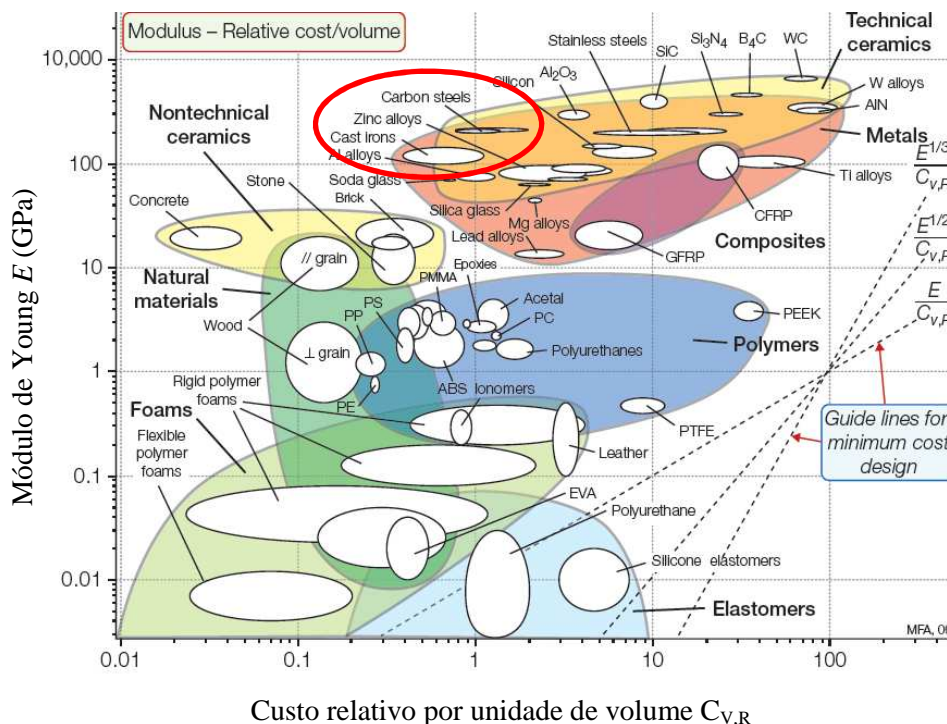


Figura 13 – Gráfico de relacionamento do Módulo de Elasticidade em função do custo por unidade de volume [53].

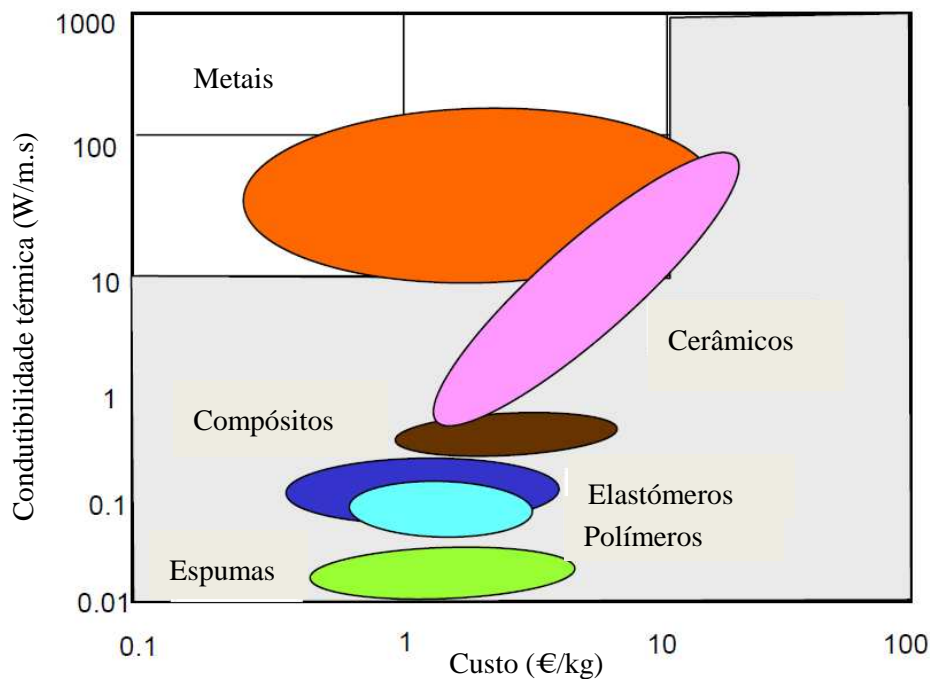


Figura 14 – Gráfico de relacionamento da condutibilidade térmica em função do custo por Quilograma [53].

Na Figura 14 está representado um gráfico que relaciona o custo dos materiais em função da condutibilidade térmica. Consta-se que os metais, comparativamente com os restantes materiais, possuem uma melhor relação entre estas duas características, sendo assim o aço um excelente material para a produção das placas constituintes do molde dado que cumpre com os requisitos acima referidos. Entre estes destacam-se o seu baixo custo, a sua elevada rigidez, que permite assegurar a estabilidade dimensional dos provetes fabricados [50] e a condutibilidade térmica, que por seu lado evita sobreaquecimentos que iriam modificar as propriedades do adesivo [18 e 25].

2.4.2 Fabrico de provetes por moldação

Como já foi referido no capítulo 2.4, o ensaio à tração de provetes de adesivo tem como objetivo determinar as propriedades mecânicas à tração dos mesmos. Atualmente existem dois procedimentos para a obtenção destes: por pressão entre pratos ou por moldação. Este último é dividido em dois métodos: injeção em molde fechado ou por moldação em molde aberto. O primeiro método é utilizado em adesivos de aplicação por pistola, já o segundo é usado preferencialmente em adesivos de aplicação manual [12].

No fabrico de provetes por injeção em molde fechado, o molde para a obtenção dos provetes é constituído por 3 placas planas e devidamente retificadas, como se pode verificar na Figura 15. A placa superior é usada com três objetivos, a injeção do adesivo, através dos orifícios de maior diâmetro, a libertação do ar acumulado no interior do molde, através dos furos de menor diâmetro e fecho da cavidade. Ao proceder com a injeção do adesivo o ar é então forçado a sair pelos orifícios de menor diâmetro. A placa intermédia é utilizada para garantir a geometria e a espessura do provete. A placa inferior, por seu lado, é usada como suporte de todo o conjunto [32 e 33].

No processo de fabrico por moldação em molde aberto, são utilizadas as mesmas placas acima referidas. Neste método a placa intermédia é colocada sobre a placa inferior, possibilitando deste modo o vazamento do adesivo para a cavidade. Após o vazamento do adesivo, é colocada a placa superior, neste caso as furações são utilizadas para expulsar o adesivo em excesso. Este método é sobretudo utilizado quando o adesivo é líquido [14].

Todas as superfícies do molde devem ser revestidas com um desmoldante com o intuito de facilitar a remoção dos provetes, pois sem este procedimento os adesivos aderem ao molde, dificultando ou impossibilitando a sua desmoldação. Posteriormente o conjunto é fechado por parafusos [32 e 33].

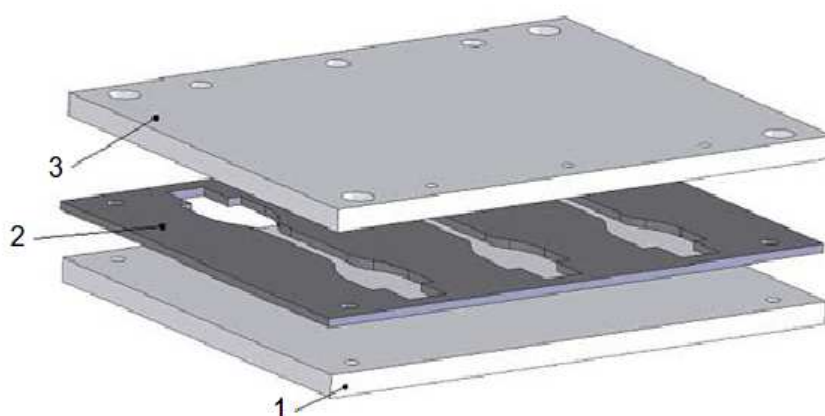


Figura 15 – Vista explodida do molde utilizado no método de fabrico de provetes de adesivo por moldação: 1 – Placa inferior, 2 – Placa intermédia, 3 – Placa superior [32 e 33].

2.4.3 Fabrico de provetes por pressão entre pratos

O método de pressão entre pratos é utilizado para qualquer tipo de adesivo (líquido, pasta ou filme). Neste caso, após a obtenção das placas de adesivo, estas são sujeitas a maquinagem de precisão. Durante este procedimento, não é aconselhável o uso de agentes de refrigeração, pois estes podem adulterar as propriedades do adesivo e assim originar erros na determinação das propriedades mecânicas. Caso seja necessário recorrer ao uso de um agente de refrigeração é aconselhável o uso de ar comprimido [25]. Esta é a principal desvantagem comparativamente com o método de moldação, já que nesta fase da maquinagem corre-se o risco de provocar danos com a ferramenta de corte na estrutura do provete [18]. A geometria e todo o procedimento de produção da placa devem obedecer à norma NF T 76-142 [26], como ilustrado na Figura 16.

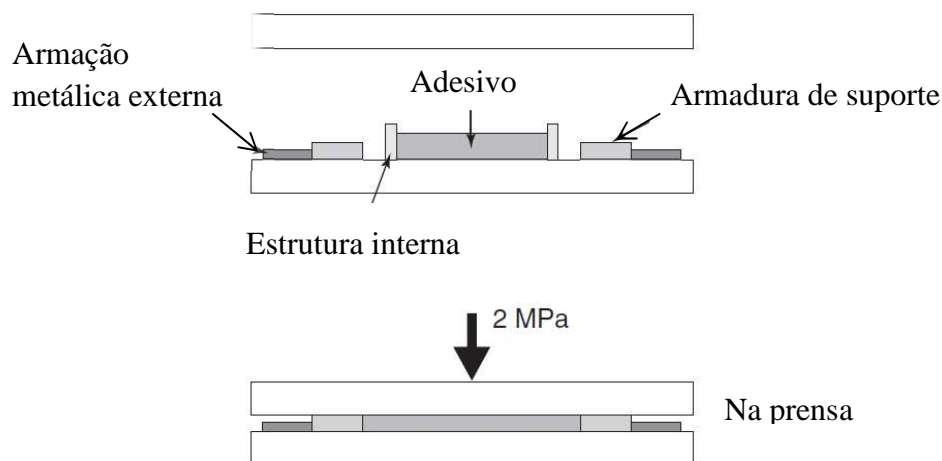


Figura 16 – Placa de adesivo produzida de acordo com a norma NF T 76-142 [26].

O molde utilizado é constituído por 2 placas, que são separadas por uma moldura retangular de borracha de silicone circundada por uma moldura de suporte constituída por quatro barras fixadas por parafusos (Figura 17). Com esta configuração, torna-se simples a limpeza de todo o conjunto após a utilização [18]. As duas placas que constituem o molde devem ser planas e retificadas, por forma a garantir um bom acabamento superficial e uma espessura uniforme das placas de adesivo [24, 32 e 33].

Neste processo, antes de iniciar o enchimento, ambas as superfícies do molde deverão ser limpas com recurso a papel embebido de acetona, para posteriormente ser aplicado um agente desmoldante. Este vai ser usado para revestir as superfícies em contacto com o adesivo, por forma a facilitar a remoção das placas do mesmo.

Durante o enchimento deve-se acrescentar uma quantidade de adesivo ligeiramente superior ao volume da cavidade do molde, com o intuito de garantir o seu completo enchimento quando for aplicada pressão [47] e ao mesmo tempo obter bom acabamento superficial das placas [12].

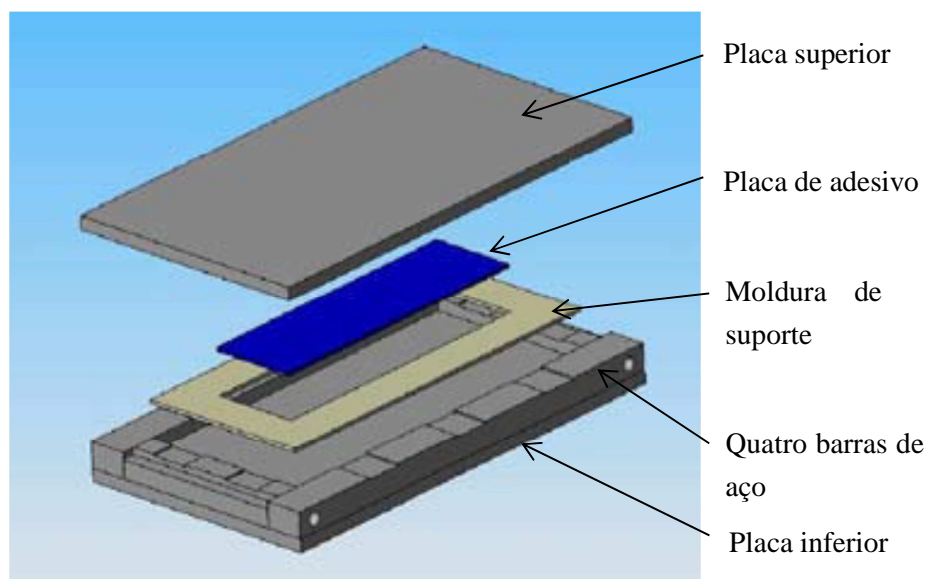


Figura 17 – Vista explodida do molde utilizado na produção de placas de adesivo por pressão entre pratos [32 e 33].

2.4.3.1 Moldura de suporte

As molduras de suporte utilizadas no processo de fabricação de provetes por pressão entre pratos para a obtenção das placas de adesivo, como se pode observar na Figura 17, são normalmente em silicone. São utilizadas para impedir o adesivo de fluir para fora do molde [16, 30, 32 e 33] e garantir a espessura desejada da placa após a aplicação de pressão, utilizando-se normalmente uma prensa de pratos quentes.

O silicone é um excelente material para utilizar como moldura, pelo facto de se tratar de um material com baixa energia superficial [23] e por ser suficientemente rígido para não sofrer mudanças de forma na altura do fecho do molde. A moldura de suporte deve ser adequada ao molde a utilizar, assim como o volume interior, que deve ter as dimensões

desejadas para a obtenção da placa de adesivo [25]. É recomendado que as molduras de suporte possuam uma espessura entre dois e três milímetros. Abaixo desta espessura as amostras podem ser frágeis e mais propensas a uma falha prematura aquando da colocação dos extensómetros [24].

2.4.4 Aplicação do adesivo

Antes de iniciar a aplicação do adesivo é necessária executar alguns procedimentos. É fundamental a limpeza do molde, normalmente executada com o recurso a papel embebido em acetona e posteriormente, após a secagem do mesmo, aplicar um agente desmoldante. Com este procedimento pretende-se reduzir a probabilidade do adesivo aderir ao molde, dificultando ou mesmo impossibilitando a desmoldação dos provetes [54].

No caso de se utilizar o molde da Figura 17 (método de pressão entre pratos) não é necessário realizar os passos referidos anteriormente na moldura de suporte, pois os adesivos não aderem ao silicone devido à baixa energia de superfície que este material apresenta [24]. Para a aplicação do desmoldante, deve-se colocar o molde num forno até atingir uma temperatura entre 40°C a 50°C, efetuar a aplicação deste e aguardar que seque. O aquecimento das placas do molde permite uma boa adesão do desmoldante e acelera a sua reação de cura [18]. A aplicação deste deve ser repetida 3 vezes.

Posteriormente, a aplicação do adesivo só deve ser efetuada quando as placas constituintes do molde estiverem à temperatura ambiente. Nos métodos de pressão entre pratos e moldação em molde aberto, utilizando adesivo fornecido em 2 componentes de mistura manual, antes de iniciar a deposição do adesivo na cavidade do molde é necessário conhecer a quantidade de adesivo a aplicar. Esta é calculada através do volume da cavidade do molde. Sempre que possível deve-se acrescentar alguma quantidade de adesivo em excesso, por forma a garantir que todos os espaços são preenchidos aquando da deposição [47]. O adesivo é então pesado numa balança de precisão e em seguida depositado no molde. Para adesivos com aplicação por pistola, também se deve ter o cuidado de depositar adesivo em excesso, pelo mesmo motivo. Após a aplicação do adesivo, é importante ter o cuidado de eliminar as bolhas de ar que vão surgindo antes de efetuar o fecho do molde através da compactação manual do adesivo com uma espátula. No caso dos adesivos líquidos, estes devem ser desgasificados em vácuo [25]. Na Figura 18 é possível visualizar o vazamento de adesivo no método de pressão entre pratos.

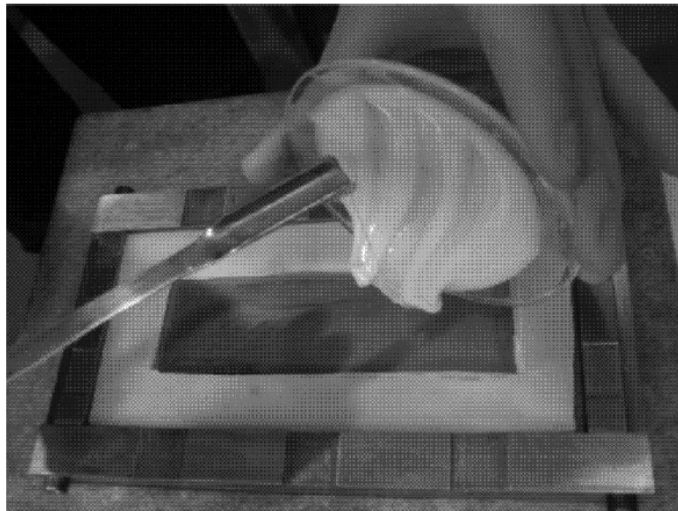


Figura 18 – Aplicação do adesivo [25].

Na obtenção de provetes pelo método de moldação por injeção, o adesivo é injetado pelos orifícios de maior diâmetro. Já os de menor diâmetro são utilizados para expulsar o ar acumulado aquando da injeção. Este método é sobretudo utilizado para pastas em pistolas [14], que podem ser acionadas por ar comprimido para facilitar a injeção. A moldação por injeção apresenta a vantagem de não ser necessário realizar a maquinagem dos provetes, pois estes já são obtidos na sua forma final, contrariamente ao método de pressão entre pratos. Deste modo, evita-se assim problemas associados com a maquinagem [32 e 33], designadamente o risco de provocar danos com a ferramenta de corte na estrutura do provete [18]. A injeção do adesivo termina imediatamente após o início da expulsão do adesivo pelo orifício de respiro.

2.4.5 Processo de cura

Após a aplicação do adesivo, este pode curar à temperatura ambiente ou a temperatura elevada. Neste caso, pode-se usar por exemplo uma prensa de pratos quentes. Com o recurso a este equipamento é possível aplicar uma elevada temperatura num curto espaço de tempo. É importante, sempre que possível, recorrer ao uso de um termopar colocado no molde o mais próximo possível do adesivo, por forma a realizar a medição da temperatura ao longo deste processo [23 e 54].

Após a cura do adesivo é essencial proceder ao arrefecimento o mais lento possível, evitando-se deste modo a introdução de tensões residuais nas placas de adesivo [18]. De seguida, deve-se aguardar que todo o conjunto do molde atinja a temperatura ambiente para posteriormente extrair a placa de adesivo. Caso contrário, as tensões residuais podem deformar a placa [25].

2.4.6 Acabamento final

No método de fabrico por pressão entre pratos, após a obtenção da placa de adesivo é necessário executar a maquinagem das mesmas por forma a obter provetes com a geometria descrita na norma NF T 76-142 [26]. Para o método de moldação, este passo é desnecessário, pois os provetes já são obtidos na sua forma final. É de elevada importância, após a execução da maquinagem das placas, que os provetes obtenham contornos bem definidos por forma a reduzir a probabilidade de imperfeições que podem levar à iniciação prematura do dano [18 e 23]. Como foi referido no capítulo 2.4.3, é recomendada a utilização de ar comprimido como agente de refrigeração durante a maquinagem. Como alternativa à maquinagem, já que existe a probabilidade de danificar a estrutura do provete com a ferramenta de corte [12], é possível utilizar matrizes cortantes. Este método é utilizado na obtenção de provetes de adesivos flexíveis, que devido à sua ductilidade, tornam-se difíceis de maquinar [25].

2.5 Ensaios a provetes de adesivo em bruto

Tal como já foi referido, a principal dificuldade associada aos ensaios com provetes de adesivo maciço está na obtenção de provetes isentos de defeitos como é o caso de vazios ou fissuras. Estes são originados pela acumulação de ar durante o enchimento do adesivo [40] e originam erros nas propriedades medidas, pois fragilizam a estrutura do provete. Além disso, é discutível a espessura dos provetes, já que estes são geralmente mais espessos do que a camada adesiva numa junta e ao mesmo tempo são produzidos em condições diferentes [55]. Desta forma, é importante que a espessura do provete seja a mais fina possível, representativa da camada adesiva utilizada nas juntas adesivas.

Por forma a adquirir a curva tensão-deformação, recorre-se ao uso de extensómetros para medição da deformação com a precisão necessária. Na execução do ensaio importa referir que o uso de extensómetros mecânicos pode influenciar os resultados, dado que estes estão fixos ao provete e em muitos casos, devido à sua massa, podem introduzir erros durante

a obtenção dos dados. Os extensómetros mecânicos possuem também um curso limitado, sendo necessário removê-los antes da rotura do provete [49]. Face a estes problemas, há benefício na utilização de extensómetros sem contacto, dado que estes oferecem a vantagem de medir a deformação ao longo do ensaio sem os inconvenientes de originar tensões nos provetes.

2.5.1 Procedimentos de ensaio

A execução, sempre que possível, de ensaios que permitem identificar as diversas propriedades dos adesivos, devem obedecer aos procedimentos descritos nas normas que para além de definirem os procedimentos dos ensaios, estabelecem também as técnicas de preparação das amostras, ciclos de cura e tratamentos superficiais.

Face às dificuldades em medir certas propriedades do adesivo a partir dos ensaios de junta adesiva, nomeadamente módulos de elasticidade e resistências mecânicas, executam-se normalmente ensaios de tração de provetes de adesivo em bruto [47 e 49]. Neste caso, a geometria e os procedimentos de ensaios seguem normalmente as normas de ensaios de plásticos, designadamente a EN ISO 527-2 [29]. Os provetes têm a geometria de osso de cão (Figura 19) e podem ser fixados nos equipamentos de ensaio de tração com o recurso às maxilas de fixação. Estes podem ser fixados pelas extremidades, ou com a utilização de pinos de fixação, onde são utilizados pinos que passam entre os furos destes. Este último método tem uma desvantagem no ensaio de provetes adesivos frágeis, já que o dano pode iniciar-se no furo do provete.

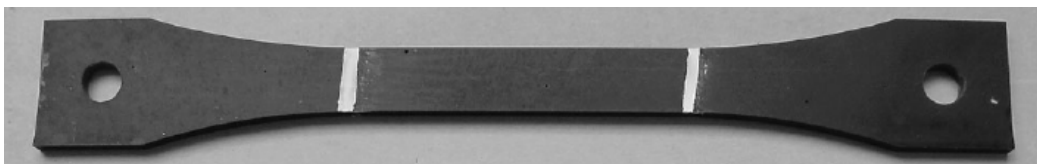


Figura 19 – Geometria típica de um provete utilizado em ensaios de tração [16].

Uma alternativa aos métodos acima referidos passa pela utilização de grampos especiais, como ilustrado na Figura 20. Com a utilização desta metodologia o dano ocorre sempre na zona útil do provete [25 e 30].

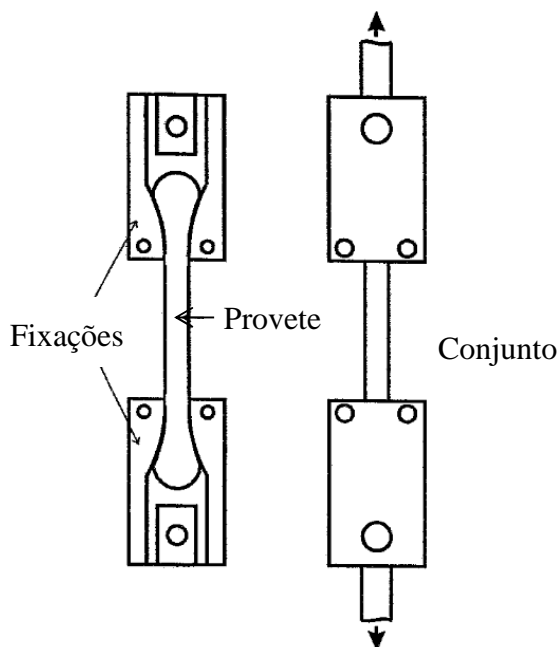


Figura 20 – Fixações especiais para ensaio de provetes de adesivos frágeis.

Para além de ser importante definir qual o melhor método na fixação dos provetes, pois trata-se do fator que vai garantir a inexistência de escorregamentos durante os ensaios, existem outros fatores que podem influenciar os mesmos. Destaca-se a velocidade de ensaio, que afeta o valor da resistência mecânica e da ductilidade do adesivo, como se observa na Figura 21.

Na execução deste tipo de ensaio, são utilizadas normalmente velocidades típicas que variam entre 1 e 100 mm/min [24], embora a mais utilizada seja de 1 mm/min, para a obtenção do módulo de Elasticidade. Na determinação das restantes propriedades mecânicas são normalmente usadas velocidades superiores, pois estas conduzem a um aumento da resistência mecânica dos provetes.

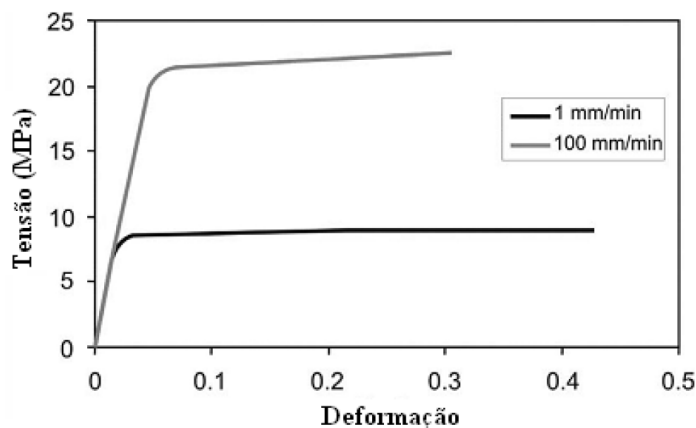


Figura 21 – Influência da velocidade de ensaio nas curvas tensão-deformação de um adesivo dúctil [56].

É também fundamental registrar a temperatura, assim como a umidade quando da realização do ensaio, pois qualquer desvio relativamente aos valores de referência estipulados pelas normas (25°C e 50% de umidade relativa) pode influenciar as características mecânicas dos corpos de prova, particularmente se a temperatura de transição vítrea do adesivo estiver compreendida nesses intervalos [25].

Outro fator que influencia a determinação das propriedades dos adesivos é o alinhamento do provete. É necessário garantir o devido alinhamento a fim de evitar cargas assimétricas e de flexão, assim como a rotação das maxilas. Após a fixação dos provetes é necessário retirar as pré-tensões, que são inseridas nos provetes quando da fixação dos mesmos, através do ajustamento do cabeçote do equipamento. Isto é conseguido pelo deslocamento manual da maxila móvel até se obter uma leitura de carga próxima do zero. O provete deve ser bem fixado, de forma a evitar o deslizamento durante o ensaio [28].

2.5.2 Análise de resultados

A realização dos ensaios de tração de adesivos em bruto tem como objetivo a avaliação do desempenho destes materiais [32]. O primeiro passo após a realização destes ensaios é o processamento dos dados fornecidos pelos equipamentos de ensaios [53]. Estes são então processados de uma forma adequada, após a transferência dos dados para um sistema informático nomeadamente para uma folha de Excel [21].

Na Figura 22 observa-se um esquema representativo da importância da realização da análise de resultados. Na imagem, do lado esquerdo, está representada a realização de um ensaio de tração. Posteriormente, os dados recolhidos do ensaio são processados, sobre os quais é realizada uma análise estatística. Nesta, são então obtidos os valores médios, desvios-padrão e erro das amostras. De seguida, estes valores são armazenados em bases de dados, onde é então possível consultar as propriedades mecânicas dos materiais, designadamente o módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, tensão limite elástico, deformação após rotura, tensão máxima, entre outras.

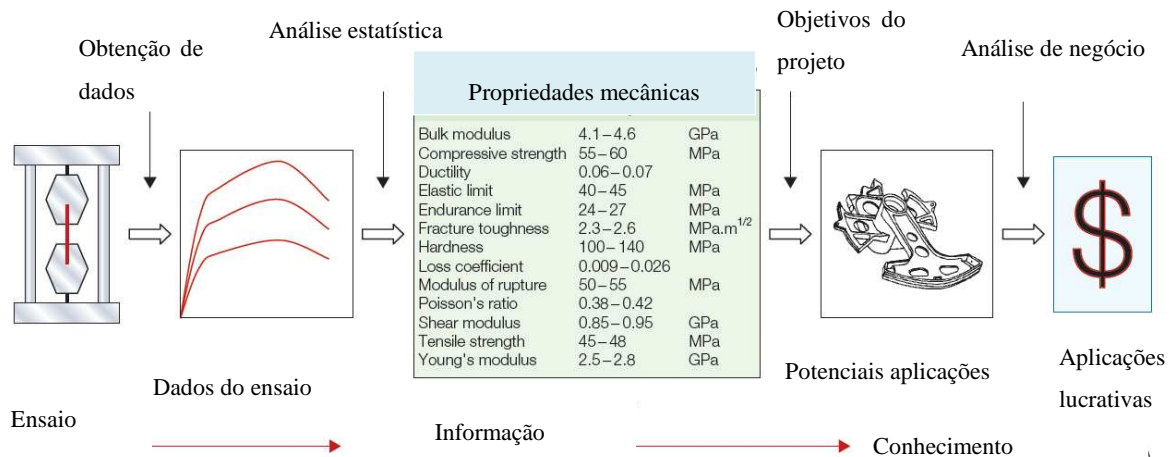


Figura 22 – Processo de uma análise de resultados [53].

3 Desenvolvimento

3.1 Fabrico do molde de cura

Na fase inicial do projeto do molde ponderou-se a hipótese de incorporar um sistema de aquecimento no molde. Com o recurso a este sistema, pretendia-se diminuir o tempo de cura com a introdução de resistências nos furos efetuados na placa superior e na placa inferior (Figura 23). A temperatura seria então controlada por um termóstato.

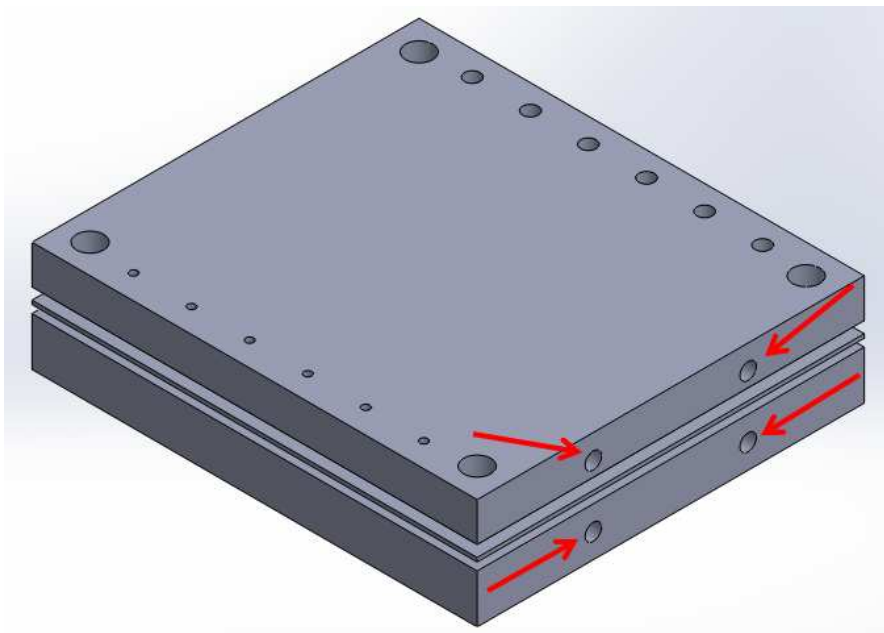


Figura 23 – Projeto inicial para molde de cura com sistema de aquecimento incorporado.

Embora esta hipótese fosse viável para diminuir o tempo de cura dos provetes, foi excluída em detrimento da hipótese da utilização de um forno de altas temperaturas, que se apresentou mais vantajosa em termos de facilidade do processo de fabrico do molde e também dos provetes.

Sendo assim, projetou-se um molde que possibilita a adaptação das duas placas intermédias (Figura 24 e Figura 25) na obtenção de provetes por moldação ou por pressão entre pratos, respetivamente. No processo por moldação (através da utilização da placa ilustrada na Figura 24), é ainda possível a produção de provetes por dois métodos de fabrico distintos, por moldação em molde aberto ou por injeção em molde fechado. Este último método consiste no enchimento das cavidades com a geometria do provete recorrendo a uma pistola de aplicação do adesivo, através dos orifícios da placa superior. O método por moldação em molde aberto consiste no vazamento do adesivo com auxílio de uma espátula para a cavidade do molde e posterior fecho deste por meio de parafusos. Com a utilização deste último método, pretende-se diminuir a probabilidade de surgimento de bolhas de ar prejudiciais à qualidade dos provetes.

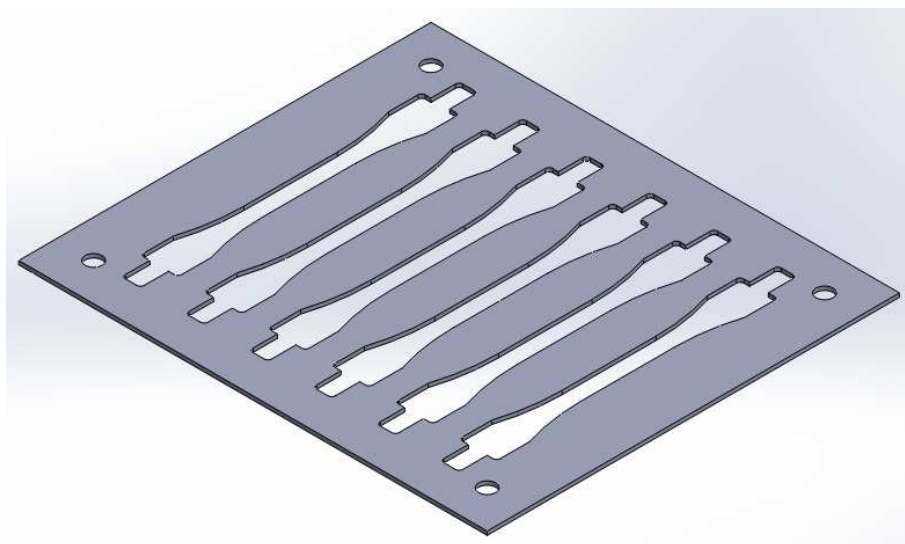


Figura 24 - Placa intermédia do molde com seis cavidades com a geometria do provete utilizada no processo por moldação.

A segunda possibilidade, por pressão entre pratos, consiste na utilização de uma placa interior, conforme ilustrado na Figura 25, para fabrico de uma placa retangular que posteriormente será maquinada nas dimensões finais do provete [47]. No seu interior será colocada uma placa de silicone que deve apresentar uma espessura idêntica ao provete a fabricar. Esta técnica é utilizada no caso de os provetes obtidos através do enchimento do

molde utilizando a placa representada na Figura 24 apresentarem irregularidades, constituindo, portanto, uma medida de recurso.

Importa referir que esta placa se ajusta com uma folga muito ligeira à placa superior e deve ter uma espessura tal que, ao fechar o molde, a espessura “livre” seja igual à dos provetes a fabricar. Apesar de esta solução diminuir significativamente a probabilidade de surgirem bolhas de ar, aumenta o risco de danificar os provetes durante o processo de maquinagem [18, 32 e 33].

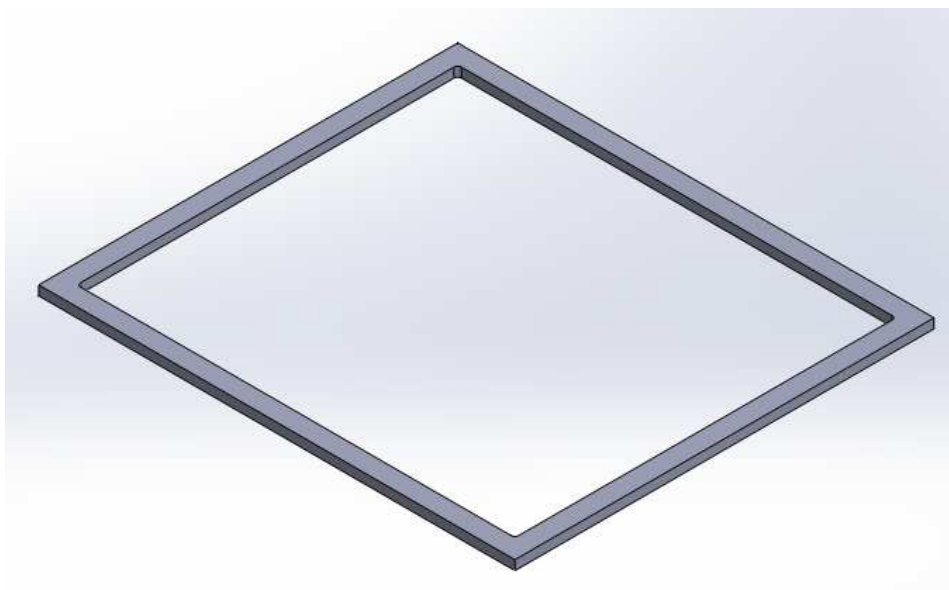


Figura 25 - Placa interior do molde utilizada para o processo de pressão entre pratos.

3.1.1 Desenho do molde

Na Figura 26 está representada a placa superior do molde. Esta possui quatro furos passantes em cada canto, necessários para o aperto do molde por intermédio de parafusos M10 que serão apertados à placa inferior. Nos mesmos furos, foi necessário criar as respectivas cavidades para alojar a cabeça dos parafusos caso seja necessário o molde ir à prensa de pratos quentes. Para além destes, estão presentes outros doze furos, seis deles de diâmetro superior, necessários para a aplicação do adesivo com o recurso à pistola (acionada por ar comprimido ou manualmente). Os furos com diâmetro inferior são fundamentais à libertação do ar existente nas cavidades da placa interior durante a fase de enchimento dos mesmos, na tentativa de reduzir o aparecimento de bolhas de ar. Já na Figura 26 b é visível o rebaixo

necessário para a adaptação da placa interior representada na Figura 25, para o segundo processo de fabrico anteriormente descrito.

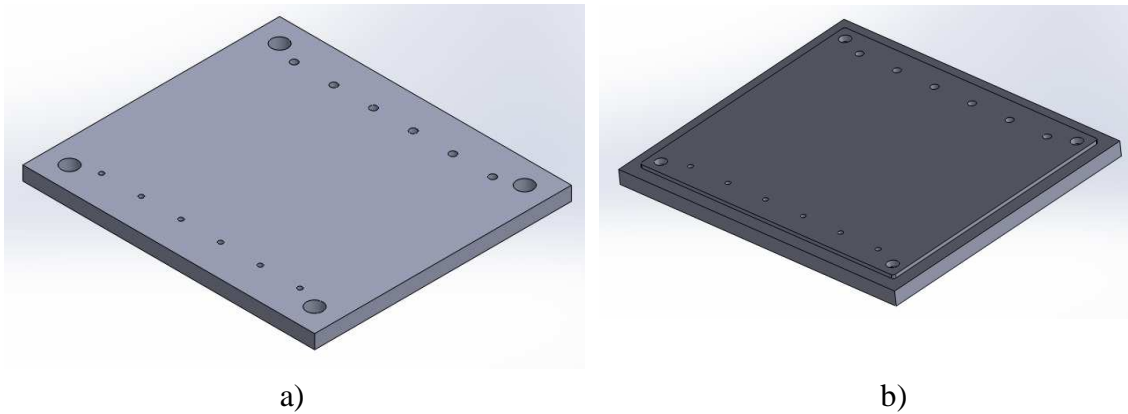


Figura 26 - Placa superior do molde: a) Superfície exterior, b) Superfície interior.

A placa inferior do molde, ilustrada na Figura 27, é constituída por quatro furos roscados M10 necessários para toda a montagem do conjunto e selagem das cavidades de injeção. O conjunto montado é apresentado na Figura 28.

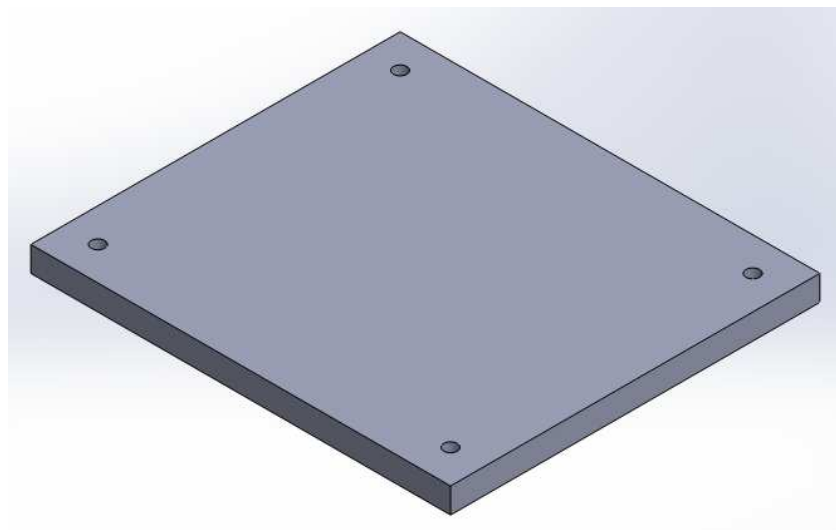


Figura 27 - Placa inferior do molde.

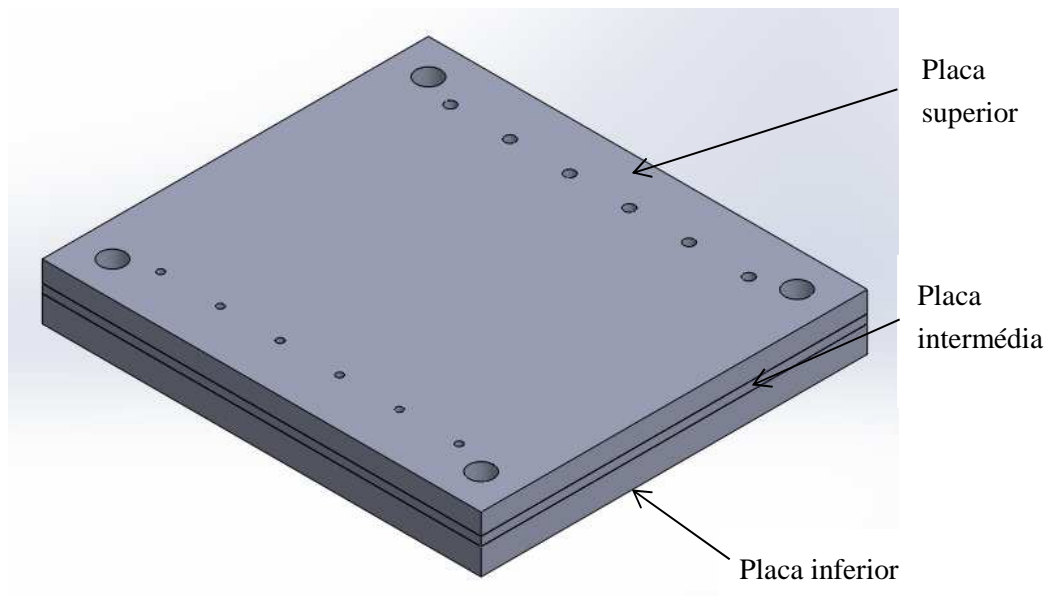


Figura 28 - Montagem do molde.

3.1.2 Materiais utilizados

Após o projeto do molde, surge a necessidade de efetuar uma pesquisa a fim de averiguar qual o material mais apropriado, que satisfaça todas as exigências associadas ao mesmo. Este material deve possuir uma boa maquinabilidade, uma elevada rigidez, não deve ser corrosível e deter uma boa condutividade térmica. Esta última característica é fundamental a fim de evitar um elevado aquecimento durante o processo de produção dos provetes, que poderia ser responsável pela modificação das propriedades dos adesivos [18]. Também evitaria um aquecimento uniforme, o que levaria à variação de propriedades ao longo do provete.

Na execução do molde foi utilizado o aço F10 (C 45 E segundo a Norma EN 10027). Este foi escolhido por apresentar um custo reduzido comparado com outros aços também candidatos para a execução da placa superior e inferior, como é o caso do aço C220 (102Cr6 segundo a norma EN). O F10 apresenta uma boa maquinabilidade, uma elevada rigidez e uma boa condutibilidade térmica, que são características essenciais na produção e utilização no molde. Trata-se de um aço que é fornecido no estado natural e que apresenta durezas entre 180 a 300 Brinell. Analisando a composição química verifica-se que o aço apresenta uma percentagem de 0,45% de carbono, sendo assim classificado como um aço de médio teor de

carbono com boas propriedades mecânicas e boa maquinabilidade quando laminado a quente ou normalizado, apresentando uma baixa temperabilidade. Esta deve-se sobretudo à ausência de elementos de liga, com por exemplo o molibdênio e o cromo [51]. Na sua composição química é possível observar também a presença de 0,40 % de silício, 0,65 % de manganês, 0,035 % de fósforo e 0,035 % de enxofre [57]. Na Figura 29 esta representado o diagrama TAC (Transformação em Arrefecimento Contínuo) para o aço em questão, com algumas curvas de arrefecimento sobrepostas. As estruturas possíveis após tratamento são a martensite, para arrefecimentos rápidos, ferrite + perlite para arrefecimentos lentos (ou recozimentos). É possível também a obtenção de misturas de estruturas para arrefecimentos intermédios tais como perlite + martensite [58].

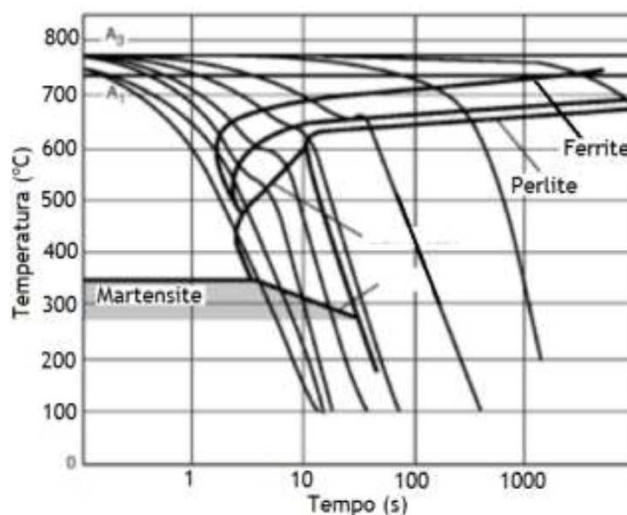


Figura 29 – Diagrama de transformação em arrefecimento contínuo para o aço C 45 E [58].

Na execução da placa intermédia, foi utilizado o aço inoxidável AISI 304. Trata-se de aço austenítico fornecido no estado recozido, pertencendo às ligas mais nobres e mais comuns, apresentando uma dureza de 180 Brinell.

São aços não magnéticos com estrutura cúbica de faces centradas. Relativamente à sua composição química, este é constituído por 0,08% de carbono, 2% de manganês, 1% de silício, 0,045% de fósforo, 0,03% de enxofre, $\pm 8\%$ de níquel e $\pm 18\%$ de cromo. Apresenta excelentes propriedades mecânicas, nomeadamente uma excelente resistência à corrosão e ductilidade [59].

3.1.3 Maquinagem do molde

Na Figura 30 estão representadas as placas que posteriormente irão ser maquinadas para a elaboração das placas superior e inferior do molde, tendo estas $257 \times 257 \times 17 \text{ mm}^3$ como dimensões iniciais. Depois destas estarem devidamente definidas, partiu-se para o estudo das fixações, com a finalidade principal de limitar ao máximo o número de fixações intermédias necessárias para a execução das placas. Para o caso, foram utilizadas 3 fixações.



Figura 30 – Placas em bruto usadas para a produção das placas (inferior e superior) do molde.

Concluídas as estratégias, deu-se início à execução do código CNC, com o recurso a um software CAD/CAM, nomeadamente o FeatureCam (da DELCAM). É também nesta fase que se estabelece as ferramentas de trabalho, bem como os parâmetros recomendados a cada ferramenta para maximizar o seu tempo de vida. Finalizado o código CNC, e com todos os parâmetros bem definidos, deu-se início à maquinagem das placas num Centro de Maquinagem HAAS do tipo VF2 (Figura 31) instalado nas Oficinas de Mecânica do ISEP. Trata-se de uma fresadora de 5 eixos controlada por CNC e capaz de realizar maquinagem a alta velocidade.



Figura 31 - Fresadora CNC HAAS.

Todo o processo da sequência de maquinagem será tratado no capítulo seguinte, bem como as características das ferramentas utilizadas e parâmetros de maquinagem.

3.1.3.1 Sequência de maquinagem

Para a execução da maquinagem de ambas as placas do molde, foi selecionada uma fresa de três lâminas em metal duro da Dormer, Figura 32. A fresa escolhida é uma S813HA, capaz de realizar velocidades de corte (V_c), para o aço carbono, de 125 m/min [60]. Para preservar o tempo de vida da ferramenta recorreu-se a uma velocidade de corte de 100 m/min. De acordo com as fórmulas seguintes é possível determinar a rotação, o avanço por rotação (f_n) e a velocidade de avanço (V_f), parâmetros que são necessários definir antes de iniciar a maquinagem.



Figura 32 – Fresa DORMER de 20 mm de diâmetro [60].

Para a fresa de 20 mm de diâmetro foram utilizados os seguintes parâmetros:

- A velocidade de rotação (n) para garantir uma V_c de 100 m/min:

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad \text{Equação 3}$$
$$n = \frac{100 \times 1000}{\pi \times 20}$$
$$n = 1600 \text{ rpm}$$

- O avanço por rotação (f_n):

Importa referir que o fz (avanço por navalha) é um valor tabelado e aconselhado pelo fabricante. O z corresponde ao número de navalhas da fresa.

$$fn = fz \times z \quad \text{Equação 4}$$
$$fn = 0,17 \times 3$$
$$fn = 0,51 \text{ mm/rot}$$

- A velocidade de avanço (V_f):

$$Vf = n \times fn \quad \text{Equação 5}$$
$$Vf = 1600 \times 0,51$$
$$Vf = 816 \text{ mm/min}$$

Na Figura 33 está ilustrada a primeira fixação da placa superior. Importa referir que nesta e nas restantes fixações é necessário ter alguns cuidados, designadamente no que diz respeito ao paralelismo que é fundamental estabelecer entre a placa do molde e a mesa de fixação através de um comparador. É também essencial garantir a planeza da peça, para assegurar uma espessura uniforme após a maquinagem.

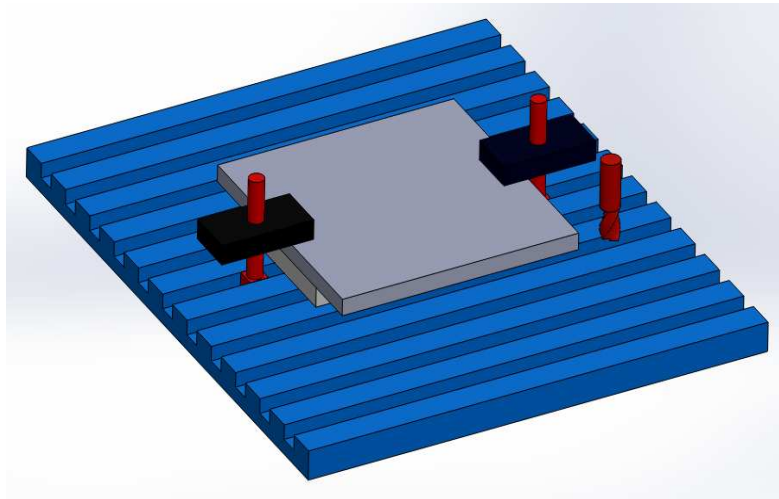


Figura 33 – Primeira fixação antes de proceder à maquinagem da placa superior.

Nas Figuras 34 e 35, observa-se o lado lateral e o oposto a serem maquinados, para estabelecer a cota final de 220 mm (inicialmente com 257 mm).

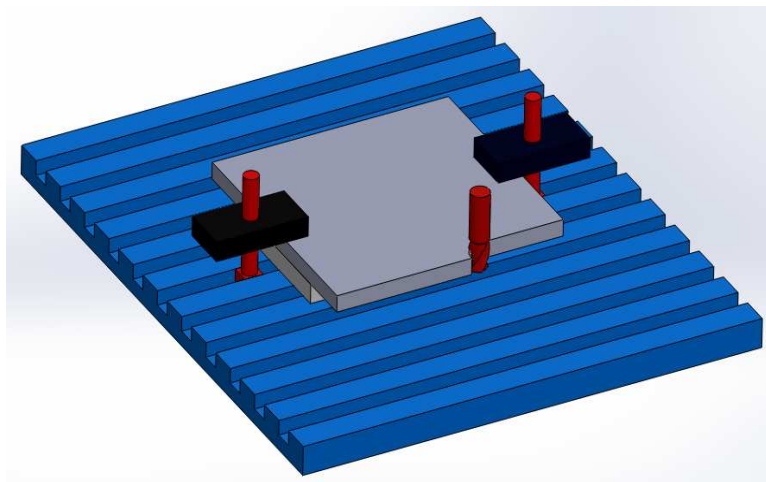


Figura 34 – Maquinagem lateral da placa superior.

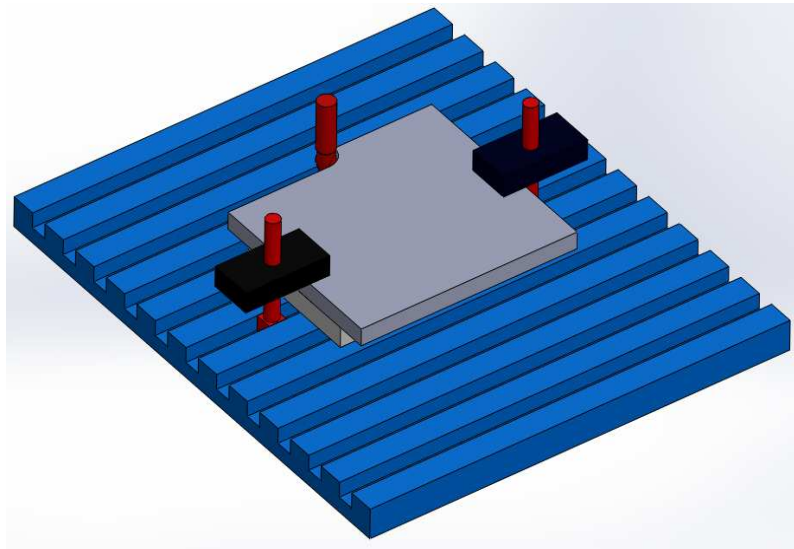


Figura 35 – Maquinagem lateral do lado oposto.

De seguida, a placa foi girada 90° e executou-se o mesmo procedimento. A única diferença reside nas dimensões, pois neste caso apenas se maquinou 3,5 mm de cada lado, contrariamente aos 18,5 mm da primeira fixação.

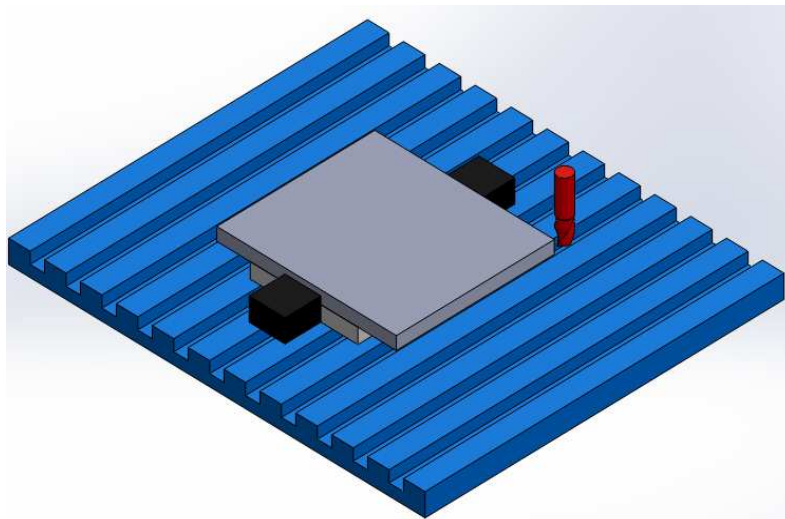


Figura 36 – Sistema de fixação lateral.

Na Figura 36 observa-se que o sistema de fixação foi alterado. Inicialmente a placa estava fixada através da superfície, passando depois a estar prensada lateralmente. Com este

método, a superfície fica livre de qualquer fixação, garantindo assim que a ferramenta não colide com nenhum obstáculo durante o seu percurso.

Na imagem seguinte (Figura 37) verifica-se a execução do rebaixo. Este procedimento é executado num só percurso da ferramenta de corte.

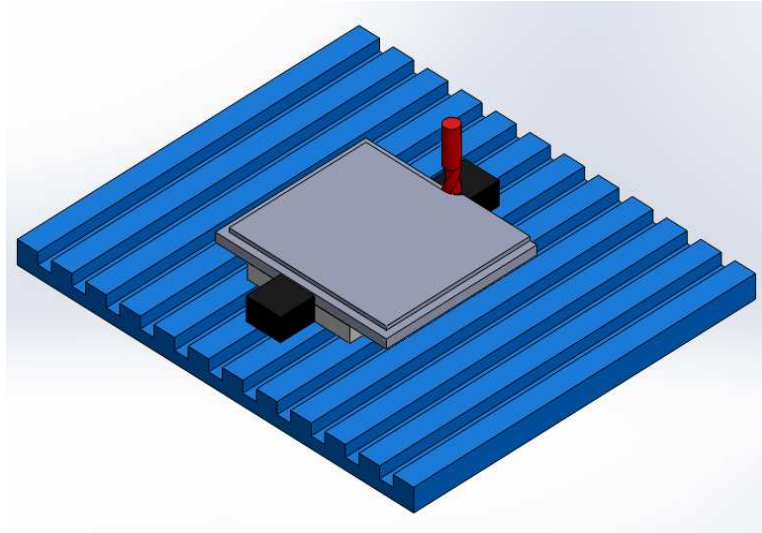


Figura 37 – Maquinagem do rebaixo.

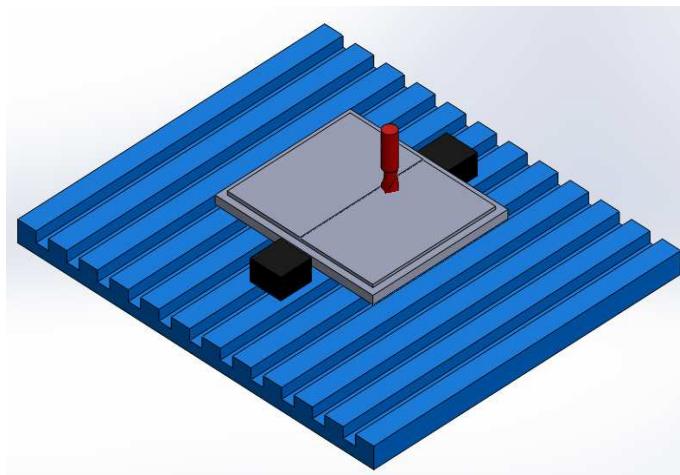


Figura 38 – Maquinagem da superfície em contacto com os provetes.

Posteriormente, toda a superfície do molde foi maquinada, Figura 38. Neste processo deve-se aumentar o número de rotações da fresa e diminuir o avanço, a fim de garantir uma superfície isenta de marcas da ferramenta, essencial para fornecer aos provetes um bom

acabamento superficial, bem como uma fácil desmoldagem. Na Figura 39 observa-se a maquinação da superfície exterior da placa.

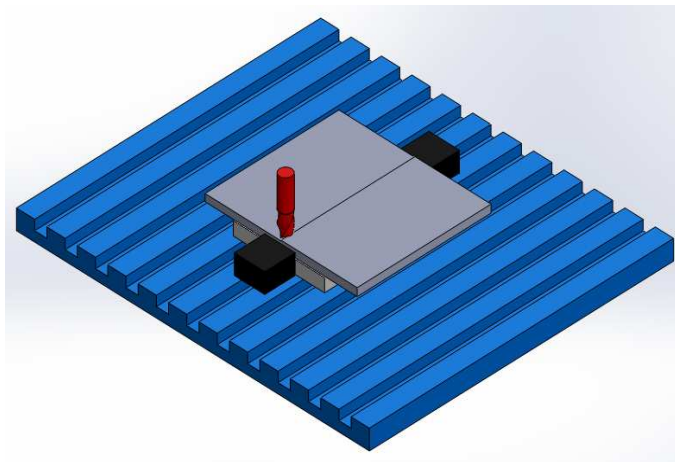


Figura 39 – Maquinação da superfície exterior do molde.

O passo seguinte foi a execução dos furos, com o recurso a uma broca DORMER, a A120, como ilustrado na Figura 40, utilizados na extracção do ar com 4 mm de diâmetro, Figura 41. Esta é capaz de realizar furações até 27 m/min [60]. Como sucedido com os parâmetros utilizados na fresa aquando da maquinação da placa, decidiu-se utilizar uma velocidade inferior à aconselhada pelo fabricante. Importa referir que a referência da broca utilizada para a execução de todas as furações presentes nas placas foi a mesma (A120).



Figura 40 – Broca DORMER de 4 mm de diâmetro [60].

Para este ponto da sequência de maquinação, também é necessário estabelecer parâmetros, nomeadamente:

- O número de rotações que a broca deve possuir para garantir uma V_c de 25 m/min, de acordo com a equação 3:

$$n = \frac{25 \times 1000}{\pi \times 4}$$

$$n = 1990 \text{ rpm}$$

- A velocidade de avanço, de acordo com a equação 5:
O f_n é um valor tabelado e aconselhado pelo fabricante.

$$Vf = 1990 \times 0,096$$

$$Vf = 191 \text{ mm/min}$$

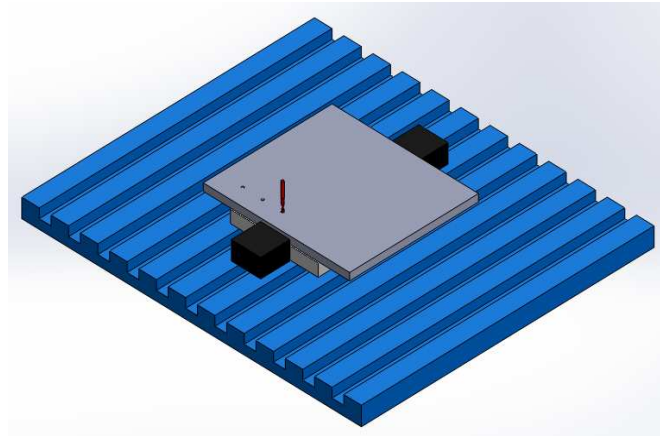


Figura 41 – Execução da furação para extração do ar acumulado no interior do molde.

Na Figura 42, observa-se a execução dos furos de enchimento com 6 mm de diâmetro. Neste ponto da sequência foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Para a broca garantir uma V_c de 25 m/min, esta deve ter a seguinte rotação por minuto (equação 3):

$$n = \frac{25 \times 1000}{\pi \times 6}$$

$$n = 1326 \text{ rpm}$$

- A velocidade de avanço, com a utilização da equação 5:

$$Vf = 1326 \times 0,126$$

$$Vf = 167 \text{ mm/min}$$

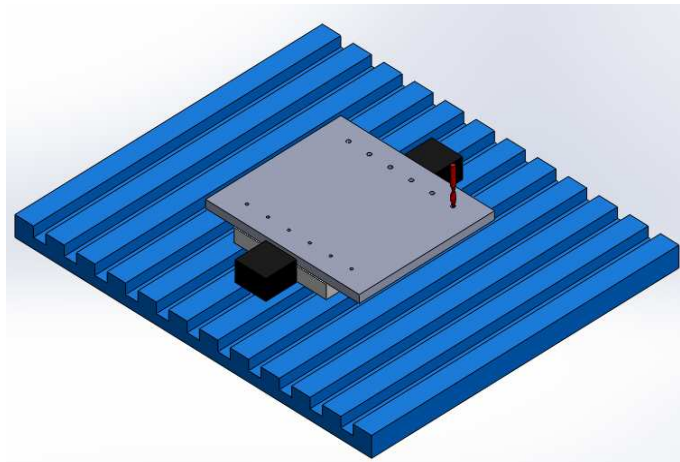


Figura 42 – Execução das furações para enchimento do adesivo.

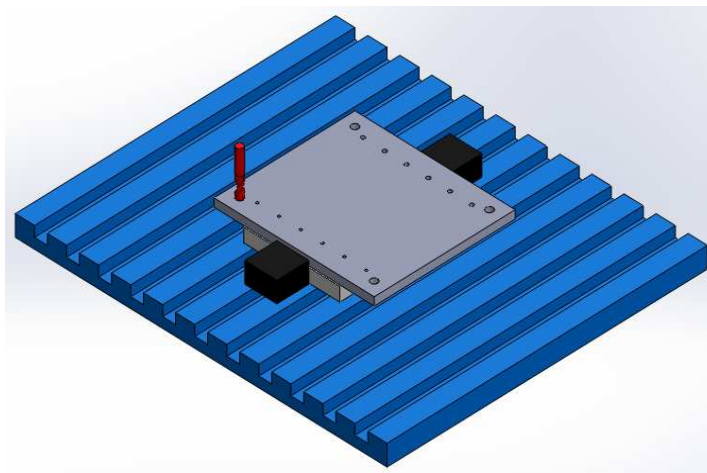


Figura 43 – Furação efetuada para estabelecer o aperto entre as placas.

Os furos ilustrados na Figura 43 são utilizados para estabelecer o aperto das placas. Estes têm 11 mm de diâmetro e são passantes. Neste processo, foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Para a broca possuir uma V_c de 25 m/min é necessário que esta tenha a seguinte rotação, através da equação 3:

$$n = \frac{25 \times 1000}{\pi \times 11}$$

$$n = 723,4 \text{ rpm}$$

- A velocidade de avanço, com o recurso à equação 5:

$$Vf = 723,4 \times 0,198$$

$$Vf = 143,2 \text{ mm/min}$$

Todo o processo de maquinagem da placa superior termina com a execução de furos de 17 mm de diâmetro e de 10 mm de profundidade, como representado na Figura 44. Estes furos são utilizados para alojar a cabeça dos parafusos M10.

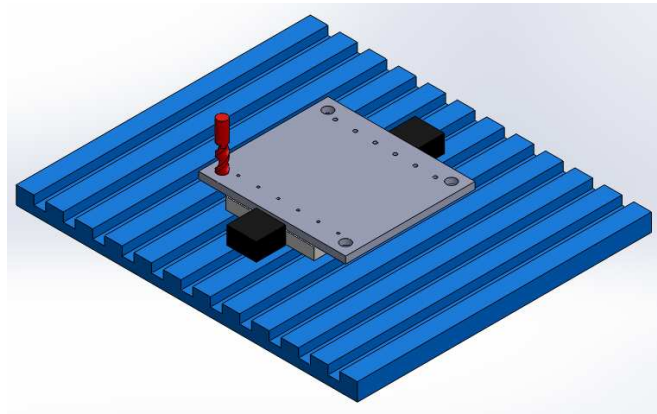


Figura 44 – Furações utilizadas para alojamento da cabeça dos parafusos M10.

Neste ponto do processo, os parâmetros utilizados foram:

- Para o broca executar as furações com uma V_c de 25 m/min é fundamental possuir a seguinte rotação, com a utilização da equação 3:

$$n = \frac{25 \times 1000}{\pi \times 17}$$

$$n = 468 \text{ rpm}$$

- A velocidade de avanço, de acordo com a equação 5:

$$Vf = 468 \times 0,26$$

$$Vf = 122 \text{ mm/min}$$

O procedimento utilizado na execução da maquinagem da placa inferior foi o mesmo que o da superior, à exceção dos quatro furos utilizados para estabelecer o aperto e do rebaixo. Para a execução dos furos foi utilizada uma broca de 8,5 mm de diâmetro (a A120). Posteriormente estes foram roscados a M10 como se pode observar na Figura 45. Para tal, foi utilizado o macho (E500) ilustrado na Figura 46.

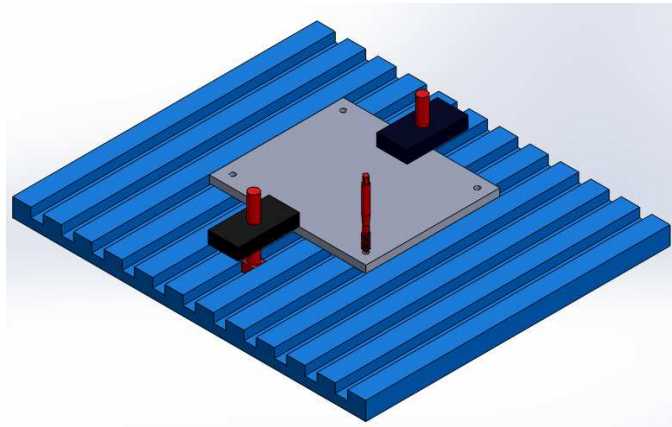


Figura 45 – Roscagem a M10 da placa inferior.



Figura 46 – Macho M10 (E500) utilizado na execução das roscas da placa inferior [60].

Na execução das furações os critérios utilizados foram:

- A rotação por minuto que a broca deve possuir para garantir uma V_c de 25 m/min (equação 3):

$$n = \frac{25 \times 1000}{\pi \times 8,5}$$

$$n = 926 \text{ rpm}$$

- A velocidade de avanço, através da equação 5:

$$Vf = 936 \times 0,17$$

$$Vf = 159 \text{ mm/min}$$

Por fim, na execução da roscagem da mesma placa foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Para o macho executar a roscagem dos furos é necessário ter o seguinte n , para garantir uma V_c de 5 m/min [60], com a utilização da equação 3:

$$n = \frac{5 \times 1000}{\pi \times 10}$$

$$n = 159 \text{ rpm}$$

Na Figura 47 pode-se observar as placas já maquinadas. Distinguem-se algumas marcas deixadas pela ferramenta na superfície das placas durante a maquinagem. Para as remover, o molde foi cromado duro e depois retificado, para endurecer a superfície, substituindo um eventual tratamento de têmpera que não era necessário, já que só se pretende aumentar a dureza na superfície para evitar a abrasão em ambas as faces de cada placa, garantindo assim um bom acabamento superficial nos provetes. De outra forma torna-se difícil desmoldar os provetes das superfícies das placas após o processo de cura. Paralelamente ao processo de retificação, as arestas de ambas as placas foram quebradas, de modo a facilitar o manuseamento destas. Estes processos foram realizados fora das instalações do ISEP.



Figura 47 – Placa superior e inferior do molde após a maquinação.

A placa intermédia (Figura 48) foi fabricada fora das instalações do ISEP, tal como sucedido com a retificação das placas exteriores do molde. Foi utilizado o corte a laser como processo de fabrico, devido à necessidade de obter arestas interiores vivas, que só são possíveis de adquirir por electro-erosão ou por laser (este, quando as chapas não são demasiado espessas).

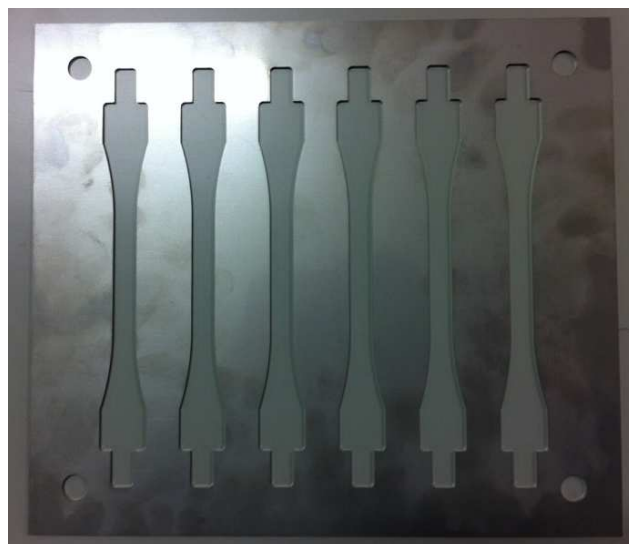


Figura 48 – Placa intermédia obtida por corte a laser.

3.1.4 Tratamentos/acabamentos realizados

Como já foi referido na secção anterior, as superfícies maquinadas de ambas as placas não se encontram com a rugosidade adequada para o fabrico dos provetes de adesivo (Figura 47). Foi necessário cromar duro e retificar ambas as placas para se obter uma superfície polida, fundamental para a desmoldagem dos provetes e para o acabamento superficial adequado, sem o risco da sua danificação. Na Figura 49 é possível verificar o bom acabamento superficial com que a placa superior ficou após a realização da retificação.



Figura 49 – Placa superior após cromagem dura e retificação.

3.2 Fabrico dos provetes

3.2.1 Adesivos utilizados

Foram utilizados três adesivos neste trabalho, um frágil (Araldite[®] AV138), um dúctil (Araldite[®] 2015) e um muito dúctil (SikaForce[®] 7888) como se pode observar na Figura 50. O comportamento mecânico destes é completamente distinto, conforme ilustrado na Figura 51. Na realidade, os adesivos frágeis são bastante sensíveis à clivagem e ao arrancamento, sendo a rotura das respetivas juntas iniciada nas extremidades da ligação. No caso dos adesivos dúcteis, estes permitem uma ligação mais flexível nos mesmos locais, estendendo os esforços para o interior da camada antes da rotura final [18].



Figura 50 - Adesivos utilizados: a) Araldite[®] AV138 e o respectivo endurecedor; b) SikaForce[®] 7888; c) Araldite[®] 2015.

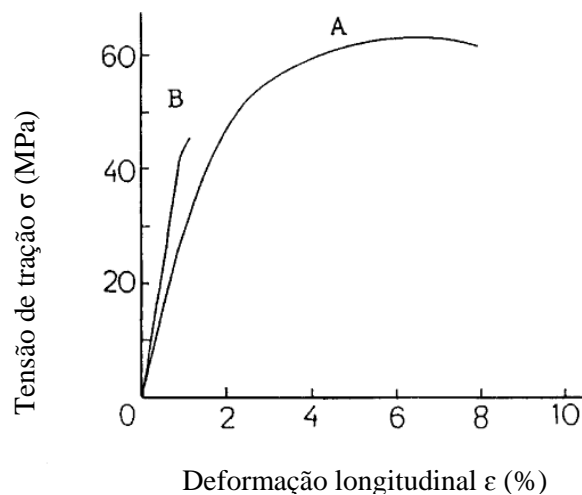


Figura 51 – Curvas típicas de tensão-deformação de um adesivo dúctil (A) e frágil (B). [60].

O Araldite[®] AV138 é um adesivo epóxico frágil, muito sensível a qualquer tipo de defeitos que o adesivo possua [32 e 33]. É comercializado em dois componentes, ou seja, resina de epóxico e endurecedor, apresentando excelente resistência à tração e ao corte, bem como a altas temperaturas e baixa tenacidade com cura à temperatura ambiente. Como se trata de um adesivo fornecido em bruto (1Kg de resina + 0,4 Kg de endurecedor) é necessário executar a mistura manual dos dois componentes na proporção correta (10 g de resina para 4 g de endurecedor) e recorrer ao uso de uma espátula para a aplicação do mesmo. Foi concebido para ligar diferentes tipos de materiais tais como metais, cerâmicos, vidro, borrachas e plásticos rígidos. É adequado a aplicações industriais que requerem resistência a ambientes agressivos e quentes. Pode também ser utilizado em produtos eletrônicos e em estruturas

aeroespaciais. As principais vantagens consistem na boa resistência química, utilização até temperaturas de 120°C e cura a temperaturas iguais ou superiores a 5°C [62].

O adesivo Araldite® 2015 é também um adesivo epóxico, de alta resistência e comportamento dúctil, constituído por 2 componentes (resina e endurecedor). Como é fornecido em bisnaga de 50 ml (25 ml de cada componente), para proceder à sua aplicação é necessário utilizar uma pistola de aplicação e bicos de mistura para garantir uma mistura homogénea dos dois componentes em quantidades iguais. Trata-se de um adesivo modificado com partículas de borracha, de modo a aumentar a tenacidade e a resistência ao arrancamento [63].

O SikaForce® 7888 é um adesivo dúctil de base poliuretano, altamente estrutural, que cura por reação química dos dois componentes após mistura no bico de deposição. Possui alta resistência, com boa adesão sobre uma grande variedade de substratos, que resiste a esforços dinâmicos, possui um elevado alongamento e boa resistência ao impacto. Para além disso cura, à temperatura ambiente, originando o rápido desenvolvimento da resistência, e permite um adequado tempo de trabalho [64]. É necessário o uso de uma pistola acionada por ar comprimido para a aplicação deste, uma vez que é fornecido em bisnaga de elevado volume (600 ml de cada componente). O SikaForce® 7888 combina a alta resistência de um epóxico com a ductilidade de um poliuretano, permitindo para grande parte das aplicações uma rotura em condições próximas da cedência generalizada [65].

Comparando o adesivo Araldite® AV138 com o Araldite® 2015, o Araldite® 2015 apresenta valores de tenacidade muito mais elevados, com resistências máximas ligeiramente inferiores ao Araldite® AV138. Para juntas com gradientes elevados de tensões consegue resistências mais elevadas, comparativamente ao Araldite® AV138, essencialmente devido à sua ductilidade [65].

Os adesivos estudados neste trabalho já foram previamente caracterizados em trabalhos distintos, cujos resultados se apresentam de forma resumida na Tabela 3. Estes, posteriormente serão utilizados como método de comparação e aferição dos procedimentos de fabrico e ensaio na presente dissertação (designadamente a capacidade do método de fabrico em produzir provetes isentos de vazios e da metodologia ótica na avaliação correta das deformações).

Tabela 3 – Propriedades dos adesivos utilizados neste trabalho.

	Araldite® AV138 [66]	Araldite® 2015 [67]	SikaForce® 7888 [65]
Módulo de Young à tração (GPa)	4,89±0,81	1,85±0,21	1,89±0,25
Tensão de Cedência à tração (MPa)	36,49±2,47	12,63±0,61	13,2±4,83
Tensão de Ruptura à tração (MPa)	39,45±3,18	21,63±1,61	28,6±2,0
Deformação de ruptura à tração (%)	1,21±0,10	4,77±0,15	43,0±0,6

De seguida estão representados os gráficos tensão-deformação dos adesivos utilizados na presente dissertação obtidos em trabalhos anteriores. Posteriormente vão ser consultados, assim como as características mecânicas, como meio de comparação dos resultados obtidos.

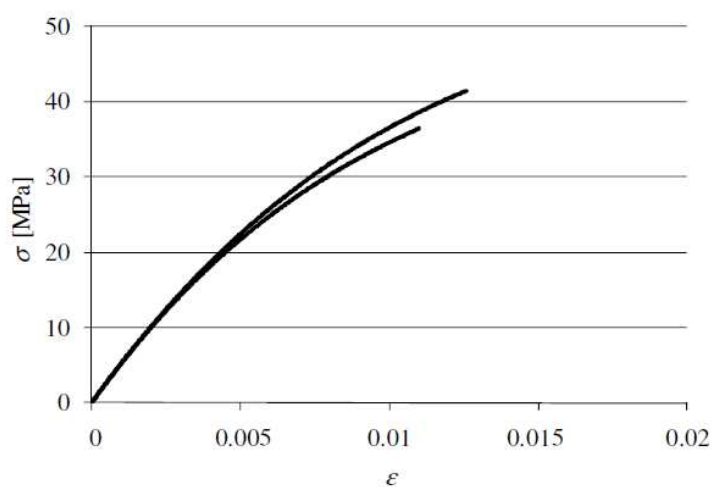


Figura 52 – Curvas tensão-deformação do adesivo Araldite® AV138 [66].

Na Figura 52 é possível observar o gráfico tensão-deformação relativa ao adesivo Araldite® AV138 (caracterizado no trabalho de Campilho et al. [66]). Importa referir que o ensaio decorreu à velocidade constante de 1 mm/min.

Já o adesivo Araldite® 2015 foi caracterizado no trabalho de Campilho et al. [68], onde foi adotada a velocidade constante de 1 mm/min. Estes autores obtiveram as seguintes curvas tensão-deformação representadas na Figura 53.

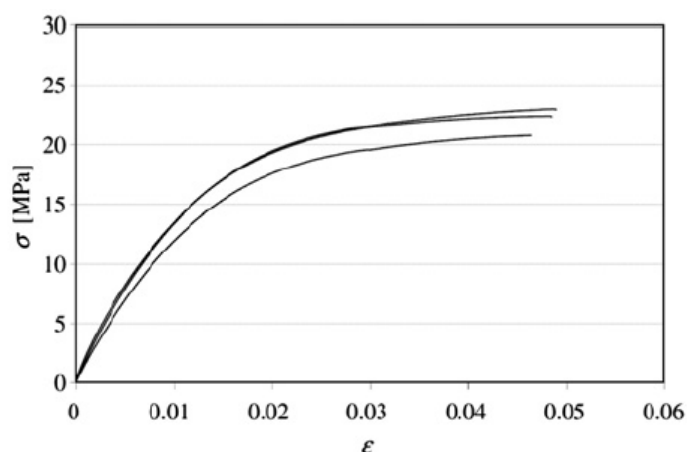


Figura 53 - Curvas tensão-deformação do adesivo Araldite® 2015 [68].

Na Figura 54 está ilustrado o exemplo da curva tensão-deformação relativa ao adesivo SikaForce® 7888, obtido no trabalho de Neto et al. [65]. Neste ensaio, os referidos autores utilizaram a velocidade constante de 1 mm/min.

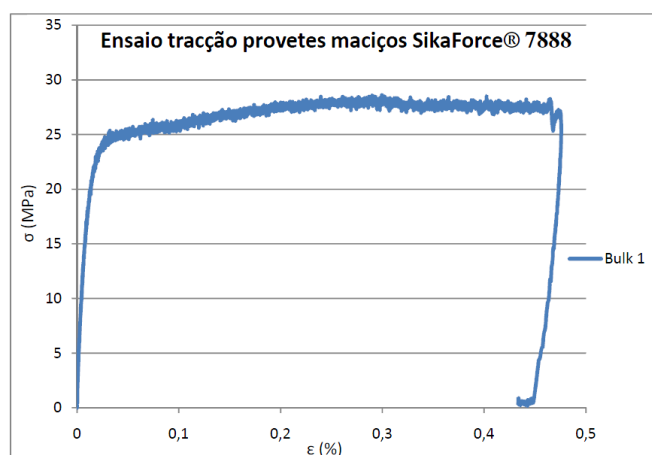


Figura 54 – Curva tensão-deformação do adesivo SikaForce® 7888 [65].

3.2.2 Preparação do molde

Antes de iniciar o processo de enchimento do molde foi necessário executar alguns procedimentos necessários para garantir a fácil desmoldagem, evitar a danificação dos provetes durante a extração, bem como a contaminação do molde.

O processo de preparação do molde foi iniciado com um desengorduramento, com papel embebido com acetona, de todas as superfícies em contacto com o adesivo, inclusivamente nos orifícios e nos contornos da placa intermédia (Figura 55). Com este procedimento pretende-se remover, por exemplo as gorduras presentes nas placas que permanecem após a maquinagem, mas também de outros tipos de sujidades, como o caso de poeiras, facilitando a fixação do desmoldante [14].



Figura 55 – Limpeza da placa intermédia com acetona.

Posteriormente o molde foi colocado num forno até estabilizar entre 40 – 50°C para a aplicação do desmoldante (Figura 56). Este procedimento é utilizado para permitir uma correta adesão deste às superfícies do molde, conforme é especificado na ficha técnica do desmoldante utilizado neste trabalho, o Loctite Frekote[®] 770-NC. [69].



Figura 56 – Aquecimento do molde.

De seguida, ainda com as placas constituintes do molde quentes, aplicou-se o desmoldante em todas as superfícies que posteriormente vão estar em contacto com o adesivo. Neste processo, foi necessário um especial cuidado em aplicar também o Loctite Frekote[®] 770-NC nos orifícios que são utilizados para o enchimento do adesivo e nos contornos da placa intermédia. Esta etapa foi repetida três vezes. Com este procedimento, que é bastante moroso, pretende-se evitar que o adesivo adira às superfícies do molde (Figura 57).



Figura 57 – Aplicação do desmoldante.

3.2.3 Aplicação do adesivo

3.2.3.1 Aplicação do adesivo Araldite® AV138 por moldação em molde aberto

Após a aplicação do desmoldante e arrefecimento do molde até à temperatura ambiente, procedeu-se com a execução do enchimento do mesmo. A primeira etapa consiste na preparação do adesivo, onde a proporção resina/endurecedor é de 10 g para 4 g, respetivamente [62]. De seguida, foi calculada a gramagem necessária para realizar o enchimento das seis cavidades do molde. Na execução do cálculo foi necessário determinar a diferença entre o volume da placa intermédia em bruto (sem as cavidades) e da mesma com as seis cavidades. Recorreu-se ao programa de desenhos 3D, o SolidWorks®, garantindo assim maior rigor na determinação do volume. Posteriormente multiplicou-se pela densidade do adesivo ($1,7 \text{ g/cm}^3$ [62]) e acrescentou-se um excesso de adesivo de 30%. Este é essencial para garantir que todas as cavidades ficam preenchidas após o enchimento do adesivo. Para garantir a quantidade de adesivo necessário foram então utilizadas 80 gramas de resina e 32 gramas de endurecedor.



Figura 58 – Aplicação do adesivo Araldite® AV138.

Para a quantificação destes valores, recorreu-se ao uso de uma balança digital. A mistura foi realizada num recipiente de plástico durante 2 minutos para garantir uma mistura

homogénea. Como se trata de um adesivo fornecido em bruto, a aplicação deste tem que ser processada por moldação em molde aberto com o recurso a uma espátula (Figura 58). Por forma a garantir que a placa intermédia não se movia aquando da aplicação do adesivo, foram aplicados os 4 parafusos, evitando-se assim o deslocamento desta aquando do enchimento. Nesta fase, torna-se importante preencher com adesivo toda a cavidade do molde. Com este procedimento pretende-se reduzir a probabilidade de defeitos que possam surgir internamente, visto que neste processo, este aparecimento é mais suscetível comparativamente com o método de injeção. Com o objetivo de contornar este obstáculo, finalizado o vazamento, procedeu-se à sua compactação manual com a espátula (Figura 59).



Figura 59 – Compactação manual do adesivo nas cavidades do molde.

Concluído o vazamento e a execução da compactação manual do adesivo, colocou-se a placa superior e procedeu-se ao aperto do molde, como é ilustrado na Figura 60. É possível verificar o aparecimento de bolhas de ar após o aperto de todo o conjunto. Esta é uma das vantagens na utilização deste método, comparativamente com o método de injeção. No método por injeção, as bolhas de ar ficam presas entre o adesivo aquando da injeção, ao contrário do método de moldação em molde aberto. Neste último caso, após efetuar a compactação do adesivo, as bolhas de ar são deslocadas até à superfície. Após a aplicação e aperto da placa superior do molde, estas são então expulsas pelos orifícios de respiro.

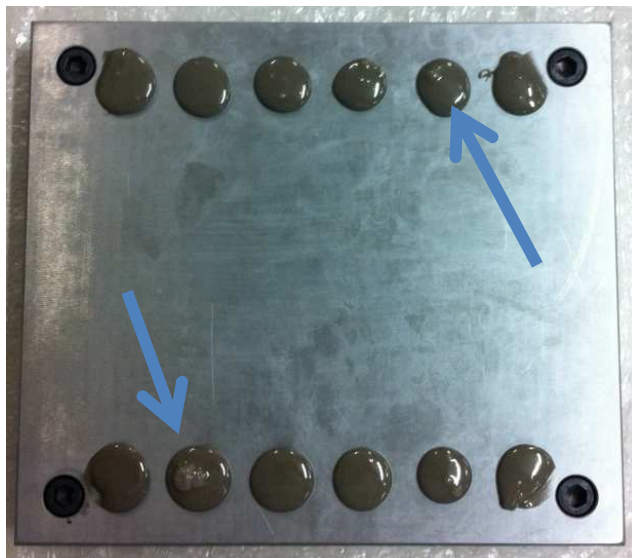


Figura 60 – Surgimento de bolhas de ar após aperto do molde.

3.2.3.2 Araldite® 2015 por moldação em molde aberto

Como se obteve bons acabamentos superficiais e ausência de vazios visíveis na obtenção de provetes do adesivo anterior pelo método de moldação em molde aberto, decidiu-se também usar este método para a obtenção dos corpos de prova do adesivo Araldite® 2015. De igual forma, como sucedido anteriormente, foi necessário realizar todo o processo de limpeza e aplicação do desmoldante. De seguida aplicou-se o adesivo através de uma pistola acionada manualmente, como se pode verificar na Figura 61.



Figura 61 – Aplicação do adesivo Araldite® 2015.

Tal como processado no capítulo anterior, voltou-se a fixar a placa intermédia à placa inferior com o recurso aos 4 parafusos, evitando-se assim o deslocamento desta aquando da aplicação do adesivo.

Por forma a tentar evitar o surgimento de vazios, originados pela acumulação de ar aquando da aplicação do adesivo, utilizou-se novamente uma espátula para efetuar a compactação do Araldite[®] 2015, como se observa na Figura 62. Importa referir que na execução do enchimento utilizou-se 110 g (75 ml, ou seja uma bisnaga e meia).



Figura 62 – Compactação do adesivo Araldite[®] 2015.

Após a aplicação do adesivo colocou-se a placa superior e estabeleceu-se o respetivo aperto do molde.

3.2.3.3 Aplicação do adesivo SikaForce[®] 7888 por injeção e por moldação em molde aberto

Após a aplicação do desmoldante e arrefecimento do molde até à temperatura ambiente, procedeu-se com a execução do enchimento do mesmo, com a utilização de uma pistola acionada por ar comprimido (Figura 63).



Figura 63 – Pistola acionada por ar comprimido utilizada para aplicação do adesivo SikaForce® 7888.

Para o processo de injeção o molde foi colocado na vertical, com injeção do adesivo em sentido ascendente. Com esta configuração pretende-se que a gravidade atue como uma força de compactação do adesivo à medida que a cavidade é enchida, para redução ou eliminação de porosidades (Figura 64). Para proceder à mistura é necessário recorrer a um bico injetor. Este é constituído por um tubo de plástico e possui pequenas pás, que funcionam como elementos de mistura [70 e 71].



Figura 64 – Injeção do adesivo SikaForce® 7888.

Para o enchimento do molde foi utilizado o orifício de maior diâmetro com o auxílio do bico injetor, ao passo que o orifício de menor diâmetro foi utilizado para permitir a saída do ar acumulado no interior do molde. Durante a execução desta tarefa, teve-se o cuidado de reduzir a pressão de injeção do adesivo, por forma a evitar o surgimento de vazios no provete. O processo de enchimento terminava imediatamente após o início da expulsão do adesivo pelo orifício de respiro (Figura 64).

Por forma a comparar o melhor método na obtenção de provetes de adesivo, já que pelo método de injeção os resultados não foram satisfatórios (como será explicado mais à frente no capítulo 3.2.4) decidiu-se recorrer ao processo por moldação em molde aberto para a obtenção de provetes do adesivo SikaForce[®] 7888. Por forma a garantir que a placa intermédia não se movesse aquando da aplicação do mesmo, voltou-se a fixa-la através da aplicação dos 4 parafusos (Figura 65).

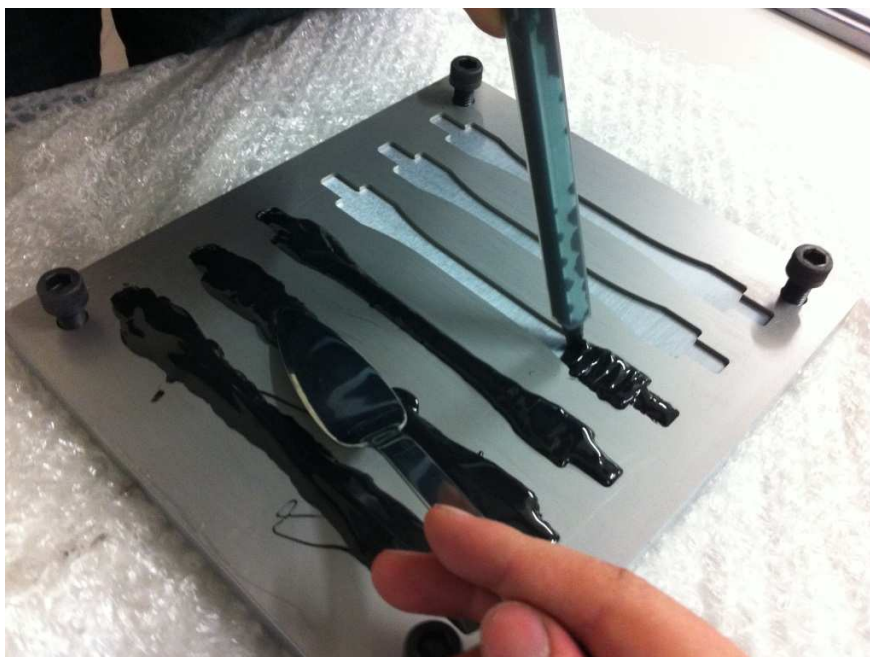


Figura 65 – Aplicação do adesivo SikaForce[®] 7888 por moldação em molde aberto.

Na Figura 65 é possível observar o uso de uma espátula utilizada para espalhar o adesivo por toda a cavidade do molde, assim como efetuar a compactação do adesivo. Este procedimento tem a finalidade de reduzir a probabilidade de aparecimento de vazios que possam surgir após o processo de cura. O SikaForce[®] 7888 foi aplicado em excesso por forma

a garantir que todos os contornos da placa intermédia eram preenchidos após a aplicação da placa superior. Na Figura 66 observa-se a conclusão do enchimento do molde. De seguida executou-se o aperto do mesmo.



Figura 66 – Finalização do processo de enchimento do adesivo SikaForce[®] 7888.

3.2.4 Cura dos adesivos

3.2.4.1 Cura do adesivo Araldite[®] AV138

O adesivo Araldite[®] AV138 curou à temperatura ambiente durante uma semana. Após abertura do molde, verificou-se que todos os provetes se encontravam em excelentes condições a nível superficial, como se observa na Figura 67, visto que não se verificava a presença de poros. De seguida procedeu-se à extração dos provetes. Neste caso esta tarefa foi mais simples, contrariamente aos restantes adesivos, pois como se trata de uma adesivo frágil, este partiu na zona dos orifícios de enchimento.

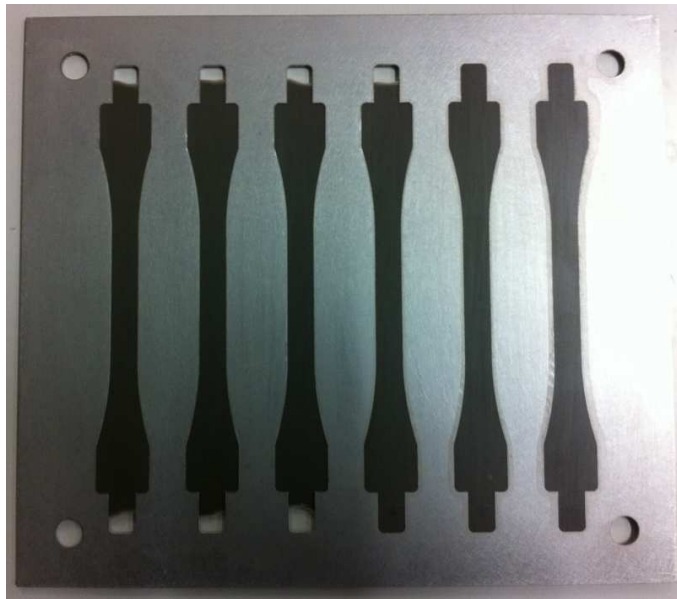


Figura 67 – Provets de adesivo Araldite® AV138 após processo de cura.

3.2.4.2 Cura do adesivo Araldite® 2015

Como sucedido com o adesivo anterior, o Araldite® 2015 também curou durante uma semana à temperatura ambiente. Após o processo de cura e posterior abertura do molde, verificou-se que todos os provets apresentavam uma excelente qualidade superficial, apesar de ser possível a observação de alguns vazios internos em todos os provets (Figura 68).



Figura 68 – Adesivo Araldite® 2015 após processo de cura.

De seguida procedeu-se à extração dos provetes com bastante cuidado, por forma a não causar qualquer tipo de dano na estrutura dos mesmos.

3.2.4.3 Cura do adesivo SikaForce® 7888 por injeção

O SikaForce® 7888, tal como sucedido com os adesivos anteriores, curou com as mesmas condições. Após todo este processo, executou-se a extração dos provetes, tarefa que se tornou bastante difícil, pois o adesivo aderiu às superfícies dos orifícios. Este problema poderá ser atribuído à demasiada rugosidade presente nos furos de enchimento e de respiro. Após a análise de cada provete, chegou-se à conclusão que apenas três provetes se encontravam com bom acabamento superficial e com ausência de vazios visíveis. Já os restantes surgiram com vários vazios na superfície. Na Figura 69 é possível observar os provetes após a extração do molde. Já nas Figuras 70 e 71 verifica-se os principais defeitos na superfície dos mesmos.



Figura 69 – Provetes obtidos por injeção após extração do molde.



Figura 70 – Superfície lateral de um provete com vazios.



Figura 71 – Vazio na superfície de um dos provetes.

3.2.4.4 Cura do adesivo SikaForce[®] 7888 por moldação em molde aberto

De igual forma, como sucedido com os provetes do adesivo SikaForce[®] 7888 obtido por injeção, o mesmo adesivo, mas neste caso obtido por moldação em molde aberto curou nas mesmas condições. Após a abertura do molde, verificou-se que todos os provetes apresentavam um excelente acabamento. Na Figura 72 é possível observar os provetes após a abertura do molde, concluindo-se assim que, na obtenção de provetes de adesivo, por moldação em molde aberto, estes apresentam um excelente acabamento.

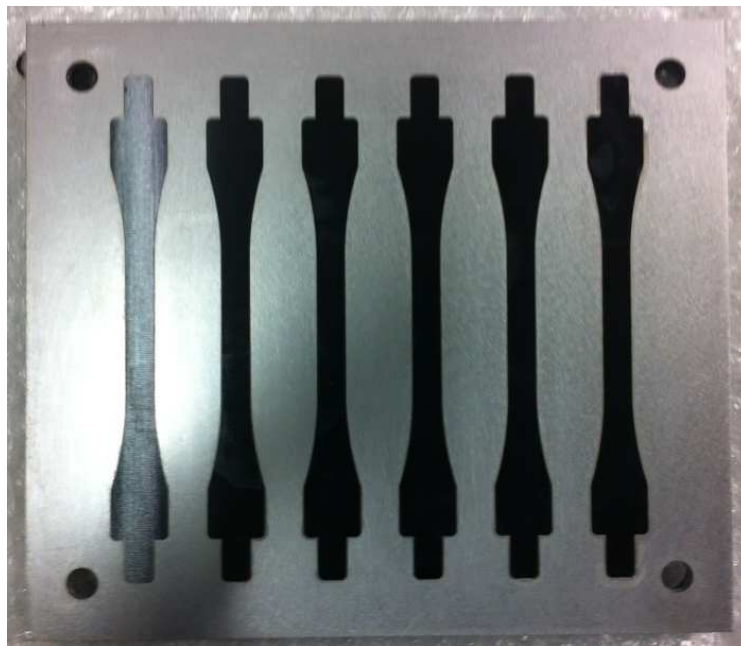


Figura 72 – Provetes de adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto.

3.3 Ensaios de tração

Os ensaios de tração foram executados na máquina universal de ensaios Shimadzu Autograph AG-X 100 provida do software TRAPEZIUM X (Figura 73) instalada no Laboratório de Ensaios mecânicos do ISEP. Para a execução das medições da força aplicada foi utilizada uma célula de carga de 100 kN. A inexistência de escorregamentos durante o ensaio foi garantida através da utilização de amarras de cunha do mesmo fabricante do equipamento. Numa primeira fase, foram ensaiados três provetes de cada adesivo, com o recurso a um extensómetro mecânico. Já para os restantes as deformações longitudinais foram medidas através de um extensómetro ótico. Dado o elevado número de provetes que seriam submetidos aos ensaios, foi conveniente identificá-los um a um, por forma a facilitar a identificação após conclusão dos testes de tração (Figura 74).



Figura 73 – Máquina universal de ensaios Shimadzu Autograph AG-X 100.

Posteriormente a espessura e a largura da zona útil dos provetes foram medidas com um paquímetro digital. Com este procedimento pretende-se obter a área real da secção do provete, adquirindo-se assim resultados mais precisos na obtenção das características mecânicas dos provetes.

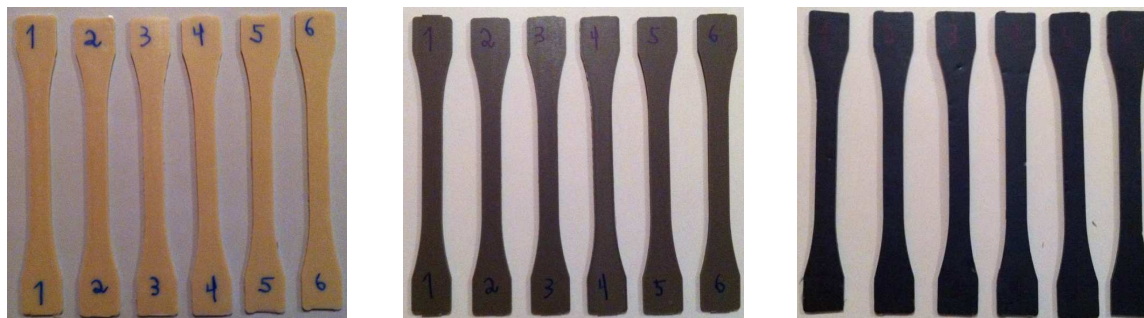


Figura 74 – Corpos de prova utilizados nos ensaios de tração.

3.3.1 Condições de ensaio

A realização dos ensaios de tração iniciou-se com a calibração do equipamento. Para isso foram utilizados os provetes de adesivo obtidos por injeção (SikaForce[®] 7888), ou seja, os corpos de prova que apresentavam vários vazios. Foram adotadas duas velocidades de ensaios, a primeira a 1 mm/min para a obtenção do módulo de elasticidade e a segunda a 4 mm/min para a determinação das propriedades de resistência. Esta última era selecionada logo após a passagem do regime elástico dos provetes, já a distância entre amarras foi de 100 mm. O extensômetro mecânico utilizado tem um comprimento-base de 50 mm (L_e) e foi colocado no provete com o máximo cuidado para não danificar o mesmo, devido à pouca espessura que este apresentava. Foi necessário regular o sistema de pinças do extensômetro para a menor espessura, garantindo-se assim a ausência de escorregamento e obtendo uma melhor resolução na medição.

A segunda velocidade adotada, de 4 mm/min, foi utilizada para os dois adesivos dúcteis o SikaForce[®] 7888 e o Araldite[®] 2015, sendo o extensômetro retirado do provete após se obter um alongamento de 0,5 mm. Na execução dos ensaios dos provetes do adesivo Araldite[®] AV138, teve-se o cuidado de modificar alguns parâmetros, nomeadamente em relação ao alongamento necessário para retirar o provete e à velocidade de ensaio, pois estava-se na presença de um adesivo frágil. A velocidade de ensaio foi de 1 mm/min, sendo o extensômetro retirado após um alongamento de 0,25 mm.

Na utilização do extensômetro ótico, e antes de iniciar os ensaios, foi necessário realizar a calibragem do equipamento com o uso de padrões adequados. Estes são utilizados para dar referência de medição à máquina de ensaios, como ilustrado na Figura 75. Após este processo, iniciou-se os ensaios a uma velocidade constante de 1 mm/min. Neste caso, devido

à pouca experiência no manuseamento deste equipamento, voltou-se a utilizar os provetes do adesivo SikaForce[®]7888, obtidos por injeção, pelas razões acima referidas. Importa referir que os ensaios foram realizados à temperatura ambiente.



Figura 75 – Padrão utilizado na calibração do extensómetro ótico.

3.3.2 Medição das deformações

Na determinação das diferentes propriedades mecânicas foram utilizados dois tipos de extensómetros: um mecânico (Figura 76) e um ótico (Figura 77). Deste modo, após realização dos ensaios e posterior tratamento de dados, é possível averiguar, caso os provetes se encontrem com características idênticas, a existência de algum desfasamento entre as medições realizadas por estes diferentes equipamentos.

3.3.2.1 Extensometria mecânica

O extensómetro mecânico foi o primeiro dispositivo de medições de deslocamentos a ser desenvolvido [72]. Na Figura 76 está ilustrado o extensómetro que foi utilizado durante os

ensaios de tração. Trata-se de um extensómetro de contacto, com um comprimento-base de 50 mm. Quando se recorre a este tipo de equipamento é importante retirá-lo assim que é ultrapassado o regime elástico, com o objetivo de não o danificar. Posteriormente, através da utilização de uma folha de cálculo (Microsoft Excel[®]) executou-se todo o tratamento de dados, por forma a identificar o módulo de elasticidade, a tensão limite de cedência, a tensão de rotura e a deformação de rotura.



Figura 76 – Extensómetro mecânico utilizado durante o ensaio de tração.

3.3.2.2 Correlação de imagem

Na engenharia e no projeto de estruturas requer-se conhecimento das características mecânicas dos materiais, e para isso é de enorme importância utilizar-se técnicas de medição rigorosas [73]. Uma dessas técnicas passa pela utilização de extensómetros óticos (Figura 77). A precisão dos extensómetros óticos deve-se à excelente resolução nas medições efetuadas por este equipamento, assim como à ausência de contacto com os provetes. Outra vantagem está associada ao seu curso, pois, com a utilização deste tipo de extensómetros é possível utilizá-los até à rotura do provete [25, 28 e 48]. Importa referir que o extensómetro utilizado neste trabalho (Shimadzu Non-Contact Digital Video Extensometer – TRView X 500 D) executa medições de deslocamento até 500 mm [74].



Figura 77 – Extensómetro ótico utilizado.

A técnica da extensometria ótica é dividida em três etapas [73]:

1. Calibragem do equipamento;
2. Preparação da amostra (onde são devidamente coladas as marcas (etiquetas) sobre a superfície dos provetes, assim como garantir a sua permanência durante o ensaio, como se verifica na Figura 78);
3. Aquisição dos dados do ensaio;
4. Análise dos dados.



Figura 78 – Provette com as marcas coladas no corpo do provete.

3.4 Resultados obtidos

Para o cálculo do módulo de elasticidade recorreu-se à norma para plásticos, a EN ISO 527-2 [29]. Esta recomenda a seleção no gráfico de dois pontos, de preferência entre 0,05% e

0,25% da deformação, pois trata-se de uma gama de valores coincidentes com a zona elástica das curvas tensão-deformação. Deste modo, o módulo de elasticidade foi obtido através da equação 1 seguinte:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon}$$

Na equação apresentada, $\Delta\sigma$ representa a diferença da tensão aplicada entre os pontos 0,05% e 0,25% e $\Delta\varepsilon$ a variação da deformação entre os pontos 0,05% e 0,25%.

A tensão limite de elasticidade ($\sigma_{0,2}$) foi obtida a 0,2% da reta tangente à curva tensão-deformação na zona elástica.

A tensão máxima, admitida como tensão de rotura, foi calculada pela razão entre a força máxima e a secção inicial do provete, com a utilização da seguinte expressão:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Equação 6}$$

onde F corresponde à força máxima aplicada e A a área da secção inicial do provete. A deformação de rotura foi calculada com a utilização da seguinte equação:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \text{ onde } \Delta l = l - l_0 \quad \text{Equação 7}$$

na qual, l_0 representa o comprimento entre referências (mm) e l o comprimento final do provete após rotura (mm). Δl corresponde à variação de deslocamento durante o ensaio.

3.4.1 Resultados obtidos com a utilização do extensómetro mecânico

3.4.1.1 Adesivo Araldite® AV138

3.4.1.1.1 Curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$

Após realização dos ensaios de tração, procedeu-se com os respetivos tratamentos de dados. Na Figura 79, observa-se as curvas $P-\delta$, já na Figura 80 apresentam-se as curvas $\sigma-\varepsilon$ dos provetes do adesivo Araldite® AV138. Na observação de ambos os gráficos, é perceptível a existência de uma descontinuidade nas curvas (por volta dos 400 N da curva $P-\delta$), correspondente ao momento em que o extensómetro é retirado do provete. Em comparação com os resultados de Campilho et al. [66] (Figura 52 da página 57), observa-se que no

presente trabalho se obteve uma tensão de rotura bastante inferior (37,7 %). Relativamente à deformação de rotura, obteve-se um valor ligeiramente superior. No capítulo 3.4.1.1.3 é feita uma análise mais aprofundada dos valores obtidos para as propriedades mecânicas. De referir que o ensaio decorreu à velocidade constante de 1 mm/min.

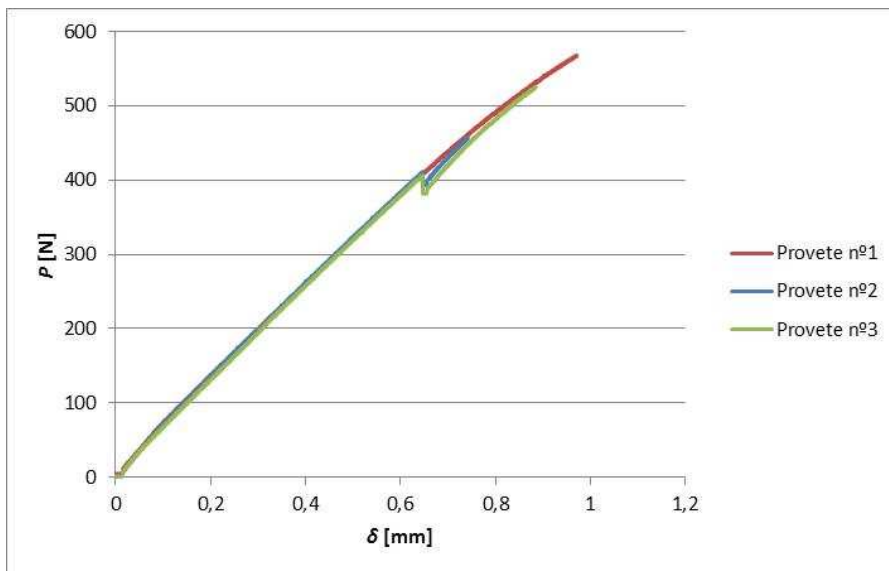


Figura 79 – Curvas P - δ dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® AV138.

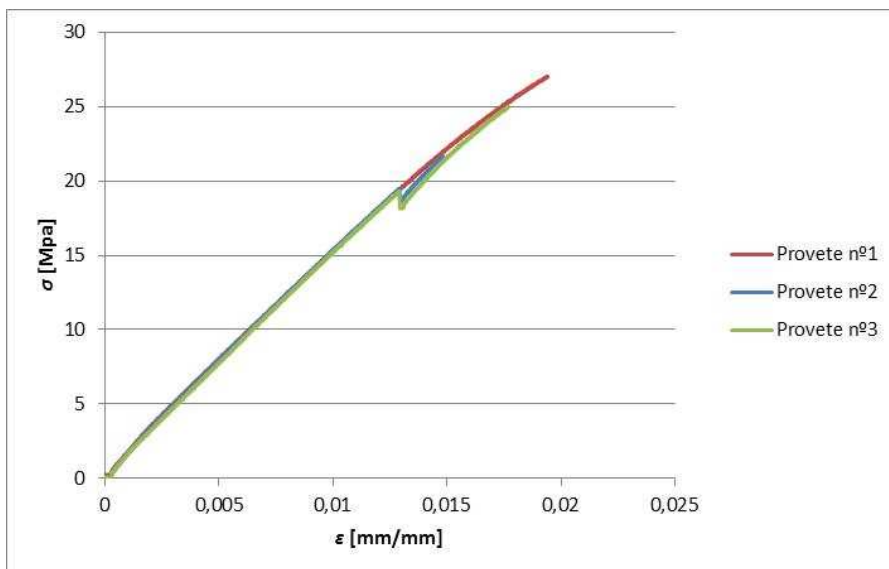


Figura 80 – Curvas σ - ϵ dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® AV138.

3.4.1.1.2 *Propriedades mecânicas*

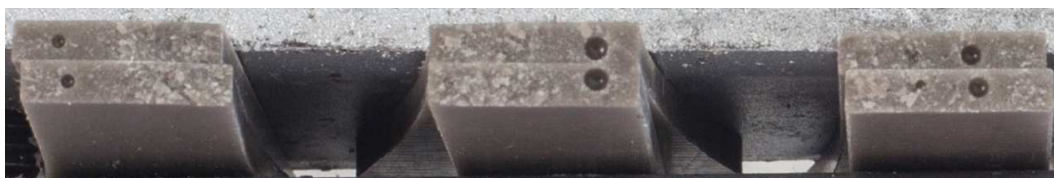
As propriedades mecânicas à tração dos provetes de adesivo Araldite® AV138, assim como os resultados obtidos por Campilho et al. [66], estão representados na Tabela 4.

Tabela 4 – Propriedades à tração do adesivo Araldite® AV138 adquiridas com a utilização do extensômetro mecânico.

Propriedades	Resultados	Resultados obtidos por Campilho et al. [66]
Módulo de Young, E (GPa)	4,04±0,03	4,89±0,81
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	25,26±2,42	36,49±2,47
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	25,26±2,42	39,45±3,18
Deformação de rotura à tração, ε (%)	1,73±0,23	1,21±0,10

3.4.1.1.3 *Análise dos resultados*

Em análise às propriedades mecânicas à tração do adesivo Araldite® AV138, conclui-se que, em comparação com os resultados obtidos por Campilho et al. [66], existem diferenças bastante significativas. As características mecânicas, nas quais se verificam uma maior discrepância dos resultados são a tensão limite elástico e a tensão de rotura à tração. Um fator que contribuiu significativamente na obtenção deste desfasamento deve-se à temperatura de cura do adesivo [62]. A presença de poros, como se constata na Figura 81, na superfície de fratura dos provetes 1, 2 e 3, contribuído, de igual forma para a obtenção destes valores inferiores. Já a característica mecânica onde é visível uma maior proximidade é no módulo de elasticidade, pois no trabalho dos referidos autores, estes obtiveram uma ligeira dispersão dos valores obtidos (0,81 GPa), no entanto é notória uma ligeira diferença. Um fator que pode ter contribuído para um desfasamento significativo destas propriedades deve-se possivelmente à presença de humidade nos provetes. Esta provoca uma diminuição significativa da tensão limite elástico, da tensão de rotura e do módulo de Young, acompanhado por um aumento da ductilidade [76 e 77]. No presente trabalho decidiu-se considerar a tensão limite de elasticidade como sendo a tensão de rotura. Nas Figuras 81 e 82 estão representados as superfícies de fratura, assim como os provetes após realização do ensaio de tração, respetivamente.



Provete nº1

Provete nº2

Provete nº3

Figura 81 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® AV138.



Figura 82 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® AV138 após realização do ensaio de tração.

Na análise da Figura 82, verifica-se que os provetes sofreram fratura na zona calibrada, validando-se deste modo os valores da tensão de rotura, apesar de se constatar a presença de vazios. Em relação às superfícies de fratura (Figura 81) é visível a presença de poros, cujas dimensões são muito idênticas à exceção do provete 1, que apresenta um vazio de pequena dimensão comparativamente com o 2 e 3. Pelo gráfico da Figura 80, é visível que este possui uma tensão máxima e deformação superiores, comparativamente com as curvas dos restantes, que apresentam vazios de tamanho superior.

3.4.1.2 Adesivo Araldite® 2015

3.4.1.2.1 Curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$

Na Figura 83 pode-se observar as curvas $P-\delta$, ao passo que na Figura 84 estão representadas as curvas $\sigma-\varepsilon$ dos provetes de adesivo Araldite® 2015. Na observação de ambos os gráficos, é perceptível a existência de duas discontinuidades nas curvas, tal como sucedido na obtenção das curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$ do adesivo Araldite® AV138 e cuja justificação é idêntica. A primeira discontinuidade (por volta dos 300 N da curva $P-\delta$) diz respeito ao momento em que o extensómetro é retirado do provete. Já a segunda (compreendida entre 400 e 500 N da curva $P-\delta$) corresponde ao instante em que é alterada a velocidade de ensaio de 1 mm/mim para 4

mm/min. Comparativamente com o gráfico obtido por Campilho et al. [68] (Figura 53 da página 58) verifica-se que as curvas σ - ε obtidas no presente trabalho são muito idênticas às obtidas no trabalho dos referidos autores. Deste modo, pode-se concluir que, apesar da existência das discontinuidades presentes em ambas as curvas dos gráficos, estas não interferiram com os valores obtidos.

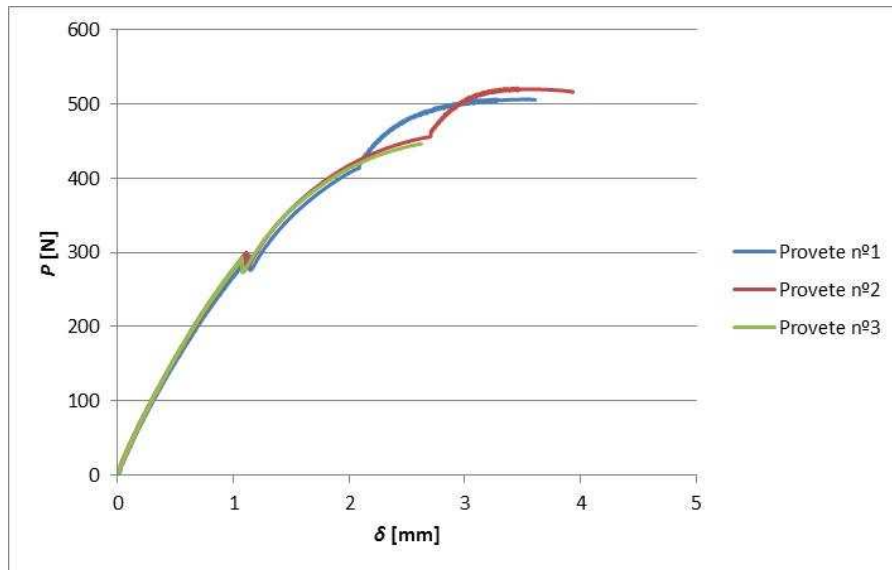


Figura 83 – Curvas P - δ dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® 2015.

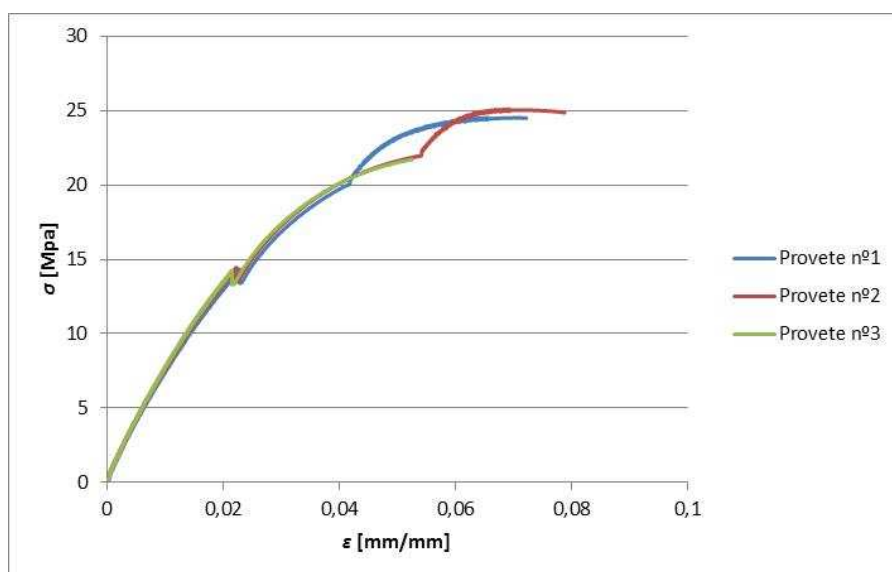


Figura 84 – Curvas σ - ε dos provetes 1, 2 e 3 obtidos do adesivo Araldite® 2015.

3.4.1.2.2 *Propriedades mecânicas*

Na determinação das propriedades mecânicas do adesivo Araldite® 2015, recorreu-se às fórmulas especificadas no início deste capítulo. As propriedades apresentam-se na Tabela 5.

Tabela 5 – Propriedades à tração do adesivo Araldite® 2015 adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico.

Propriedades	Resultados	Resultados obtidos por da Silva et al. [67]
Módulo de Young, E (GPa)	1,73±0,03	1,85±0,21
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	16,36±0,37	12,63±0,61
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	24,72±1,86	21,63±1,61
Deformação de rotura à tração, ε (%)	6,78±1,37	4,77±0,15

3.4.1.2.3 *Análise dos resultados*

Após realização do tratamento dos dados constata-se que os resultados obtidos no presente trabalho são muitos idênticos aos obtidos no trabalho de da Silva et al. [67], apesar da existência das descontinuidades presentes em ambas as curvas. A única exceção é a tensão limite elástico, já que no presente trabalho se obteve um valor superior, cerca de 23 %. A interrupção do ensaio para retirar o extensómetro do provete e posterior reiniciação do mesmo pode ter originado num aumento dos valores desta característica mecânica. Verifica-se também que foram obtidos valores superiores da tensão de rotura e da deformação, apesar de se constatar a presença de alguns vazios na superfície de fratura dos provetes, como se verifica na Figura 85. O valor obtido da tensão de rotura, embora ligeiramente superior, comparativamente com os valores obtidos por da Silva et al. [67], poderá ser atribuído à segunda velocidade de ensaio adotada (no segundo estágio do ensaio) [75]. Já a obtenção de uma maior deformação pode ser imputada ao fabrico dos provetes, ou ao manuseamento destes durante a extração do molde.

Na Figura 85 estão representas as superfícies de fratura, ao passo que na Figura 86 estão ilustrados os provetes do adesivo Araldite® 2015 após rotura.



Provete nº1

Provete nº2

Provete nº3

Figura 85 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® 2015.

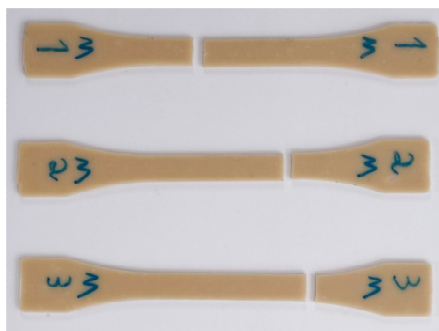


Figura 86 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo Araldite® 2015 após realização do ensaio de tração.

Na análise da Figura 86, verifica-se que os provetes sofreram fratura na zona útil, validando-se deste modo os valores da tensão de rotura, apesar de ser visível a presença de poros nas superfícies de fratura dos provetes. Analisando as superfícies de fratura constata-se que o provete 2 não possui praticamente nenhum vazio, o que originou a obtenção de uma maior deformação de rotura, como se verifica na Figura 84. Já o provete 3 possui um vazio de dimensões superiores, o que fez com que obtivesse uma deformação de rotura inferior, comparativamente com o provete 1. É possível observar na Figura 84 que as discontinuidades correspondentes à mudança de velocidade estão desfasadas umas das outras. Deste modo é possível afirmar que a mudança da velocidade de ensaio pode ter interferido de alguma forma na obtenção dos valores das propriedades mecânicas, à exceção do Módulo de Young.

3.4.1.3 Adesivo SikaForce® 7888 obtido por moldação em molde aberto e por injeção

Neste capítulo será feita uma análise comparativa aos resultados obtidos através do ensaio dos provetes relativos ao adesivo SikaForce® 7888, obtidos por moldação em molde aberto e por injeção. Esta análise é realizada por forma a averiguar qual o método que confere aos provetes melhores características mecânicas.

3.4.1.3.1 Curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$

Na Figura 87 estão representadas as curvas $P-\delta$ dos provetes de adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto, ao passo que na Figura 88 estão ilustradas as curvas $\sigma-\varepsilon$. Como já foi referido, os provetes de adesivo obtidos por este método obtiveram melhor acabamento superficial comparativamente com os obtidos por injeção. Posteriormente é realizada a análise de resultados, por forma a averiguar se os provetes que apresentaram melhor acabamento superficial também obtiveram melhores propriedades mecânicas. Face ao sucedido com os provetes dos adesivos anteriores obteve-se novamente descontinuidades em ambas as curvas, correspondentes aos momentos em que se retira o extensómetro dos provetes e à alteração da velocidade do ensaio. No entanto, esta apenas foi utilizada para os provetes 2 e 3, pois no decorrer dos ensaios houve um erro humano o que provocou a não alteração da velocidade de ensaio de 1 mm/min para 4 mm/min do provete 1.

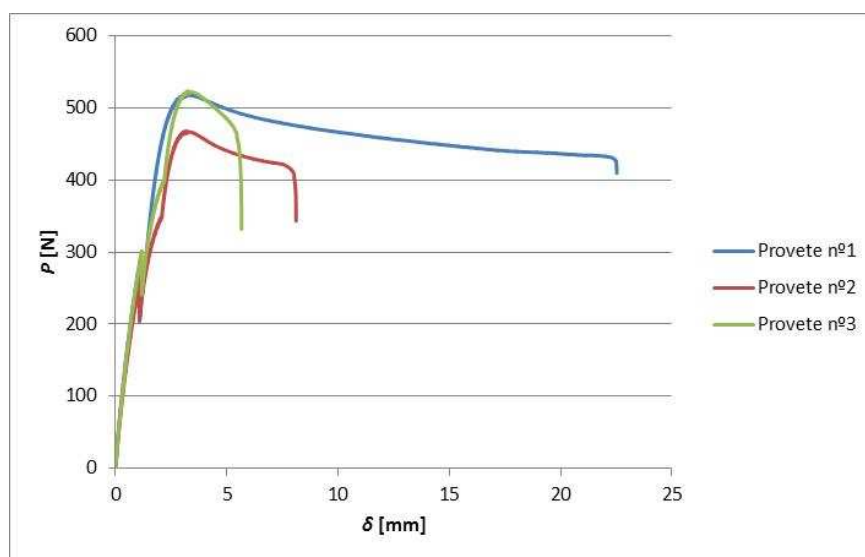


Figura 87 – Curvas $P-\delta$ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto.

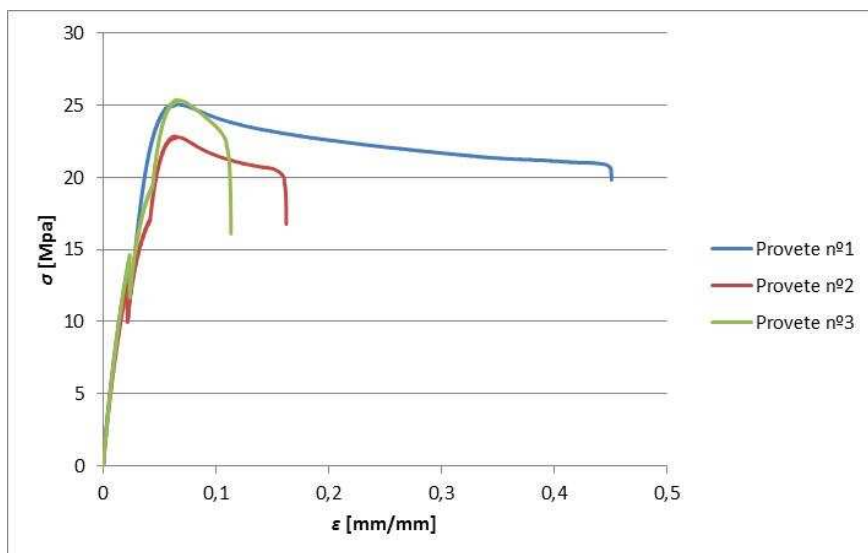


Figura 88 – Curvas σ - ϵ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto.

As figuras seguintes (Figura 89 e Figura 90) correspondem às curvas P - δ e σ - ϵ , respectivamente, dos provetes do adesivo SikaForce[®] 7888 obtido por injeção. Face à obtenção de descontinuidades nas curvas e às divergências entre os valores obtidos para as propriedades mecânicas dos provetes do adesivo Araldite[®] 2015 no presente trabalho, comparativamente com os adquiridos no trabalho de da Silva et al. [67], estes ensaios decorreram à velocidade constante de 1 mm/min.

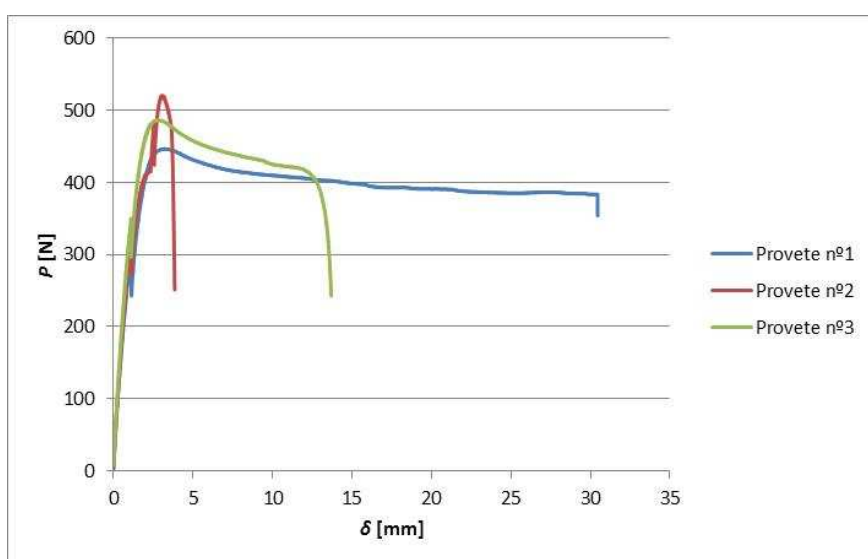


Figura 89 – Curvas P - δ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por injeção.

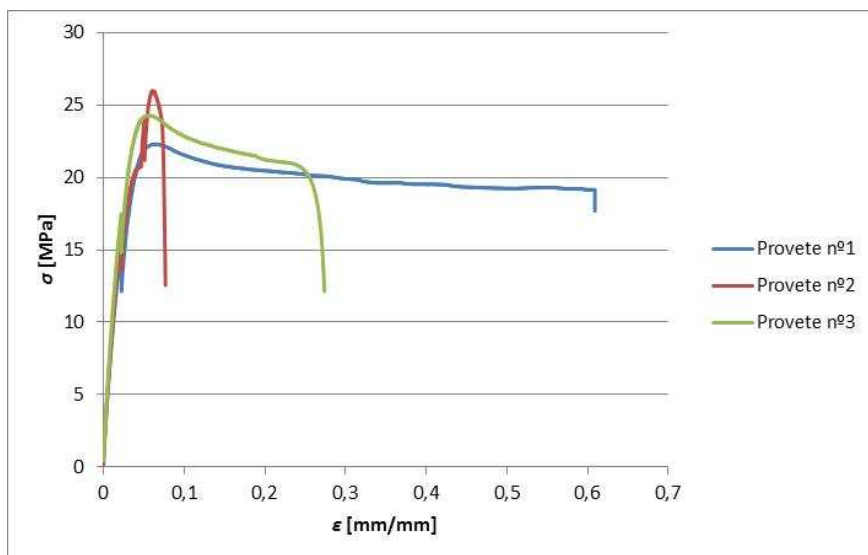


Figura 90 – Curvas σ - ϵ dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por injeção.

Em análise aos respetivos gráficos, verifica-se que os provetes obtidos por injeção em molde fechado atingiram uma deformação após rotura superior, face aos obtidos por moldação em molde aberto. Relativamente à tensão máxima constata-se que os corpos de prova obtidos por ambos os métodos alcançaram um valor muito idêntico. É perceptível a existência de uma quebra nas curvas P - δ e σ - ϵ do provete 2 (Figura 89 e 90). Um deficiente aperto das maxilas de fixação dos provetes e respetivo reaperto durante o ensaio, ou um erro nos valores lidos pelo equipamento durante o ensaio pode ser o motivo desta alteração brusca do comportamento da curva. No capítulo 3.4.1.3.3 é feita uma análise mais aprofundada das propriedades mecânicas dos provetes obtidos pelos dois métodos, assim como a comparação com os resultados obtidos no trabalho de Neto et al. [65].

3.4.1.3.2 *Propriedades mecânicas*

Na Tabela 6 estão representados os dados obtidos através do ensaio dos provetes do adesivo SikaForce[®] 7888. Na mesma é feita uma análise comparativa dos resultados dos provetes obtidos pelos dois métodos de fabricação de provetes de adesivo, por moldação em molde aberto e por injeção, assim como é executada a comparação entre os resultados relatados no trabalho de Neto et al. [65].

Tabela 6 – Propriedades à tração do adesivo SikaForce® 7888 adquiridas através da utilização do extensômetro mecânico.

Propriedades	Moldação em molde aberto	Injeção	Resultados obtidos por Neto et al. [65]
Módulo de Young, E (GPa)	1,79±0,11	2,05±0,11	1,89±0,25
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	17,97±4,26	18,90±1,62	13,2±4,83
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	24,44±1,38	24,21±1,86	28,6±2,0
Deformação de rotura à tração, ε (%)	45,05	60,91	43±0,6

3.4.1.3.3 Análise dos resultados

Nas imagens seguintes estão representados os provetes obtidos pelos dois processos de fabrico, por injeção em molde fechado e por moldação em molde aberto. Na Figura 91 é possível constatar as superfícies de fratura dos provetes obtidos por moldação em molde aberto, enquanto que na Figura 92 são exibidos os provetes obtidos pelo mesmo processo, após a realização dos ensaios de tração. Já na Figura 93 estão representadas as superfícies de fratura dos provetes obtidos por injeção, ao passo que na Figura 94 estão ilustrados os provetes obtidos pelo mesmo processo após os referidos ensaios.



Provete nº1

Provete nº2

Provete nº3

Figura 91 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por moldação em molde aberto.

É visível no provete 1, que a presença de poros é muito reduzida, o que corresponde à obtenção de uma maior deformação, como se observa no gráfico da Figura 88. No entanto, como o ensaio foi realizado à velocidade constante de 1 mm/min, esta particularidade, de certa forma, contribuiu para a obtenção de uma deformação de rotura superior, comparativamente com os restantes.

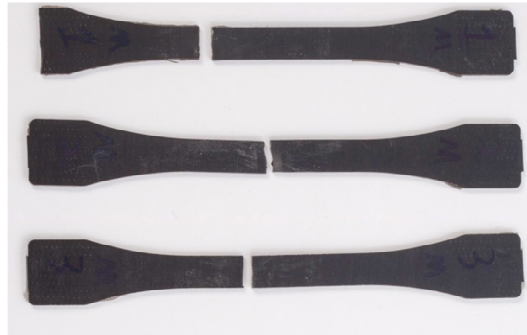


Figura 92 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto após realização do ensaio de tração.

Quanto aos provetes 2 e 3, observa-se que a amostra 2 possui dois poros, o que originou a obtenção de uma tensão máxima inferior, comparativamente com o provete 3.



Provete nº1

Provete nº2

Provete nº3

Figura 93 – Superfícies de fratura dos provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por injeção.

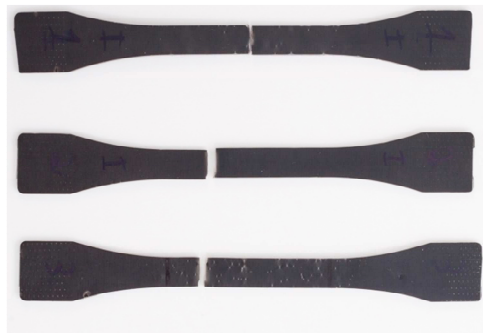


Figura 94 – Provetes 1, 2 e 3 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por injeção após realização do ensaio de tração.

Na análise da Figura 94, verifica-se que os provetes sofreram fratura na zona calibrada, validando-se assim os valores da tensão de rotura, apesar de se constatar a presença de poros. Na comparação entre as superfícies de fratura e as respetivas curvas (Figura 89 e 90) dos provetes de adesivo 1, 2 e 3 obtidos por injeção, é visível que o provete 2, devido ao poro presente na estrutura obteve uma deformação inferior, comparativamente com os restantes. Já os dois vazios que se observam na superfície de fratura do provete 3 podem ter contribuído para a obtenção de uma deformação de rotura inferior, comparativamente com o provete 1.

Comparando os resultados do presente trabalho com os obtidos no trabalho de Neto et al. [65], verifica-se a existência de dissemelhanças em relação a algumas propriedades mecânicas. Devido à elevada dispersão obtida na deformação de rotura, quer nos ensaios dos provetes obtidos por moldação em molde aberto, quer por injeção, apenas foram contabilizados os resultados dos provetes 1 de ambos os métodos. No caso dos provetes obtidos por moldação em molde aberto, a elevada dispersão deve-se sobretudo à utilização de velocidades de ensaio diferentes, como já referido. Já o desfasamento nos resultados dos provetes obtido por injeção deveu-se à presença de vazios de diferentes dimensões, como se observa na Figura 93. Constata-se que o provete obtido por moldação em molde aberto, e cujo o ensaio decorreu à velocidade constante de 1 mm/min, apresentou um valor semelhante ao obtido na bibliografia consultada. A obtenção de uma deformação de rotura superior, no caso do provete obtido por injeção, comparativamente aos resultados relatados pelos referidos autores, pode ser atribuída provavelmente a alguma degradação do lote de adesivo utilizado. Em relação ao módulo de elasticidade verifica-se que os provetes obtidos por injeção atingiram um valor ligeiramente superior, comparativamente com os obtidos por moldação em molde aberto. Observa-se ainda, em comparação com o valor obtido pelos referidos autores, que os valores do módulo de elasticidade obtidos no presente trabalho estão bastante enquadrados com o do referido autor. Quanto à tensão limite elástico é notória alguma divergência entre valores. Em relação à tensão de rotura, verifica-se que os valores obtidos por ambos os métodos são ligeiramente inferiores aos obtidos por Neto et al. [65]. Novamente a presença de vazios pode ter motivado este desfasamento. Em relação às superfícies de fratura dos provetes obtidos pelos diferentes processos, verifica-se que os provetes obtidos por injeção, apesar da presença de vazios de grandes dimensões, apresentam uma estrutura mais compactada (Figura 93), comparativamente com os obtidos por moldação em molde aberto (Figura 91). É visível a presença de um ou mais vazios nas superfícies de fratura dos provetes obtidos por moldação, além de ser visível a presença de vazios de tamanho reduzido.

3.4.2 Resultados obtidos com a utilização do extensómetro ótico

Na determinação das propriedades à tração dos respetivos adesivos com o recurso ao extensómetro ótico, foi adotada a velocidade constante de 1 mm/min. Com a utilização desta velocidade de ensaio, pretende-se aproximar os valores obtidos com os relatados em outros trabalhos, realizados em condições semelhantes, pois com a utilização de duas velocidade de ensaios constatou-se alguma discrepância nos resultados, além de se ter obtido descontinuidades nas curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$.

3.4.2.1 Adesivo Araldite® AV138

3.4.2.1.1 Curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$

Concluídos os ensaios de tração com o recurso ao extensómetro ótico, procedeu-se ao respetivo tratamento de dados. Neste caso, as curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$ devem ser bastante semelhantes às curvas obtidas com o recurso ao extensómetro mecânico, já que todos os provetes foram obtidos nas mesmas condições. As figuras seguintes (Figura 95 e 96) correspondem às curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$ respetivamente, dos provetes do adesivo Araldite® AV138, obtidas após realização dos respetivos ensaios de tração. Verifica-se que não existem descontinuidades na curva, pois como se trata de um extensómetro sem contacto, não é necessário interromper o ensaio para retirar o extensómetro dos provetes.

Após obtenção das curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$ com o recurso ao extensómetro ótico, apesar de serem bastante idênticas, verifica-se algumas dissemelhanças relativamente às mesmas obtidas com a utilização do extensómetro mecânico (Figura 79 e 80, da página 77.). Observa-se também que as curvas $\sigma-\varepsilon$ não estão de acordo com os resultados de Campilho et al.[66], onde se verificam algumas diferenças entre os valores da tensão de rotura e da deformação de rotura.

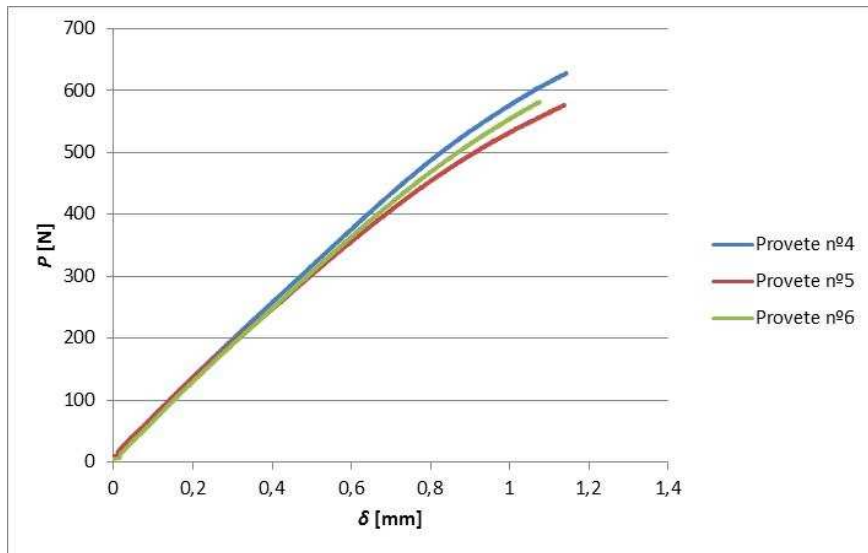


Figura 95 – Curvas P - δ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite[®] AV138 adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.

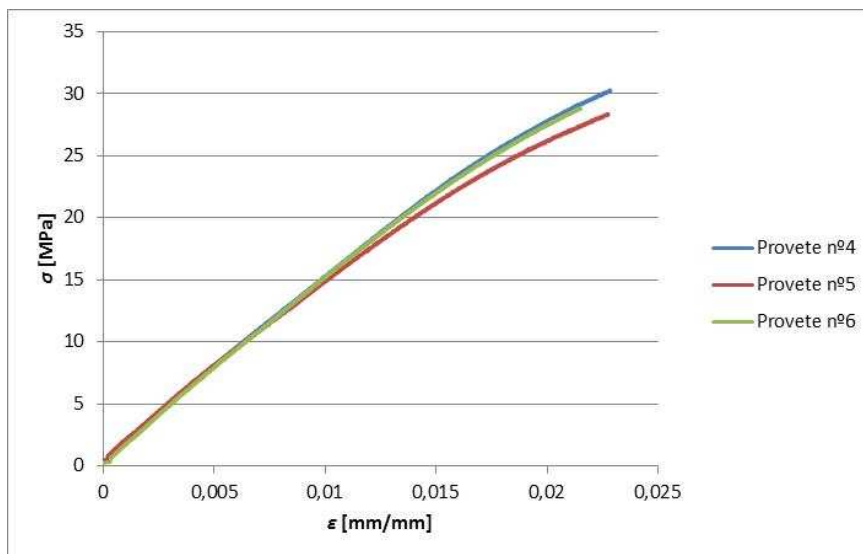


Figura 96 – Curvas σ - ε dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite[®] AV138 adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.

3.4.2.1.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 7 estão representadas as propriedades mecânicas obtidas após realização do ensaio de tração do adesivo Araldite[®] AV138. É feita também a comparação dos dados adquiridos no presente trabalho com os obtidos no trabalho de Campilho et al. [66].

Tabela 7 – Propriedades à tração do adesivo Araldite® AV138 obtidas com a utilização do extensómetro ótico.

Propriedades	Extensómetro ótico	Resultados obtidos por Campilho et al. [66]
Módulo de Young, E (GPa)	3,20±0,50	4,89±0,81
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	29,20±1	36,49±2,47
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	29,20±1	39,45±3,18
Deformação de rotura à tração, ε (%)	2,24±0,08	1,21±0,10

3.4.2.1.3 *Análise dos resultados*

Comparativamente com os resultados obtidos por Campilho et al [66] é possível constatar dissemelhanças entre as propriedades obtidas, tal como sucedido com os provetes onde foi utilizado o extensómetro mecânico e cuja justificação é idêntica.



Provete nº4

Provete nº5

Provete nº6

Figura 97 – Superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite® AV138.

Na Figura 97 estão representadas as superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite® AV138. É possível constatar que os vazios presentes nas superfícies destes são muito idênticos, fazendo com que os valores da deformação à tração sejam muito semelhantes. No entanto constata-se que o poro presente no provete 4 tem dimensões ligeiramente inferiores comparativamente aos poros apresentados pelos provetes 5 e 6, originando deste modo a obtenção de uma tensão de rotura ligeiramente superior. Na Figura 98, poderá observar-se os provetes de adesivo após sofrerem fratura.

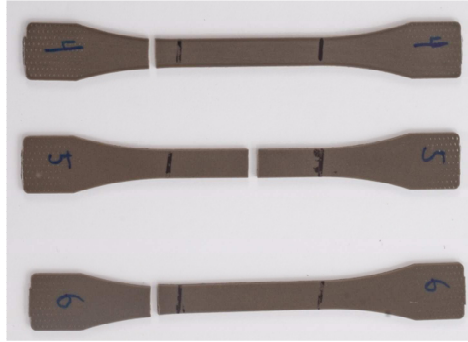


Figura 98 – Provetes 4, 5 e 6 obtidos do adesivo Araldite[®] AV138 após realização dos ensaios de tração.

3.4.2.2 Adesivo Araldite[®] 2015

3.4.2.2.1 Curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$

Após realização do respectivo tratamento de dados obteve-se as curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$ dos provetes de adesivo Araldite[®] 2015 representados na Figuras 99 e 100, respectivamente.

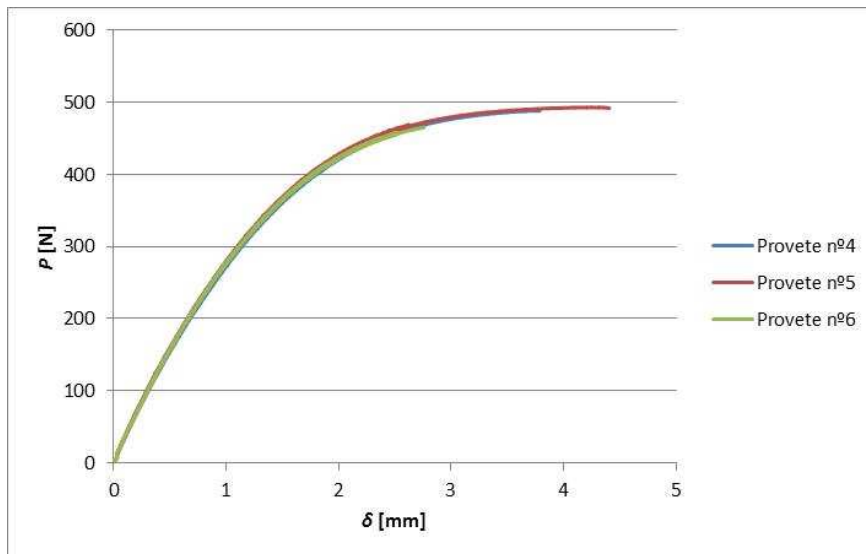


Figura 99 – Curvas $P-\delta$ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite[®] 2015 adquiridas com o recurso ao extensômetro ótico.

Pela observação das curvas $\sigma-\varepsilon$ obtidas no presente trabalho, verifica-se que são bastante idênticas às apresentadas no trabalho de Campilho et al. [68] (Figura 53 da página

58). No entanto, é perceptível a existência de uma pequena diferença na deformação de rotura, que será analisada posteriormente.

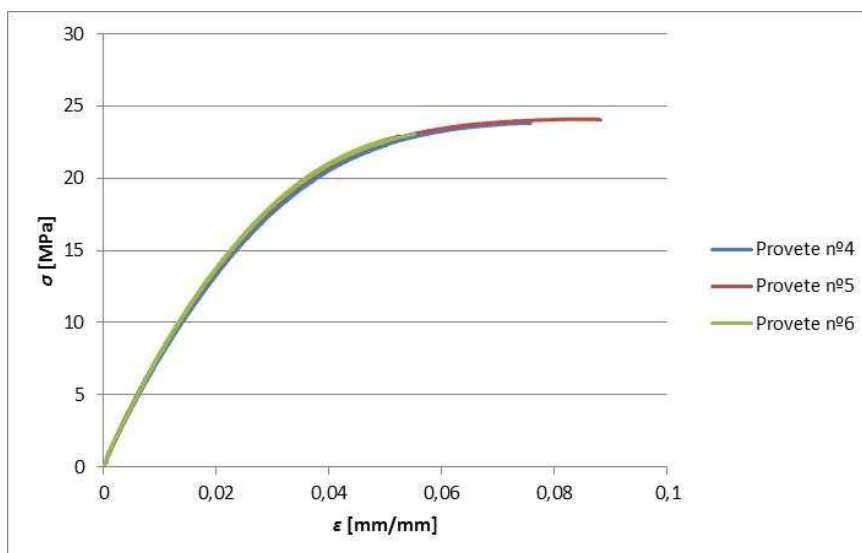


Figura 100 – Curvas σ - ϵ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo Araldite[®] 2015 adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.

3.4.2.2.2 Propriedades mecânicas

Na Tabela 8 estão representados os resultados obtidos após realização do ensaio de tração e executado o respetivo tratamento de dados. Na mesma é feita uma comparação com as propriedades obtidas por da Silva et al [67].

Tabela 8 – Propriedades à tração do adesivo Araldite[®] 2015 adquiridas com a utilização do extensómetro ótico.

Propriedades	Extensómetro ótico	Resultados obtidos por da Silva et al. [67]
Módulo de Young, E (GPa)	$1,50 \pm 0,05$	$1,85 \pm 0,21$
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	$17,52 \pm 0,16$	$12,63 \pm 0,61$
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	$23,66 \pm 0,54$	$21,63 \pm 1,61$
Deformação de rotura à tração, ϵ (%)	$7,30 \pm 1,67$	$4,77 \pm 0,15$

3.4.2.3 Adesivo SikaForce[®] 7888 obtido por moldação e por injeção

3.4.2.3.1 Curvas P - δ e σ - ε

As figuras seguintes mostram as curvas P - δ e σ - ε obtidas através da utilização do extensómetro ótico, nos provetes do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto e por injeção. Face ao sucedido com os adesivos anteriores adotou-se novamente a velocidade de ensaio de 1 mm/min. A Figura 103 corresponde às curvas P - δ dos provetes fabricados por moldação em molde aberto. Já na Figura 104 estão ilustradas as curvas σ - ε respetivas.

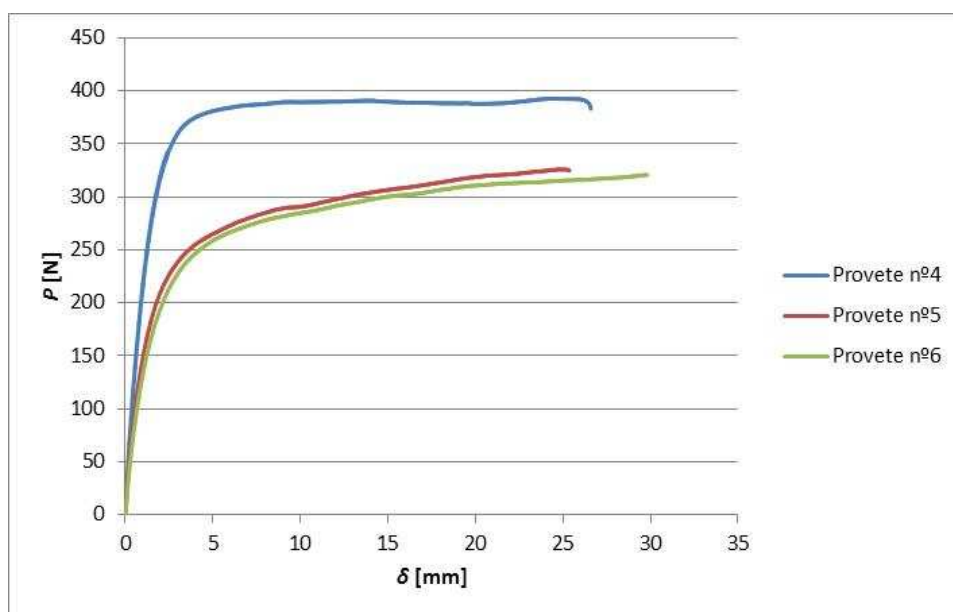


Figura 103 – Curvas P - δ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.

Em análise aos gráficos das Figuras 103 e 104, destaca-se a existência de um desfasamento entre ambas as curvas P - δ e σ - ε do provete 4 com as dos provetes 5 e 6. Neste caso, a presença de poros de dimensão superior visíveis nos provetes 5 e 6, comparativamente com o 4, como é perceptível na Figura 105 pode ter motivado a não proximidade de ambas as curvas. Em análise às curvas da Figura 104, em função das superfícies de fratura, verifica-se que o provete 5, devido à presença de um poro de grande dimensão, obteve uma tensão máxima inferior, comparativamente com os dois restantes, assim como uma deformação de rotura também inferior comparativamente com o provete 6. Verifica-se também que o provete

4 obteve uma tensão de rotura superior em relação ao 6. A presença de vazios de dimensão inferior, como se observa na Figura 105, na estrutura do provete 4, pode estar na origem desta diferença.

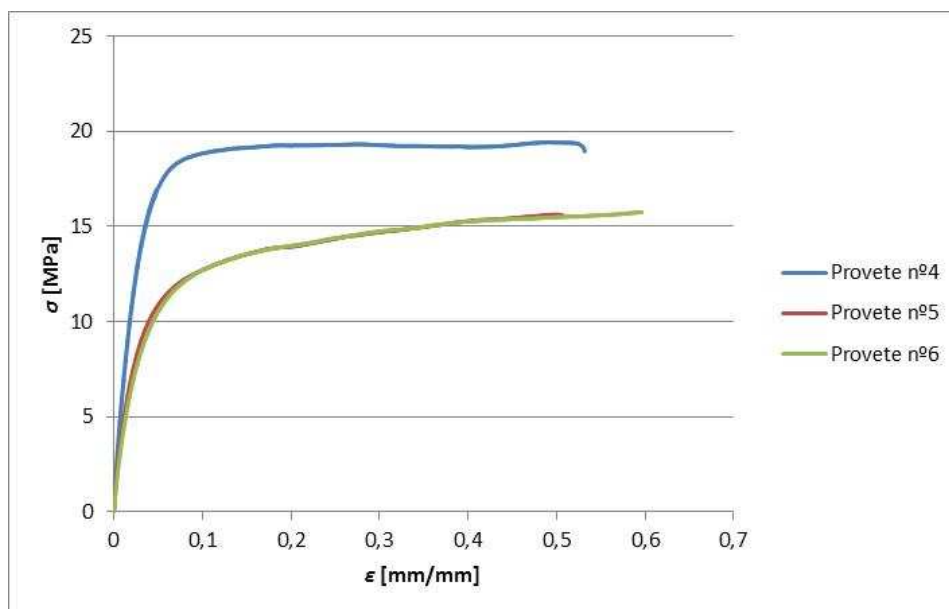


Figura 104 – Curvas σ - ϵ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.

Em comparação com as curvas obtidas pelo extensómetro mecânico (Figura 87 e 88) constata-se novamente as divergências já referidas anteriormente, designadamente em relação à tensão máxima e à deformação à tração. Na análise do gráfico da Figura 88, é possível verificar que os três provetes possuem uma tensão máxima superior a 22 MPa, enquanto na Figura 104, relativa ao mesmo adesivo, mas neste caso com a utilização da extensometria ótica, se observa que a tensão máxima dos 3 provetes não ultrapassa os 20 MPa, constatando-se mesmo a presença de valores bastante inferiores, como por exemplo dos provetes 5 e 6 (≈ 15 MPa). Estes desfasamentos devem-se sobretudo às velocidades adotadas pois, como referido anteriormente, estes ensaios foram realizados à velocidade de 1 mm/min, já os ensaios, referentes aos gráficos das Figuras 87 e 88, decorreram a 4 mm/min. Na Figura 106 estão ilustrados os provetes obtidos pelo mesmo processo após os referidos ensaios.



Provete nº4

Provete nº5

Provete nº6

Figura 105 – Superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto.



Figura 106 – Provete 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por moldação em molde aberto após realização dos ensaios de tração.

As figuras seguintes correspondem às curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$ (Figura 107 e Figura 108, respetivamente) dos provetes do mesmo adesivo obtidos por injeção.

Em comparação com os gráficos das curvas $P-\delta$ e $\sigma-\varepsilon$, obtidas através da utilização do extensómetro mecânico, verifica-se o desfasamento existente entre a tensão máxima e a deformação de rotura, comparativamente com o recurso à extensometria ótica (Figura 108). A presença de poros de dimensão superior nos provetes 4, 5 e 6, como se verifica na Figura 109, comparativamente com as amostras da Figura 93, pode ser a razão que originou esta desigualdade. Na Figura 110, verifica-se que os provetes sofreram fratura na zona calibrada, à exceção do 5.

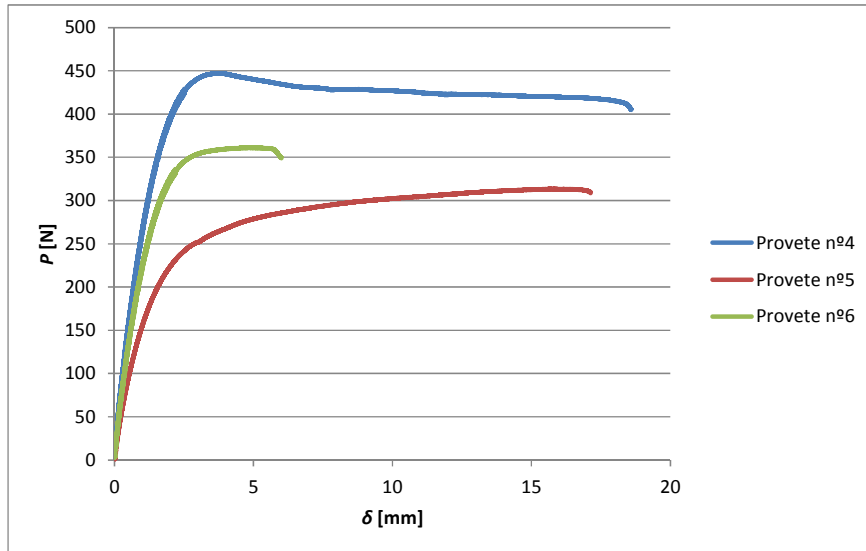


Figura 107 – Curvas P - δ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por injeção, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.

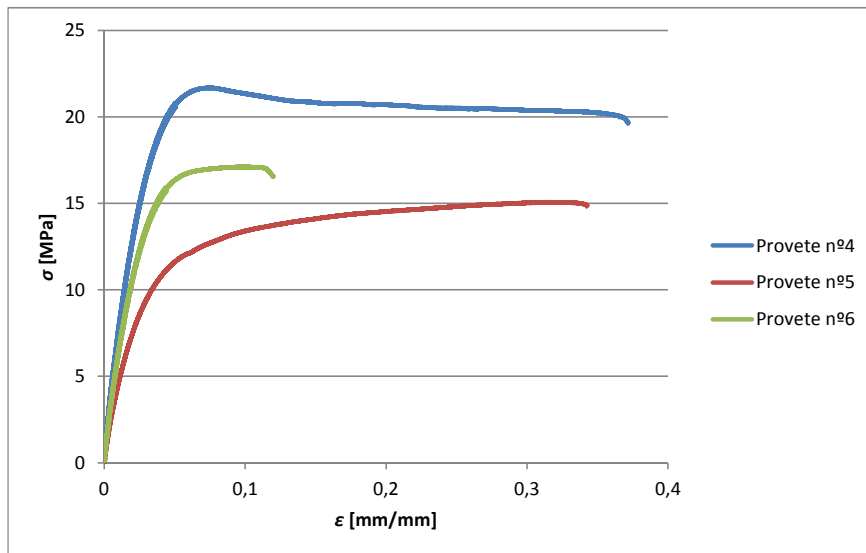


Figura 108 – Curvas σ - ϵ dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por injeção, adquiridas com o recurso ao extensómetro ótico.



Provete nº4

Provete nº5

Provete nº6

Figura 109 – Superfícies de fratura dos provetes 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce[®] 7888 obtidos por injeção.



Figura 110 – Provete 4, 5 e 6 do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção após realização dos ensaios de tração.

Na análise às superfícies de fratura representadas nas Figuras 105 e 109, verifica-se que os provetes obtidos por injeção apresentam em média, vazios de dimensão superior, comparativamente com os provetes obtidos por moldação em molde aberto. Em contrapartida, os provetes produzidos por injeção apresentam uma estrutura mais compacta, comparativamente com o outro método, já que na análise das superfícies de fratura dos provetes obtidos por moldação, é visível a presença de uma grande quantidade de vazios de pequena dimensão.

3.4.2.3.2 *Propriedades mecânicas*

Na Tabela 9 estão representados os dados obtidos com a utilização do extensómetro ótico. É feita também a comparação entre os diferentes métodos na obtenção de provetes de adesivo, assim como a comparação com os valores obtidos no trabalho de Neto et al. [65].

Tabela 9 – Propriedades à tração do adesivo SikaForce® 7888 adquiridas com a utilização da extensometria ótica.

Propriedades	Moldação em molde aberto	Injeção	Resultados obtidos por Neto et al. [65]
Módulo de Young, E (GPa)	1,11±0,36	1,54±0,42	1,89±0,25
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	11,02±1,62	13,14±2,49	13,2±4,83
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	16,93±2,16	17,95±3,38	28,6±2,0
Deformação de rotura à tração, ε (%)	54,51±4,60	28,81±13,49	43±0,6

3.4.2.3.3 *Análise dos resultados*

Observa-se novamente, face ao sucedido no capítulo 3.4.1.3.2, o desfasamento entre os dados dos provetes obtidos por moldação em molde aberto e por injeção. É possível verificar a diferença nos valores obtidos do módulo de elasticidade. Consta-se que, em relação à tensão limite elástica, os valores são muito idênticos, visto que em ambos os casos existe uma elevada dispersão dos valores (1,62 MPa e 2,49 MPa). Em relação à tensão de rotura, constata-se que o valor médio é bastante próximo. A maior discrepância das propriedades mecânicas reside na deformação de rotura, onde se observa que os provetes obtidos por moldação em molde aberto obtiveram uma maior deformação. A presença de vazios superficiais de grande dimensão, nos provetes obtidos por injeção, pode ter motivado este desfasamento. Isto é, a rotura ocorreu, inicialmente pelo vazio, tendo-se propagado por corte até à fratura total do provete.

Em comparação com os resultados obtidos no trabalho de Neto et al. [65], verifica-se uma diferença entre as propriedades obtidas. Em relação à tensão limite elástica verifica-se que os valores estão bastante enquadrados com os obtidos pelo autor. As maiores diferenças correspondem ao módulo de Young, à tensão de rotura e à deformação à tração. Como foi referido, no caso dos provetes obtidos por injeção em molde fechado, a presença de vazios de grande dimensão pode ter originado a obtenção de valores inferiores, comparativamente com os valores obtidos no trabalho referido. No caso dos provetes obtidos por moldação em molde aberto, uma cura não adequada dos provetes, ou uma possível degradação no lote do adesivo utilizado, pode ter motivado esta divergência.

3.4.3 **Comparação de resultados**

De forma a facilitar a interpretação e comparação de resultados, nas tabelas seguintes estão representados os valores das características mecânicas obtidas no presente trabalho, assim como a comparação entre os valores lidos pelos dois tipos de extensómetro. Na mesma é feita também a comparação com os valores das bibliografias consultadas.

3.4.3.1 **Provetes do adesivo Araldite® AV138**

As propriedades representadas na Tabela 10 correspondem aos provetes do adesivo Araldite® AV138, cujo ensaio decorreu à velocidade constante de 1 mm/min, tal como os ensaios da bibliografia consultada.

Tabela 10 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo Araldite® AV138 adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.

Propriedades	Extensómetro ótico	Extensómetro mecânico	Resultados obtidos por Campilho et al. [66]
Módulo de Young, E (GPa)	3,20±0,50	4,04±0,03	4,89±0,81
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	29,20±1	25,26±2,42	36,49±2,47
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	29,20±1	25,26±2,42	39,45±3,18
Deformação de rotura à tração, ϵ (%)	2,24±0,08	1,73±0,23	1,21±0,10

Na observação da Tabela 10, verifica-se uma dissemelhança no valor do módulo de Young medido pelos dois extensómetros. Como a utilização do extensómetro estava numa fase inicial de experimentação, este facto pode ter contribuído para a obtenção desta diferença. Em relação às restantes propriedades mecânicas referidas na Tabela 10, a presença de um maior número de vazios, num dos provetes, pode ter contribuído para a obtenção dos desfasamentos observados.

3.4.3.2 Provetes do adesivo Araldite® 2015

Na tabela 11 apresentam-se os resultados medidos pelos dois tipos de extensómetros utilizados durante os ensaios dos provetes do adesivo Araldite® 2015, assim como os resultados obtidos por da Silva et al. [67].

De referir que a velocidade de ensaio, nos quais foi utilizado o extensómetro mecânico, foi de 1 mm/min para a obtenção do módulo de Young e a 4 mm/min para a obtenção das restantes propriedades. No caso dos ensaios onde foi utilizada a extensometria ótica, a velocidade usada foi de 1 mm/min. Por seu lado, os ensaios realizados por da Silva et al. [67] decorreram à velocidade constante de 1 mm/min.

Ao observar a tabela verifica-se um desfasamento entre as propriedades medidas por ambos os extensómetros, embora este não seja muito significativo. A discordância do módulo de Young não deveria ser tão acentuada, pois ambos os provetes foram obtidos nas mesmas condições de fabrico. Esta pode ser atribuída à instabilidade das etiquetas coladas nos

provetes durante o ensaio. Já em relação às restantes propriedades, constata-se que os valores medidos pelos dois equipamentos são bastante próximos.

Tabela 11 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo Araldite® 2015 adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.

Propriedades	Extensómetro ótico	Extensómetro mecânico	Resultados obtidos por da Silva et al. [67]
Módulo de Young, E (GPa)	1,50±0,05	1,73±0,03	1,85±0,21
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	17,52±0,16	16,36±0,37	12,63±0,61
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	23,66±0,54	24,72±1,86	21,63±1,61
Deformação de rotura à tração, ε (%)	7,30±1,67	6,78±1,37	4,77±0,15

3.4.3.3 Provetes do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por moldação em molde aberto

Na Tabela 12 estão representados os valores obtidos dos ensaios de tração dos provetes do adesivo SikaForce® 7888 produzidos por moldação em molde aberto. Nesta é feita a comparação entre os dados obtidos por ambos os extensómetros, assim como são representados os resultados obtidos por Neto et al. [65], cujo ensaio decorreu a 1 mm/min.

Tabela 12 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo SikaForce® 7888 produzidos por moldação em molde aberto adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.

Propriedades	Extensómetro ótico	Extensómetro mecânico	Resultados obtidos por Neto et al. [65]
Módulo de Young, E (GPa)	1,11±0,36	1,79±0,11	1,89±0,25
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	11,02±1,62	17,97±4,26	13,2±4,83
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	16,93±2,16	24,44±1,38	28,6±2,0
Deformação de rotura à tração, ε (%)	54,51±4,60	19,79±10,72	43±0,6

No presente trabalho, nos ensaios com a utilização do extensómetro mecânico, foram utilizadas duas velocidades de ensaio (1 mm/min e 4 mm/min), cuja justificação é idêntica à mencionada nos ensaios do adesivo anterior. Já os ensaios com a utilização do extensómetro ótico foram realizados a 1 mm/min.

Como foram adotadas duas velocidades de ensaio diferentes para ambos os extensómetros, este fator contribuiu para o desfasamento entre as medições efetuadas por estes equipamentos. Já a diferença entre o módulo de elasticidade deve-se possivelmente à calibração do extensómetro ótico. Outro facto que poderá ter contribuído para esta discordância é a instabilidade das etiquetas coladas nos provetes durante o ensaio.

3.4.3.4 Provetes do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção

De seguida, na Tabela 13 observa-se os dados obtidos na realização dos ensaios de tração dos provetes do adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção. Na mesma, estão representados os dados obtidos por ambos os extensómetros, assim como os resultados obtidos por Neto et al. [65], cujo ensaio foi realizado a 1 mm/min em ambos os casos.

Tabela 13 – Comparação das propriedades à tração dos provetes de adesivo SikaForce® 7888 obtidos por injeção adquiridas com a utilização do extensómetro mecânico e ótico.

Propriedades	Extensómetro ótico	Extensómetro mecânico	Resultados obtidos por Neto et al. [65]
Módulo de Young, E (GPa)	1,54±0,42	2,05±0,11	1,89±0,25
Tensão limite elástico, σ_y (MPa)	13,14±2,49	18,90±1,62	13,2±4,83
Tensão de rotura à tração, σ_r (MPa)	17,95±3,38	24,21±1,86	28,6±2,0
Deformação de rotura à tração, ε (%)	28,81±13,49	9,23±1,33	43±0,6

Na Tabela 13 constata-se o desfasamento entre as medições efetuadas por ambos os extensómetros. Esta diferença poderá ser atribuída ao estado dos provetes, pois era perceptível a existência de vazios de dimensão superior em algumas amostras, assim como a uma possível degradação do lote de adesivo utilizado. A instabilidade das etiquetas coladas nos provetes, durante os ensaios, pode também ter contribuído para a obtenção desta divergência.

4 Conclusões e Trabalhos Futuros

4.1 Conclusões

O objetivo principal do trabalho incidiu na projeção e fabrico de um molde para a produção de provetes de adesivo, assim como, a determinação das propriedades mecânicas à tração de adesivos estruturais, para avaliação do desempenho do molde. Os provetes e os ensaios realizados com os adesivos Araldite[®] AV138, Araldite[®] 2015 e SikaForce[®] 7888 foram executados com o intuito de verificar se a ferramenta fabricada permite a fácil obtenção de provetes, com boas propriedades. Os adesivos foram escolhidos por apresentarem comportamentos completamente distintos, para tal foram selecionados um frágil, um dúctil e um muito dúctil.

O molde projetado e fabricado permite a obtenção de provetes de adesivo através de vários métodos, nomeadamente por moldação ou por pressão entre pratos, através da adaptação de duas placas intermédias. No processo por moldação, é ainda possível a produção de provetes por dois métodos de fabrico distintos: por moldação em molde aberto ou por injeção em molde fechado. No entanto, no presente trabalho, apenas foram estudados os métodos de moldação em molde aberto e a injeção em molde fechado.

Os provetes produzidos dos adesivos Araldite[®] AV138 e Araldite[®] 2015 foram obtidos por moldação em molde aberto, ao passo que as amostras do adesivo SikaForce[®] 7888 foram fabricados por ambos os métodos. No entanto, ambos os processos não foram eficazes na eliminação de bolhas de ar nos adesivos estudados. De uma forma geral observou-se que os provetes obtidos por moldação em molde aberto apresentaram um excelente acabamento superficial, enquanto os obtidos por injeção, permitiram observar o contrário, onde era perceptível a existência de vários vazios. Na análise das superfícies de fratura dos provetes do adesivo SikaForce[®] 7888, observou-se que o método por injeção em molde fechado, apesar de originar uma superfície com bastantes vazios, confere à estrutura interna uma maior compactação comparativamente com os obtidos por moldação em molde aberto.

No caso do adesivo Araldite® AV138, constatou-se a existência de divergências, bastante significativas comparativamente com a bibliografia consultada. A presença de porosidades nas superfícies de fratura, originadas após uma deficiente compactação manual do adesivo, contribuiu para o desvio obtido nos dados. Esta falha durante o processo de produção dos provetes provocou a obtenção de valores inferiores de todas as características mecânicas estudadas, entre elas, o módulo de Young, a tensão limite elástico, a tensão de rotura e a deformação de rotura. Outro fator que pode ter contribuído significativamente para a obtenção de valores inferiores deveu-se à temperatura de cura do adesivo.

Relativamente aos provetes do adesivo Araldite® 2015, constatou-se novamente alguns desfasamentos das propriedades mecânicas, embora, neste caso não muito significativos comparativamente com a bibliografia consultada. A exceção reside no módulo de Young, onde se verificou a divergência entre as medições efetuadas por ambos os extensómetros, assim como a divergência entre o valor obtido na bibliografia consultada. A diferença pode ser imputada à utilização de adesivos de lotes diferentes, ou mesmo ao próprio manuseamento dos provetes aquando da extração do molde. Como a utilização do extensómetro ótico estava numa fase inicial, onde o processo de calibração é essencial e algo complexo, este fator, pode ter contribuído de uma certa forma, para este desfasamento.

Observou-se, no caso dos provetes do adesivo SikaForce® 7888, onde foi utilizada a extensometria ótica que as amostras produzidas por moldação em molde aberto obtiveram uma deformação de rotura bastante superior aos obtidos por injeção (cerca de 53 %). Nos provetes onde foi utilizado o extensómetro mecânico, não foi possível tirar conclusões precisas da tensão limite elástico, da tensão de rotura e da deformação, pois foram utilizadas velocidades de ensaio diferentes. Observam-se algumas dissemelhanças das propriedades mecânicas comparativamente com a publicação consultada. Algum problema com o lote de adesivo utilizado, ou a presença de vazios visíveis nas superfícies de fratura, podem ter motivado estas diferenças. A obtenção de um valor inferior do módulo de Young, medido pelo extensómetro ótico pode ser associada à instabilidade, durante os ensaios, das etiquetas coladas nos provetes, ou mesmo ao processo de calibração do equipamento.

A utilização do extensómetro ótico foi uma experiência bastante enriquecedora, já que se trata de um método de medição sem contacto, que apresenta várias potencialidades comparativamente com o extensómetro mecânico. No entanto, no presente trabalho foram detetadas algumas divergências entre ambos os equipamentos de medição. A colocação de

marcas (etiquetas) mais adequadas, que fiquem estabilizadas durante o ensaio pode ser um pormenor que pode ser melhorado. Outro fator que pode ter contribuído para o desfasamento foi a seleção do plano de fundo da marca em função da cor do provete.

Constatou-se que a obtenção de provetes de adesivo isentos de defeitos é uma tarefa bastante difícil, onde a preparação da superfície do molde é um processo imprescindível, assim como a compactação do adesivo após vazamento para o molde, no caso do método de moldação em molde aberto. No caso da injeção em molde fechado, a alteração da placa superior, nomeadamente com a eliminação dos furos de respiro, com a utilização de pinos que permitissem a sua vedação, poderia solucionar esta desvantagem. Posteriormente com a injeção do adesivo, a pressão acumulada no interior do molde poderia eliminar possíveis vazios.

4.2 Trabalhos futuros

Ao longo da presente dissertação foram inúmeras as vezes que foram referidas as vantagens na utilização dos adesivos estruturais. Neste sentido, na procura de aumentar a eficiência na identificação das propriedades dos mesmos, apresenta-se, de seguida, um conjunto de sugestões de desenvolvimento, entre as quais:

- A obtenção de provetes com a utilização de diversas metodologias, designadamente com o recurso a técnicas de vácuo, pressão hidrostática, ou mesmo com a alteração da placa superior do molde utilizado, nomeadamente com a colocação de pinos furados nos orifícios de respiro, de forma a diminuir o diâmetro destes, originando uma maior compactação do adesivo aquando da sua injeção. Com esta metodologia, os provetes obtidos por injeção em molde fechado poderiam produzir-se sem vazios;
- A melhor perceção das diferenças observadas entre os dois extensómetros;
- Fabricar provetes com a utilização de outros tipos de adesivos;
- Utilizar a ferramenta produzida neste trabalho (molde) para efetuar a cura de adesivos a temperaturas elevadas e sob pressão.

Referências Documentais

- [1]da Silva LFM, Öchsner A, Adams RD, Eds., *Handbook of Adhesion Technology*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg. 2011.
- [2]Teixeira LMBS, *Caracterização do comportamento mecânico de juntas de sobreposição simples coladas com adesivos estruturais*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2000.
- [3]Welding Handbook. American Welding Society. 7th edition, Miami. 1997.
- [4]Wainer E, Brandi SD, de Mello FDH, *Soldagem Processos e Metalurgia*. Edgard Blücher, São Paulo. 2004.
- [5]O'Brien RL (Editor), *Welding Encyclopedia*. American Welding Society, Miami, 1997.
- [6]ASM Handbook, *Welding Brazing and Soldering*. ASM International, Massachusetts. 1993.
- [7]Maiola CH, Malite M, *Ligações Parafusadas em Chapas Finas e Perfis de Aço Formados a Frio*. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos. 2007;40:133-162.
- [8]<http://pt.scribd.com/doc/60913248/67/VANTAGEM-E-DESVANTAGEM-DAS-UNIOES-PARAFUSADAS> (Consultado no dia 26-06-2013).
- [9]Correia JAFO, *Desenvolvimento de modelos de previsão da vida à fadiga de ligações rebitadas*. Tese de Mestrado. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real. 2008.
- [10]Correia JAFO, Jesus AMP, Silva ALL, *Simulação por elementos finitos de curvas S-N de ligações rebitadas*. Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões. 2011;19:9-18.
- [11]Meireles APC, *Levantamento e diagnóstico de uma ponte metálica antiga*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto. 2010.

- [12] <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasalan/AT096-Aula10.pdf> (Consultado no dia 16-08-2013).
- [13] <ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/Marlipe/elementos%20de%20m%E1quinas/Elementos%20de%20Maquinas%2002/Apostila%20-%20Rosa%20Marah/Elementos%20de%20Maquinas%20I/Cap%EDtulo6.PDF> (Consultado no dia 16-08-2013).
- [14] da Silva LFM, de Magalhães AG, de Moura MFSF, *Juntas Adesivas Estruturais*. Publindústria, Porto. 2007.
- [15] de Moura MFSF, de Moraes AB, de Magalhães AG, *Materiais Compósitos*. Publindústria, Porto. 2005.
- [16] Banea MD, de Sousa FSM, da Silva LFM, Campilho RDSG, de Bastos Pereira AM, *Effects of temperature and loading rate on the mechanical properties of a high temperature epoxy adhesive*. Journal of Adhesion Science and Technology. 2011;25:2461-2474.
- [17] Campilho RDSG, de Moura MFSF, Domingues JJMS, *Efeito da geometria na resistência residual à tracção de reparações por sobreposição simples de laminados de carbono-epóxico*. Ciência e Tecnologia dos Materiais. 2007;19:68-74.
- [18] Pinto, AMG, *Ligações adesivas entre materiais poliméricos com e sem alteração superficial dos substratos*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2009.
- [19] Adams RD, Drinkwater BW, *Nondestructive testing of adhesively-bonded joints*. NDT&E International. 1997;30:93-98.
- [20] Esteves JL, *Estudo do comportamento de adesivos estruturais*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 1990.
- [21] Packham DE, *Handbook of Adhesion*. John Wiley & Sons, Chichester. 2005.
- [22] Pocius AV, *Adhesion and Adhesives Technology, An Introduction*. 2nd Edition. Hanser Gardner Pubns, Exeter. 2002.

- [23]Petri EM, *Handbook of Adhesives and Sealants*, McGraw-Hill, New York. 2000
- [24]Dean, G. and Duncan, B, *Measurement good practice guide. A Guide preparation and testing of bulk specimens of adhesives*. NPL Materials Centre, Teddington. 1998.
- [25]da Silva LFM, Dillard AD, Blackman BRK, Adams RD, *Testing adhesives joints. Best Practices*. Wiley-VCH, Weinheim.2012
- [26]NF T 76-142:1988, *Méthode de preparation de plaques d`adhésifs structuraux pour la réalisation d`éprouvettes d`essai de caractérisation*.
- [27]ISO/DIS 15166-2:1996, *Adhesives – Methods of preparing bulk specimens – Part 1: Two part systems*.
- [28]Broughton B, Gower M, *Measurement good practice guide No.47 preparation and testing of adhesive joints*. Teddington. 2001.
- [29]EN ISO 527-2:1996, *Plastics. Determination of tensile properties*.
- [30]da Silva LFM, *Adhesives joints for low and high temperatures*. Thesis of Doctor Philosophy. Department of Mechanical Engineering. University of Bristol, Bristol. 2003.
- [31]Young R. J. and Lovell P. A, *Introduction to polymers*, 2nd edition. Chapman & Hall. London. 1991.
- [32]Banea MD, da Silva LFM, Campilho RDSG, *Moulds design for adhesive bulk and joint specimens manufacturing*. Assembly Automation. 2012;32:284-292.
- [33]Banea MD, *High temperature adhesives for aerospace applications*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2007.
- [34]Griffith A A, *The phenomena of rupture and flow in solids*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 1921;221:163-198.
- [35]Yoshihara, H, *Simple estimation of critical stress intensity factors of wood by tests with double cantilever beam and three-point end-notched flexure*. Holzforschung. 2007;61:182-189.

- [36] ASTM D 3433-99:2005, *Standard test method for fracture strength in cleavage of adhesives in bonded metal joints*.
- [37] Blackman BRK, Brunner AJ, Williams JG, *Mode II fracture testing of composites: a new look at an old problem*. Engineering Fracture Mechanics 2006;73:2443-2455.
- [38] Campilho RDSG, *Repair of composite and wood structures*. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2009.
- [39] Kafkalidis MS, Thouless MD, *The effects of geometry and material properties on the fracture of single lap-shear joints*. International Journal of Solids and Structures. 2002;39:4367-4383.
- [40] Lai YH, Rakestraw MD, Dillard DA, *The cracked shear specimen revisited – a closed form solution*. International Journal of Solid and Structures. 1996;33:1725-1743.
- [41] Campilho RDSG, de Moura MFSF, Domingues JJMS, *Stress and failure analyses of scarf repaired CFRP laminates using a cohesive damage model*. Journal of Adhesion Science and Technology. 2007;21:855-870.
- [42] de Moura MFSF, Gonçalves JPM, Marques AT, de Castro PMST, *Modeling compression failure after low velocity impact on laminated composites using interface elements*. Journal of Composites Materials. 1997;31:1462-1479.
- [43] Campilho RDSG, *Modelação da execução de reparações em materiais compósitos*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2005
- [44] Bascom WD, Cottingham RL, *Air entrapment in the use of structural adhesive films*. The Journal of Adhesion. 1972;4:193-209.
- [45] ASM Handbook. *Failure analysis and prevention*, ASM International, 2000.
- [46] García JA, Chiminelli A, García B, Lizaranzu M, Jiménez MA, *Characterization and material model definition of toughened adhesives for finite element analysis*. International Journal of Adhesion & Adhesives. 2011; 31:182-192.

- [47]da Silva LFM, Adams RD e Gibbs M, *Manufacture of adhesive joints and bulk specimens with high-temperature adhesives*. International Journal of Adhesion & Adhesives 2004;24:69-83.
- [48]Patrick RL, ed, *Treatise on adhesion and adhesives – Structural adhesives with emphasis on aerospace applications*. Vol. 4. New York: Marcel Dekker. 1976.
- [49]Silva LFM, Adams RD, *Measurement of the mechanical properties of structural adhesives in tension and shear over a wide range of temperatures*. Journal of Adhesion Science and Technology. 2005;19:109–41.
- [50]Stewart I, Chambers A, Gordon T, *The cohesive mechanical properties of a toughened epoxy adhesive as a function of cure level*. Internacional Journal of Adhesion & Adhesives. 2007;27:277-287.
- [51]Soares P. *Aços características tratamentos*. 6ª Edição. Publindústria. Porto. 2009.
- [52]<http://www.fat.uerj.br/intranet/disciplinas/Processos%20de%20Fabricacao%20III/Apostila%20PFIII%20-%20Fundi%20E7%20E3o.pdf> (consultado no dia 20-08-2013)
- [53]Ashby MF, *Materials Selection in Mechanical Design*. Fourth Edition. Elsevier. Oxford. 2011.
- [54]Duncan BC, *Preparation of bulk adhesive test specimens*. Teddington. 1999.
- [55]Róman S, *Experiments on epoxy, polyuretane and ADP adhesives*. JC Technical Report. 2005.
- [56]da Silva LFM, Rodrigues TSS, Figueiredo MAV, de Moura MFSF, Chousal JAG, *Effect of adhesive type and thickness on the lap shear strength*. The Journal of Adhesion. 2006;82:1091-1115.
- [57]Ficha técnica do aço F10. Ramada.
- [58]Totten GE, *Handbook of residual stress and deformation of steel*. ASM Ohio. 2002.
- [59]Ficha técnica do aço inoxidável 304. ArcelorMittal
- [60]Catálogo DORMER 2012.

- [61] Ikegami K, Fugii T, Kawagoe H, Kyogoku H, Motoie K, Nohno K, Sugibayashi T, F.Yoshida, *Benchmark tests on adhesives strengths in butt, single and double lap joints and double-cantilever beams*. *Internacional Journal of Adhesion & Adhesives*.1996;16:219-226.
- [62] Ficha técnica do adesivo Araldite AV138.
- [63] Esteve VHC, *Determinação da Tenacidade de um adesivo em Solicitações de Modo Misto (I + II)*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2010.
- [64] Ficha técnica do adesivo SikaForce7888.
- [65] Neto JABP, *Estudo paramétrico de juntas em material compósito*. Tese de mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.
- [66] Campilho RDSG, Pinto AMG, Banea MD, Silva RF, da Silva LFM, *Strength improvement of adhesively-bonded joints using a reverse-bent geometry*. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2011;25:2351-2368.
- [67] da Silva LFM, da Silva RAM, Chousal JAG, Pinto AMG, *Alternative methods to measure the adhesive shear displacement in the thick adherend shear test*. *Journal of Adhesion Science and Technology*. 2008;22:15-29.
- [68] Campilho RDSG, Pinto AMG, Banea MD, da Silva LFM. *Optimization study of hybrid spot-welded/bonded single-lap joints*. *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2012;37:86-95
- [69] Ficha técnica do desmoldante Frekote 770-NC.
- [70] Kirsch D. *How to choose a static mixer*. Adhesives Age, 2002
- [71] Liquid Control Corp. *Meter, mix and dispense equipment Engineering Handbook*, s. ed. 1996.
- [72] Gomes JFS, Vaz MAP, *Análise experimental de tensões*. Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto. 2004.

- [73] Fabienne Lagatu, Jean Brillaud, Marie-Christine lafarie-Frenot, *High strain gradient measurements by using digital image correlation technique*. Materials Characterization. 2004;53:17-28.
- [74] Ficha técnica do extensómetro ótico.
- [75] de Sousa FSM. *Caracterização de adesivos de altas temperaturas para aplicações aeroespaciais*. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto. 2010.
- [76] Ashcroft, I.A., Abdel Wahab, M. M., Crocombe, A. D., Hughes, D. J. and Shaw, S. J. *The effect of environment on the fatigue of composite joints*. Part1, testing and fractography. Composites Part A, 2001;32:59-69.
- [77] Higgins A, *Adhesive bonding of aircraft structures*. International Journal of Adhesion & Adhesives 2000;20:367-376.

Anexo A.

Adesivo Araldite AV138



Structural Adhesives

Araldite® AV 138M with Hardener HV 998

Two component epoxy adhesive

Key properties

- Low out gassing / volatile loss
- Excellent chemical resistance
- Temperature resistant to 120°C
- Cures at temperatures down to 5°C
- Thixotropic, gap filling paste

Description

Araldite AV 138M with 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	AV 138M	HV 998	Mixed adhesive
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 AV138M	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 contact 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.

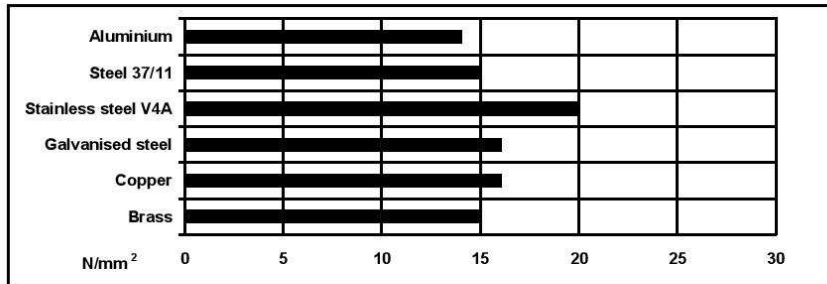
Typical cured properties

Unless otherwise stated, the figures given below were all determined by testing standard specimens made by lap-jointing 170 x 25 x 1.5 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



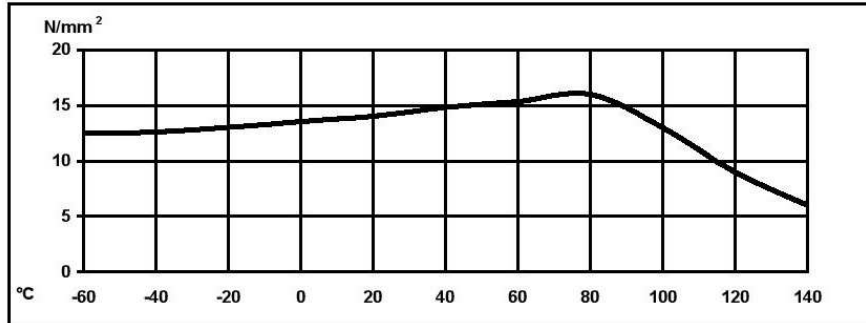
Shear modulus (DIN 53445)

Cure: 16 hours at 40°C

- 25°C - 3GPa
- 50°C - 2GPa
- 75°C - 0.4GPa
- 100°C - 0.1GPa
- 125°C - 3MPa
- 150°C - 2MPa

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%

Electrolytic corrosion (DIN 53489) - Cure: 16 hours at 40°C

Tested 4 days in 40°C/92% RH as specified in DIN 50015

Rated AN1

Coefficient of linear thermal expansion (VSM 77110)

Tested over range 18-93°C. Cure: 16 hours at 40°C

$67 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$

Volume resistivity (VSDE 0303) at 22°C

1.8×10^{17} ohm cm at 50 Hz

Electric strength (VSM 7710) at 22°C

45.8 kV (instantaneous value)

Fatigue test on simple lap joints (DIN 532852)

Cure: 16 hours at 40°C. Test frequency 90-130Hz

25% of static failing load

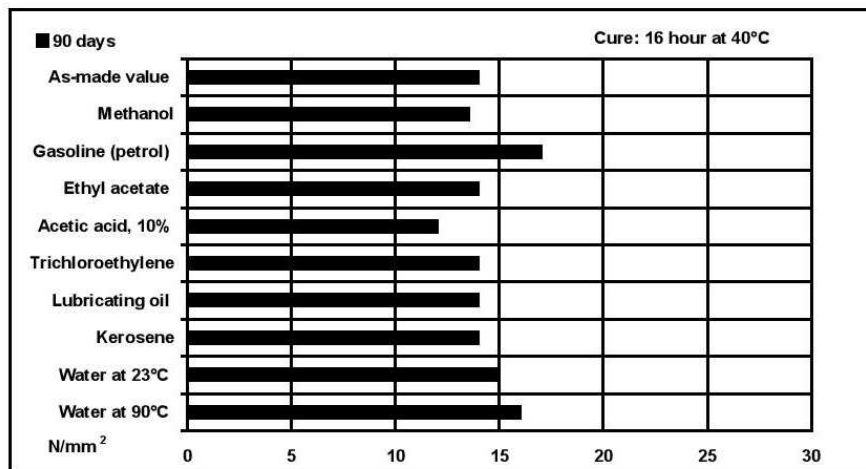
$> 10^7$ cycles to failure

30% of static failing load

10^5 - 10^8 cycles to failure

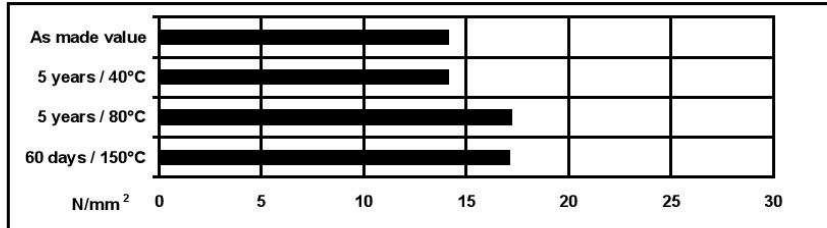
Lap shear strength versus immersion in various media (typical average values)

Unless otherwise stated, L.S.S. was determined after immersion for 90 days at 23°C



Lap shear strength versus heat ageing

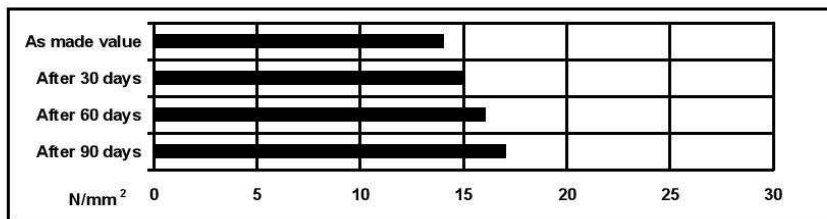
Cure: 16 hours at 40°C



Lap shear strength versus tropical weathering

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

Test at 23°C



Storage

Araldite AV 138M 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 foodstuffs 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

All recommendations for the use of our products, whether given by us in writing, verbally, or to be implied from the results of tests carried out by us, are based on the current state of our knowledge. Notwithstanding any such recommendations the Buyer shall remain responsible for satisfying himself that the products as supplied by us are suitable for his intended process or purpose. Since we cannot control the application, use or processing of the products, we cannot accept responsibility therefor. The Buyer shall ensure that the intended use of the products will not infringe any third party's intellectual property rights. We warrant that our products are free from defects in accordance with and subject to our general conditions of supply.

Duxford, Cambridge
 England CB2 4QA
 Tel: +44 (0) 1223 832121
 Fax: +44 (0) 1223 493322
 www.araldite.com

© Huntsman Advanced Materials (Switzerland) GmbH
 © Araldite is a registered trademark of Huntsman LLC or an affiliate thereof in one or more, but not all, countries

Anexo B.

Araldite[®] 2015

Advanced Materials**Araldite® 2015**

Structural Adhesives

TECHNICAL DATA SHEET**Araldite® 2015****Two component epoxy paste adhesive****Key properties**

- 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

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**Pretreatment**

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.

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.araclite2000plus.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

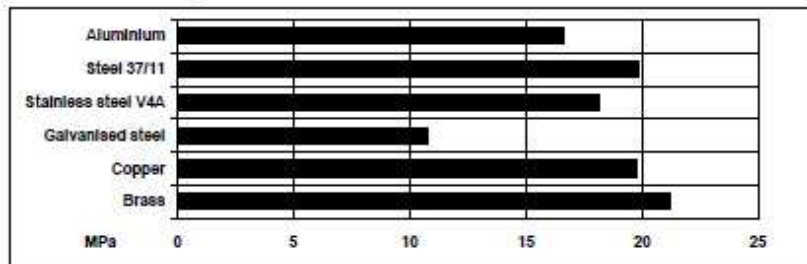
LSS = Lap shear strength.

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)

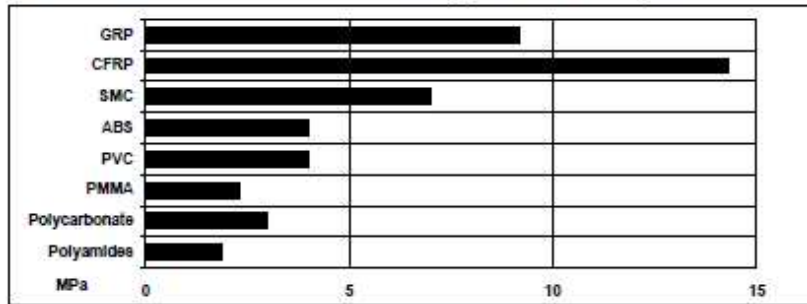
Cured for 16 hours at 40°C and tested at 23°C
 Pretreatment - Sand blasting





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

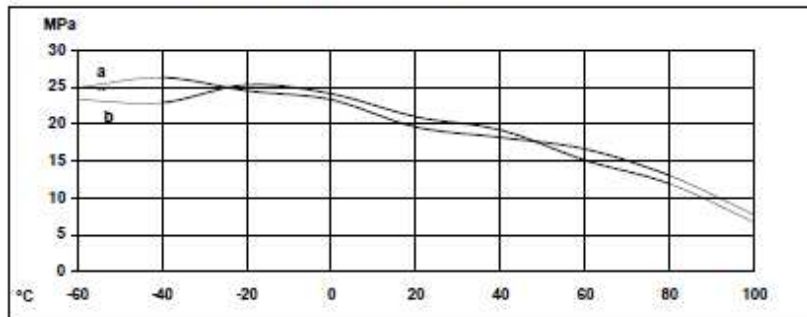
2 GPa

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)

4 N/mm

Cured: 16 hours at 40°C

Glass transition temperature

67°C by DSC

Cure: 16 hours at 40°C

67 by shear modulus

Cure: 1 hour at 80°C

DIN 53445

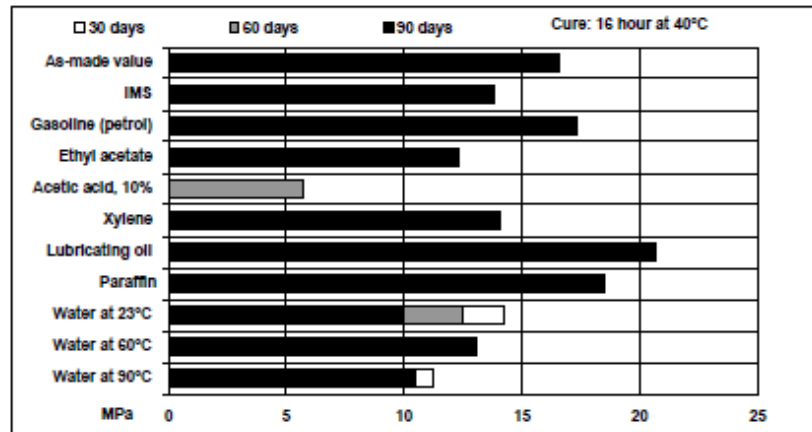
Dielectric constant (500v at 25°C)

5.6 at 1 kHz



Lap shear strength versus Immersion in various media (typical average values)

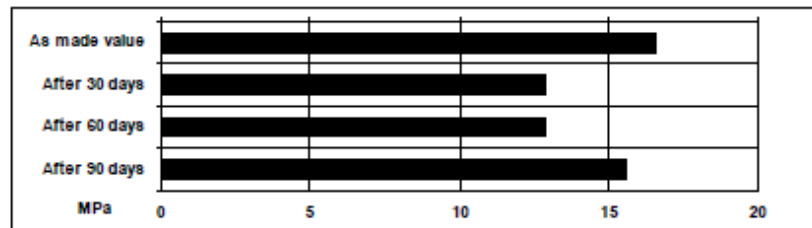
Unless otherwise stated, L.S.S. was determined after Immersion for 90 days at 23°C



Lap shear strength versus tropical weathering

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

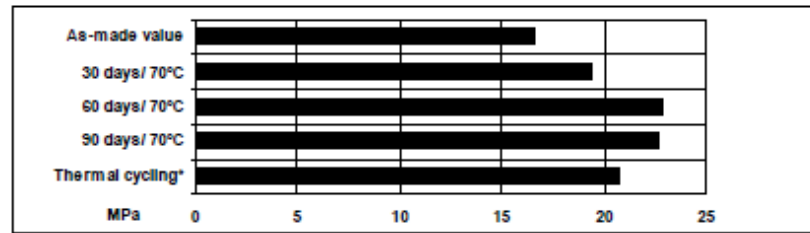
Cure: 16 hours at 40°C Test: at 23°C





Lap shear strength versus heat ageing

Cure: 16 hours at 40°C



*25 cycles -30°C to +70°C

Shear modulus (DIN 53445)

Cure: 1 hour at 80°C

Temperature	G'	λ
0°C	1.0 Gpa	0.25
25°C	0.9 Gpa	0.25
50°C	0.8 Gpa	0.35
75°C	0.2 Gpa	1.9
100°C	2 MPa	0.5

Flexural Properties (ISO 178) Cure 16 hours/ 40°C tested at 23°C

Flexural Strength 42.7 MPa
 Flexural Modulus 1813.6 MPa

Resistance to fatigue (40 Hz at 23°C) (quoted as cycles to failure)

Maximum applied load	Sandblasted aluminium	Chromate pickled aluminium
20% of static falling load	>10 ⁷	>10 ⁷
25% of static falling load	>10 ⁷	10 ⁷
30% of static falling load	3 x 10 ⁶	8 x 10 ⁵

(Static falling load 16 MPa)



Storage	Araldite 2015/A and Araldite 2015/B may be stored for up to 3 years at room temperature provided the components are stored in sealed containers. The expiry date is indicated on the label.
Handling precautions	<p>Caution</p> <p>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 foodstuffs 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.</p>
Huntsman Advanced Materials	All recommendations for the use of our products, whether given by us in writing, verbally, or to be implied from the results of tests carried out by us, are based on the current state of our knowledge. Notwithstanding any such recommendations the Buyer shall remain responsible for satisfying himself that the products as supplied by us are suitable for his intended process or purpose. Since we cannot control the application, use or processing of the products, we cannot accept responsibility therefor. The Buyer shall ensure that the intended use of the products will not infringe any third party's intellectual property rights. We warrant that our products are free from defects in accordance with and subject to our general conditions of supply.



Huntsman Advanced Materials
 (Switzerland) GmbH
 Klybeckstrasse 200
 4057 Basel
 Switzerland

Tel: +41 (0)61 966 33 33
 Fax: +41 (0)61 966 35 19
www.huntsman.com/advanced_materials

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® 2015] is a registered trademark of Huntsman Corporation or an affiliate thereof.

Copyright © 2007 Huntsman Corporation or an affiliate thereof. All rights reserved.

Anexo C.

SikaForce[®] 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	Poliolés, 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 536-1)	18.000 mPas prox	18.000 mPas aprox.
Viscosidad de la mezcla (CQP 536-1)	65.000 mPas, aprox	
Relación de mezcla	100	70
en peso	100	100
en volumen		
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) ³⁾⁴⁾	40% aprox.	
Resistencia a tracción (ISO 527/CQP 545-1) ³⁾⁴⁾	20 Mpa aprox.	
Resistencia a cortadura (DIN EN 1465 /CQP 546-1) ³⁾⁴⁾	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) ⁵⁾	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

³⁾ Sustrato: AlCuMg, platinada; espesor de capa: 1,5 mm

⁴⁾ 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



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 fosfatado, cromado, y zincado) 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 está 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 conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Producto local, copia de las cuales se mandarán a quien las solicite, o también se puede conseguir en la página "www.sika.es".



Sika, S.A.U.
C/ Aragoneras, 17
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel. 91 667 25 75
Fax 91 661 68 60



SikaForce®-7888 L10 (VP) 3/2

Anexo D.

Loctite Frekote[®] 770-NC

LOCTITE

1001 Trout Brook Crossing
Rooky Hill, CT 06067-3810
Telephone: (860) 671-5100
FAX: (860) 671-6486

Product Description Sheet**FREKOTE® 770-NC**
Mold Release Agent

Industrial Products, October 2003

Description

Loctite® Frekote® 770-NC is a low odor, fast evaporating version of Frekote 700-NC. Frekote 770-NC offers excellent release for various molding applications and can be used as a direct replacement for Frekote 700-NC. Frekote 770-NC can be used for the release of epoxies, polyester resins, vinyl ester resins, thermoplastics, adhesives, and rotationally molded plastics. Frekote 770-NC is particularly well suited for tougher to release processes such as filament winding and non gel coated polyester and fiberglass molding.

Features

Versatile - releases most resins
No contaminating transfer
High gloss and high slip
Room temperature cure
No mold build-up
Low odor

Physical Properties

Appearance	Clear liquid
Odor	Hydrocarbon
Solvents	Aliphatic Hydrocarbon
Specific Gravity	0.720 +/- .015
Shelf Life	One year from date of manufacture
Special Cautions	Moisture sensitive, keep container tightly closed when not in use.
Cured thermal stability	400°C (750°F)
Application Temp	3°C - 60°C (55°F - 140°F)

Mold Preparation

The mold surface must be clean and free of any release agent or other contaminants for Frekote 770-NC to be completely effective. Remove any contaminants with Frekote PMC or another suitable cleaning solvent. Light industrial abrasives can be used to remove heavy resin build up.

New Molds

Full curing of new molds is advisable to ensure the best bonding of the Frekote to the mold surface. New fiberglass and epoxy molds should be cured per manufacturer's instructions before starting full scale production.

Note For porous or repaired molds, a Frekote Sealer should be used - technical data is available. Consult with your Frekote Representative for assistance.

Application *Consult MSDS prior to use*

Frekote 770-NC can be applied to mold surfaces at room temperature up to 60°C (140°F) by spraying, brushing or wiping with a clean lint-free, cloth. When spraying, ensure a dry air source is used or use an airless spray system. If possible, warm the mold prior to applying Frekote 770-NC to approximately 50°C (120°F) to drive off any moisture entrapped on the mold surface.

1. Only a thin wet film is required. Wipe or spray on a smooth, thin, continuous, wet film. Avoid wiping or spraying over the same area that was just coated until the solvent has evaporated. If spraying, hold nozzle 8-10 inches (from mold surface). It is suggested that small areas be coated working progressively from one side of the mold to the other.
2. Initially, apply 2 - 3 base coats, allowing 5-10 minutes after each application for complete solvent evaporation.
3. Wait 5-10 minutes after the final coat for curing of the polymer resin prior to molding. The film should be dry and not feel tacky.
3. Aerosols may sometimes leave a matte surface finish. To enhance gloss, use a cotton cloth to gently buff up dry film, if required.
4. Performance is enhanced by re-coating once, after the first few initial pulls. Maximum releases will be obtained as the mold surface becomes conditioned to Frekote 770-NC.
5. When any release difficulty is experienced, the area in question can be "touched-up" by re-coating the entire mold surface or just those areas where release difficulty is occurring. For temperatures up to 60°C (140°F), use Frekote 770-NC and cure as per instructions above. For mold temperatures above 60°C (140°F), Frekote HMT-2 is recommended.

Note Touch-up coats applied at regular intervals before the base film breaks down will extend the number of releases obtainable and reduce possible resin attack/build-up.

Precaution Users of closed mold systems (i.e. rotomolding) must be certain that solvent evaporation is complete and that all solvent vapors have been ventilated from the mold cavity prior to closing the mold. An oil-free compressed air source can be used to assist in evaporation of solvents and ventilation of the mold cavity.

Flammability/Storage

Frekote 770-NC contains flammable solvents. The product should always be used in well ventilated areas. Store in a cool, dry place. Consult MSDS for complete details.

NOT FOR PRODUCT SPECIFICATIONS
THE TECHNICAL DATA CONTAINED HEREIN ARE INTENDED AS REFERENCE ONLY.
PLEASE CONTACT LOCTITE CORPORATION QUALITY DEPARTMENT FOR ASSISTANCE AND RECOMMENDATIONS ON SPECIFICATIONS FOR THIS PRODUCT.
ROCKY HILL, CT FAX: +1 (860)-671-6473 DUBLIN, IRELAND FAX: +353-(1)-451-9988

Loctite and Frekote are Registered Trademarks of Loctite Corporation U.S.A.

Frekote® 770-NC, October 2003

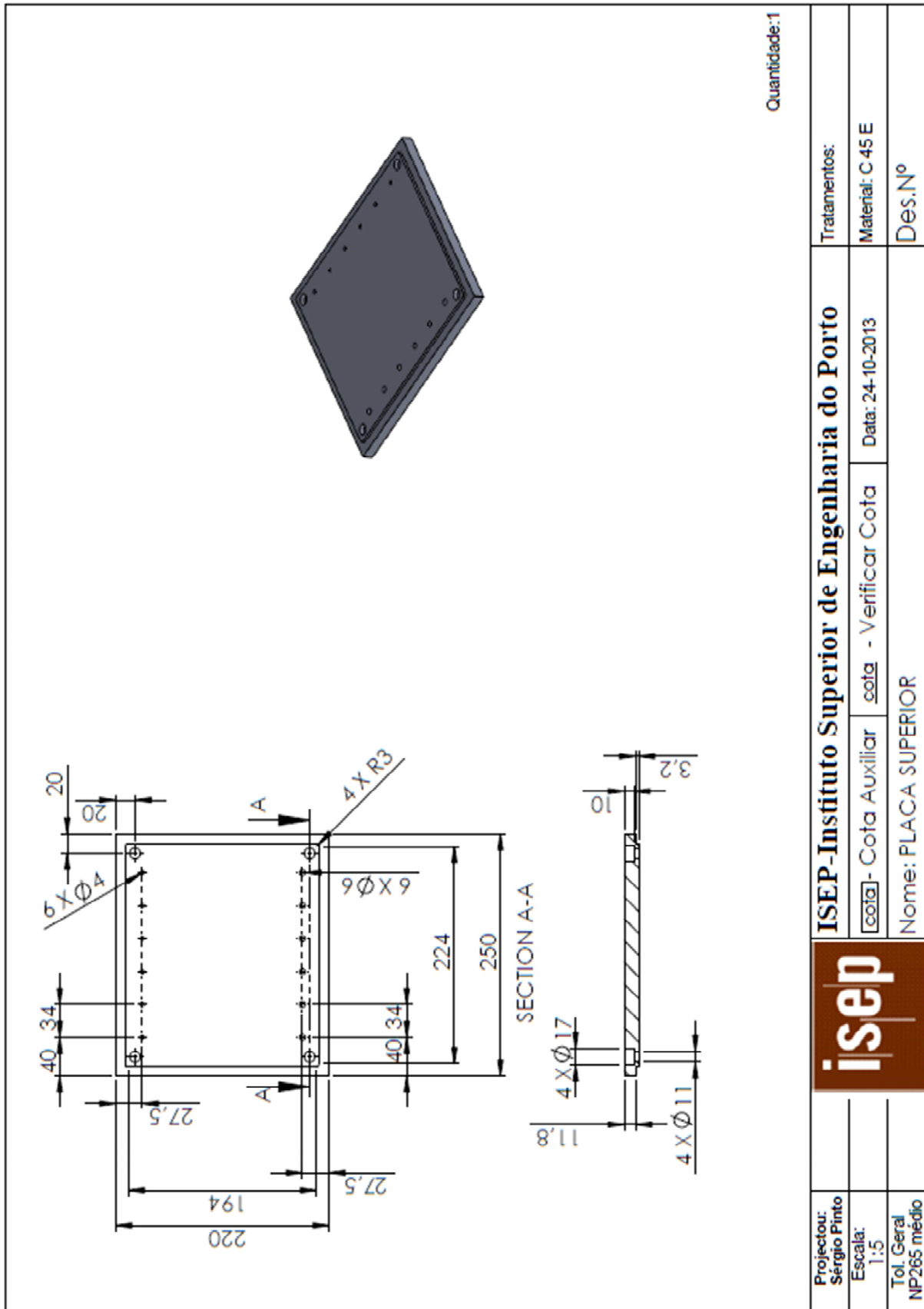
Note

The data contained herein are furnished for information only and are believed to be reliable. We cannot assume responsibility for the results obtained by others over whose methods we have no control. It is the user's responsibility to determine suitability for the user's purpose of any production methods mentioned herein and to adopt such precautions as may be advisable for the protection of property and of persons against any hazards that may be involved in the handling and use thereof. In light of the foregoing, Loctite Corporation specifically disclaims all warranties expressed or implied, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, arising from sale or use of Loctite Corporation's products. Loctite Corporation specifically disclaims any liability for consequential or incidental damages of any kind, including lost profits. The discussion herein of various processes or compositions is not to be interpreted as representation that they are free from domination of patents owned by others or as a license under any Loctite Corporation patents that may cover such processes or compositions. We recommend that each prospective user test his proposed application before repetitive use, using this data as a guide. This product may be covered by one or more, United States, or foreign patents or patent applications.

Loctite and Frekote are Registered Trademarks of Loctite Corporation U.S.A.

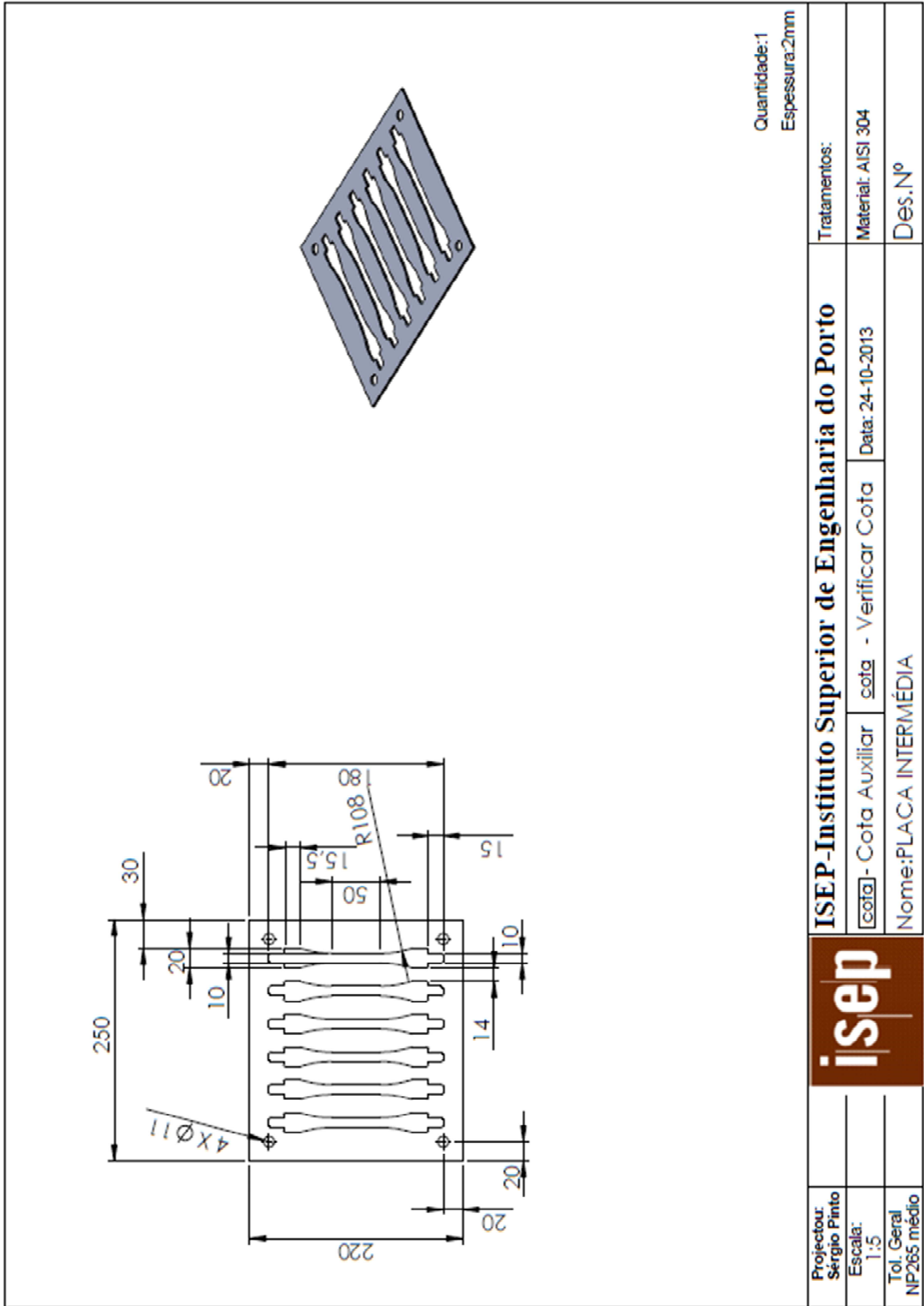
Anexo E.

Desenhos Técnicos do Molde

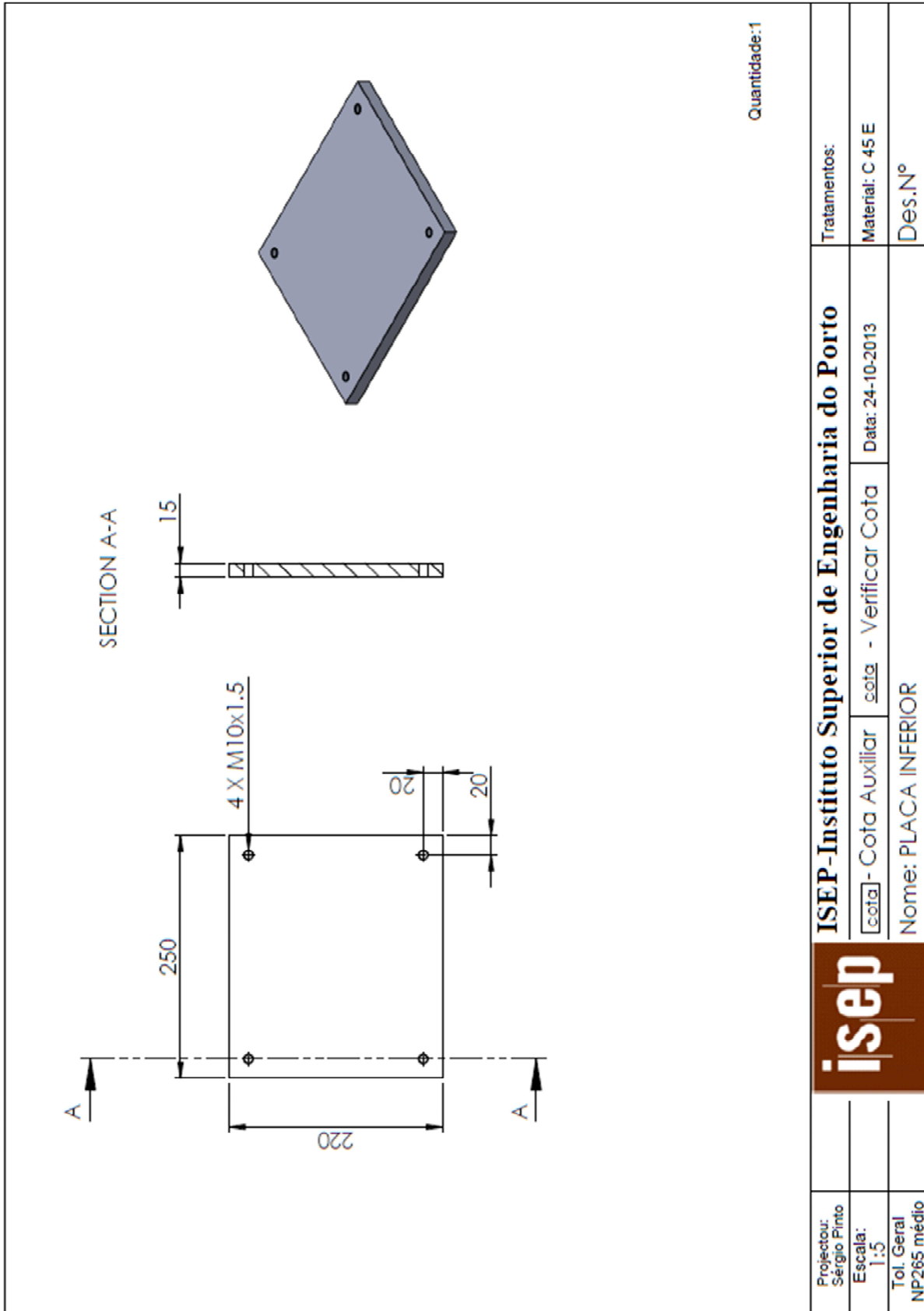


Quantidade: 1

Projector: Sérgio Pinto	ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto		Tratamentos:	
			Material: C 45 E	
Escala: 1:5	Nome: PLACA SUPERIOR	Data: 24-10-2013	Des.Nº	
Tol. Geral NP265 médio			Des.Nº	



Projector: Sérgio Pinto	ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto		Tratamentos:
Escala: 1:5	[cota]- Cota Auxiliar	cota - Verificar Cota	Material: AISI 304
Tol. Geral NP265 médio	Nome: PLACA INTERMÉDIA		Des. Nº
		Data: 24-10-2013	



Projector: Sérgio Pinto	ISEP-Instituto Superior de Engenharia do Porto		Tratamentos:
Escala: 1:5	[Cota] - Cota Auxiliar	cota - Verificar Cota	Material: C 45 E
Tol. Geral NP265 médio	Nome: PLACA INFERIOR		Des.Nº
		Data: 24-10-2013	

Quantidade: 1