



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

Sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço com base em produtos líquidos ou pastosos

Caracterização experimental do comportamento
mecânico dos sistemas

João Luís Garcia Feiteira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Júri:

Presidente: Doutor Augusto Martins Gomes

Orientador: Engenheiro Jorge Grandão Lopes

Co-orientador: Doutor Jorge Manuel Caliço Lopes de Brito

Vogal: Doutor João Ramôa Correia

Novembro de 2009

Resumo

Os produtos líquidos ou pastosos para impermeabilização permitem obter um revestimento impermeabilizante contínuo sobre a maioria das superfícies correntes na construção. A resistência mecânica deste tipo de revestimento condiciona fortemente o grau de acessibilidade admissível para a cobertura em terraço onde é aplicado. O presente estudo pretende caracterizar o comportamento mecânico de alguns sistemas de impermeabilização com base em produtos líquidos ou pastosos (SIBPLP) disponíveis no mercado nacional.

Foram preparadas amostras livres de suporte de SIBPLP de diversas naturezas e espessuras, com e sem armadura. Deste modo, foi possível avaliar a influência de cada um destes parâmetros no desempenho dos sistemas. Foram ensaiados sistemas com base em produtos cimentícios, acrílicos e à base de silicone líquida, borracha líquida e poliuretano. Para todos os sistemas, foi determinada a resistência mecânica à tracção e aos punçoamentos dinâmico e estático. A verificação da aptidão ao uso pretendido dos diversos sistemas foi complementada com ensaios de estanqueidade e flexibilidade a baixa temperatura.

Os resultados indicam que a natureza do produto utilizado é o parâmetro que mais influencia o comportamento mecânico deste tipo de revestimentos. É mostrado que os sistemas cimentícios e à base de poliuretano têm uma resistência a cargas pontuais claramente superior à dos restantes sistemas ensaiados que, pela sensibilidade a este tipo de acção mecânica, na melhor das hipóteses poderão ser utilizados em coberturas não-acessíveis. Como esperado, a utilização de armadura pode permitir aumentar a resistência dos revestimentos a cargas pontuais de natureza estática ou dinâmica. A aplicação de uma demão adicional apenas melhorou a resistência dos sistemas em relação ao punçoamento dinâmico. Dos resultados dos ensaios de tracção, conclui-se que a deformabilidade ou a rigidez não explicam por si só as diferenças de resistência a cargas pontuais entre os sistemas das diversas naturezas. Um ensaio expedito de flexibilidade a baixa temperatura (-5 °C) foi um primeiro indicador de que o comportamento mecânico dos revestimentos ensaiados não é severamente afectado por estas condições.

Palavras-chave: impermeabilização; revestimento; cobertura; terraço; produtos líquidos; comportamento mecânico.

Abstract

Liquid applied waterproofing products allow the formation of a continuous waterproof coating over most current construction surfaces. The mechanical resistance of this type of coating restricts the degree of accessibility of the flat roof on which it is to be applied. The present study intends to characterize the mechanical performance of some of the liquid applied roof waterproofing systems (LARWSs) available in the Portuguese market.

Free-standing film samples of LARWSs of different materials and thicknesses, with and without internal reinforcement, were prepared. This allowed evaluating the influence of each of these parameters on the systems' performance. Cementitious, acrylic and liquid silicone, liquid rubber and polyurethane based systems were tested. The tensile properties and the resistance to dynamic and static indentation were determined for all LARWSs. Further verification of fitness for intended use was assessed with watertightness and flexibility at low temperature tests.

The results show that the type of product used is the parameter most influential on the mechanical performance of a LARWS. The cementitious and the polyurethane based systems have a much higher resistance to indentation than all the other systems tested, which, at best, should only be applied on non-accessible roofs. As expected, the use of internal reinforcement can lead to a higher resistance to dynamic or static indentation. The use of an extra coat of liquid product yields a higher resistance only to the dynamic type of indentation. The results of the determination of the tensile properties of LARWSs show that properties like deformability or stiffness cannot be directly linked to a system's resistance to indentation. A flexibility test at low temperature (-5 °C) was used to determine that the mechanical performance of the LARWSs tested is not severely affected by this condition.

Keywords: *waterproofing; coating; roofing; flat roof; liquid applied; mechanical performance.*

Agradecimentos

Pela falta de experiência prévia no tema abordado e na elaboração de um documento desta dimensão e rigor, esta dissertação dependeu da orientação de especialistas e professores, de recursos disponibilizados e da contribuição de colegas que, pelo exemplo ou pela troca de ideias, foram decisivos para atingir os objectivos propostos.

Ao Engenheiro Grandão Lopes agradeço a disponibilidade, o muito tempo dispendido, não só na orientação como na partilha de conhecimentos, e os recursos e autonomia concedidos.

Ao Doutor Jorge de Brito agradeço a confiança, o encaminhamento, a disponibilidade irrepreensível e o sentido de rigor instruído.

É de justiça realçar também a contribuição dos colaboradores que me acompanharam durante a realização da campanha experimental, Engenheiro José Fonseca e Ramiro Flores, cuja experiência acumulada, sentido prático e iniciativa foram essenciais para ultrapassar as dificuldades encontradas.

Agradeço a informação e os recursos materiais e de mão-de-obra disponibilizados pelo Sr. João Búzio da Matesica. A experiência dos aplicadores, Marco Costa e Fernando Guerreiro, foi essencial na preparação de amostras dos revestimentos.

Aos Engenheiros Rui Alves, da Henkel, e José Sousa, da Teprocil, agradeço a facilidade em obter materiais e informação.

Reconheço a importância da família, cujos apoio e presença são essenciais para o sucesso de qualquer empreendimento.

Destaco o exemplo de dedicação e perseverança e o sentido de responsabilidade e justiça da colega Italma Pereira, qualidades essenciais para a produção de resultados e harmonia entre colegas.

Às colegas Wilma Gonçalves, Sofia Santos e Júlia Vieira agradeço ainda a postura correcta, o companheirismo e a partilha justa de responsabilidades, que tornaram possível desenvolver esta dissertação a par do restante trabalho académico.

Índice geral

Resumo	i
<i>Abstract</i>	ii
Agradecimentos.....	iii
Índice de figuras	vi
Índice de tabelas	ix
1. Introdução.....	1
1.1. Considerações iniciais	1
1.2. Objectivos e metodologia.....	2
1.3. Organização da dissertação	3
2. Estado da arte	5
2.1. Considerações gerais	5
2.2. Sistemas de impermeabilização com base em produtos líquidos ou pastosos (SIBPLP)	9
2.2.1. Sistema não-armado	9
2.2.2. Sistema armado	10
2.2.3. Sistema semiaderido.....	11
2.3. Composição e propriedades dos produtos de impermeabilização líquidos ou pastosos	13
2.3.1. Emulsões e soluções de betume modificadas com polímeros	13
2.3.2. Resinas de poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro	14
2.3.3. Resinas flexíveis de poliéster insaturado.....	15
2.3.4. Betumes modificados com polímeros aplicados a quente.....	15
2.3.5. Poliuretanos	15
2.3.6. Emulsões e soluções betuminosas.....	16
2.3.7. Polímeros em dispersão aquosa.....	16
2.3.8. Borracha líquida	20
2.4. Avaliação do desempenho dos SIBPLP segundo a Organização Europeia para Aprovações Técnicas (EOTA)	21
2.4.1. Enquadramento da EOTA.....	21
2.4.2. Classificação do desempenho dos SIBPLP.....	22
3. Descrição da campanha experimental	29
3.1. Planificação da campanha experimental	29
3.2. Ensaio de estanqueidade	32
3.3. Ensaio de resistência ao punçoamento dinâmico	33
3.4. Ensaio de resistência ao punçoamento estático	36
3.5. Ensaio de comportamento à tracção	37
3.6. Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura	38

3.7.	Produtos e sistemas ensaiados	39
3.8.	Preparação dos provetes	43
3.9.	Avaliação de espessuras	46
3.10.	Dificuldades encontradas.....	48
4.	Resultados da campanha experimental e respectiva análise	53
4.1.	Espessura dos revestimentos.....	53
4.2.	Ensaio de estanqueidade	55
4.3.	Ensaio de punçoamento dinâmico.....	55
4.3.1.	Desempenho em função da natureza do sistema	58
4.3.2.	Desempenho em função da utilização de armadura	59
4.3.3.	Desempenho em função do número de demãos.....	60
4.4.	Ensaio de punçoamento estático.....	61
4.4.1.	Desempenho em função da natureza do sistema	63
4.4.2.	Desempenho em função da utilização de armadura	63
4.4.3.	Desempenho em função do número de demãos.....	64
4.5.	Ensaio de comportamento à tracção	65
4.5.1.	Desempenho em função da natureza do sistema	66
4.5.2.	Desempenho em função da utilização de armadura	69
4.5.3.	Desempenho em função do número de demãos.....	70
4.5.4.	Influência da orientação da armadura.....	71
4.6.	Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura	72
4.7.	Categoria de carga de serviço dos revestimentos ensaiados	73
5.	Conclusões e desenvolvimentos futuros	77
5.1.	Considerações finais.....	77
5.2.	Conclusões gerais	78
5.3.	Desenvolvimentos futuros.....	80

Índice de figuras

Figura 2.1 – Sistema de impermeabilização em poliéster líquido aplicado a frio sobre cobertura com elevada quantidade de remates.	6
Figura 2.2 – Mecanismos de transferência de calor numa cobertura.	7
Figura 2.3 – Aumento da reflectância solar de cobertura betuminosa com aplicação de revestimento elastomérico acrílico branco.	9
Figura 2.4 – Fissuração de sistema de impermeabilização não-armado sobre suporte de ladrilhos cerâmicos.	10
Figura 2.5 – Estratificação de sistema de impermeabilização armado com revestimento de ladrilhos cerâmicos.	11
Figura 2.6 – Tratamento de zona de remate com superfície vertical em sistema cimentício.	11
Figura 2.7 – Sistema semiaderido sobre suporte de ladrilhos cerâmicos: a) solicitação mecânica do suporte e abertura de fissura na junta dos ladrilhos; b) descolamento do revestimento na secção fissurada.	12
Figura 2.8 – Sistema semiaderido: a) aspecto da face inferior que contacta com o suporte; b) aplicado sobre junta de dilatação.	13
Figura 2.9 – Compostos betume-polímero: a) absorção do asfalto apenas no domínio do polímero butadieno; b) absorção do alcatrão nos domínios do estireno e do butadieno. .	14
Figura 2.10 – Processo de cura de sistema polimérico em dispersão aquosa: a) partículas de polímero em dispersão aquosa; b) evaporação da água e conseqüente aproximação das partículas de polímero; c) deformação das partículas do polímero; d) início do processo de coalescência; e) interdifusão das partículas do polímero e formação da película.	16
Figura 2.11 – Aplicação de produto cimentício sobre rede de fibra de vidro.	17
Figura 2.12 – Remate de sistema cimentício com parede emergente.	18
Figura 2.13 – Cobertura com elevada quantidade de singularidades, executada com produto acrílico.	19
Figura 2.14 – Espalhamento de areia sobre borracha líquida.	20
Figura 2.15 – Organograma do processo de emissão de uma ETA.	21
Figura 2.16 – Isolinhas de exposição à radiação solar. Valores anuais médios em GJ/m ²	26
Figura 3.1 – Organograma da campanha experimental.	31
Figura 3.2 – Aparelho de ensaio de estanqueidade.	33
Figura 3.3 – Detecção de perda da estanqueidade de um provete: a) provete perfurado; b) mancha em papel absorvente.	33

Figura 3.4 – Aparelhos de ensaio de punçoamento dinâmico: a) aparelho referido no TR 006 da EOTA; b) aparelho referido na norma NP EN 12691:2008.	34
Figura 3.5 – Tudo de vidro para verificação da estanqueidade após ensaios de punçoamento estático ou dinâmico.	35
Figura 3.6 – Aparelho de ensaio de punçoamento estático.	37
Figura 3.7 – Aparelho de ensaio de tracção.	38
Figura 3.8 – Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura: a) imersão dos provetes em posição horizontal; b) elevação do mandril de dobragem.	39
Figura 3.9 – Aplicação de produto líquido de impermeabilização sobre película plástica, para preparação de provetes soltos.	43
Figura 3.10 – Preparação do suporte para aplicação de borracha líquida: a) revestimento do suporte com folha de papel absorvente; b) revestimento da folha de papel com camada superficial de borracha líquida.	44
Figura 3.11 – Placas de vidro polvilhadas com talco, para aplicação de produto à base de poliuretano.	45
Figura 3.12 – Comparador digital para avaliação de espessuras.	47
Figura 3.13 – Aplicação de borracha líquida sobre suporte rígido revestido com folha de papel absorvente: a) deformação do papel causada pela passagem do rolo; b) formação de bolhas de ar.	49
Figura 3.14 – Bolhas de consistência espumosa, resultantes da interacção do produto à base de poliuretano com a película plástica subjacente de polietileno.	50
Figura 3.15 – Esmagamento de provete de revestimento não-armado à base de silicone, em ensaio de resistência à tracção: a) deformação do provete para a pressão de ensaio habitual; b) provete sob pressão adequada.	51
Figura 4.1 – Provetes para o ensaio de estanqueidade do revestimento armado com base em 2 demãos de borracha líquida: a) aspecto da textura da armadura após aplicação da 2ª demão; b) papel absorvente humedecido sobre a face superior do provete, após ensaio.	55
Figura 4.2 – Punçoamento dinâmico com punção cilíndrico de diâmetro de 6 mm: a) revestimento acrílico armado com 2 demãos; b) revestimento não-armado com base em 2 demãos de borracha líquida.	56
Figura 4.3 – Desempenho dos revestimentos não-armados no ensaio de punçoamento dinâmico, em função da sua natureza.	58
Figura 4.4 – Desempenho dos revestimentos no ensaio de punçoamento dinâmico, em função da utilização de armadura.	59
Figura 4.5 – Desempenho dos revestimentos armados no ensaio de punçoamento dinâmico, em função do número de demãos.	60

Figura 4.6 – Punção estática com carga de 200 N: a) revestimento acrílico fibroso com 2 demãos; b) revestimento cimentício não-armado com 2 demãos.	62
Figura 4.7 – Ensaio de comportamento à tracção: a) pormenor da rotura de revestimento cimentício armado; b) revestimento não-armado com base em silicone líquida.	66
Figura 4.8 – Desempenho dos revestimentos não-armados no ensaio de tracção, em função da sua natureza.	67
Figura 4.9 – Comportamento à tracção de revestimentos não-armados.	67
Figura 4.10 – Desempenho dos revestimentos de 2 demãos armados e respectivas armaduras no ensaio de tracção.	69
Figura 4.11 – Desempenho dos revestimentos armados no ensaio de tracção, em função da quantidade de demãos.	70
Figura 4.12 – Gráficos de comportamento à tracção: a) revestimento cimentício com 3 demãos armado; b) revestimento acrílico armado.	71
Figura 4.13 – Desempenho de revestimentos armados no ensaio de tracção, segundo as direcções longitudinal e transversal das respectivas armaduras.	72
Figura 4.14 – Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura. Observação a olho nu para detectar eventual fissuração do revestimento.	73

Índice de tabelas

Tabela 2.1 – Reflectância e emitância solar de materiais e sistemas de impermeabilização.....	8
Tabela 2.2 – Categorias de vida útil segundo o ETAG 005.....	22
Tabela 2.3 – Categorias de condições climáticas segundo o ETAG 005.....	22
Tabela 2.4 – Categorias de carga de serviço segundo o ETAG 005.....	23
Tabela 2.5 – Categorias de pendente da cobertura segundo o ETAG 005.....	23
Tabela 2.6 – Categorias de temperatura mínima segundo o ETAG 005.....	24
Tabela 2.7 – Categorias de temperatura máxima segundo o ETAG 005.....	24
Tabela 3.1 – Condições dos ensaios de punçoamento dinâmico em estados novo e envelhecido.....	29
Tabela 3.2 – Condições dos ensaios de punçoamento estático em estados novo e envelhecido.....	30
Tabela 3.3 – Relação entre categorias de carga de serviço e os níveis de resistência resultantes dos ensaios de punçoamento estático e dinâmico.....	30
Tabela 3.4 – Influência da compressibilidade do suporte na resistência ao punçoamento de sistemas acrílico e à base de poliuretano.....	32
Tabela 3.5 – Relação entre diâmetros dos punções e níveis de resistência do ensaio de punçoamento dinâmico.....	35
Tabela 3.6 – Relação entre cargas e os níveis de resistência do ensaio de punçoamento estático.....	36
Tabela 3.7 – Armaduras utilizadas.....	40
Tabela 3.8 – Produtos e sistemas ensaiados.....	41
Tabela 3.9 – Ensaio realizados.....	42
Tabela 3.10 – Quantidade e dimensões dos provetes necessários para cada ensaio.....	45
Tabela 3.11 – Simbologia de identificação dos provetes.....	46
Tabela 3.12 – Verificação da adequação de uma ponta cilíndrica de 6 mm para medição da espessura dos revestimentos.....	48
Tabela 4.1 – Espessuras médias e consumos efectivos totais dos revestimentos ensaiados.....	54
Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de punçoamento dinâmico.....	57
Tabela 4.3 – Resultados dos ensaio de punçoamento estático.....	61
Tabela 4.4 – Desempenho dos revestimentos não-armados no ensaio de punçoamento estático, em função da sua natureza.....	63

Tabela 4.5 – Desempenho dos revestimentos no ensaio de punçoamento estático, em função da utilização de armadura.	64
Tabela 4.6 – Desempenho dos revestimentos armados no ensaio de punçoamento estático, em função da quantidade de demãos.	64
Tabela 4.7 – Resultados dos ensaios de tracção.	65
Tabela 4.8 – Módulo de elasticidade dos revestimentos.	68
Tabela 4.9 – Categoria de carga de serviço atribuída aos SIBPLP ensaiados.	74

1. Introdução

1.1. Considerações iniciais

As coberturas em terraço podem permitir a criação de um espaço de utilização comum, facilitar a instalação e manutenção de equipamento ou surgir unicamente como solução estética. No entanto, as particularidades deste tipo de cobertura exigem soluções que não estão presentes nas coberturas tradicionais inclinadas.

A disposição sub-horizontal das camadas que constituem uma cobertura em terraço implica que o contacto da água das chuvas com a superfície desta seja mais prolongado do que numa cobertura inclinada, favorecendo a infiltração no suporte, tipicamente em betão armado. Por este motivo, a par de criar as condições necessárias para o escoamento da água, criando uma camada de forma que confira uma pendente mínima à superfície e garantindo um número suficiente de tubos de queda, é necessário aplicar um revestimento impermeabilizante.

Em Portugal, até à década de 1980, foram utilizadas em grande maioria soluções de impermeabilização tradicionais com produtos betuminosos. Durante a mesma década, foram introduzidos no mercado nacional diversos materiais não-tradicionais, sob a forma quer de membranas prefabricadas, quer de produtos líquidos ou pastosos, destinados a ser aplicados *in situ*. A tradição e a familiaridade com o uso de produtos betuminosos terá contribuído para que as soluções não-tradicionais em membranas prefabricadas de betumes-polímero fossem utilizadas na maioria das coberturas em terraço em Portugal, ainda durante a década de 1990 [1].

De acordo com os fabricantes e representantes de produtos líquidos ou pastosos, este tipo de revestimento aplicado *in situ* tem sido crescentemente utilizado durante a década corrente. A este facto não será alheia a facilidade de aplicação dos produtos, semelhante à de uma tinta e sem necessidade de executar juntas, ou a maior facilidade em executar remates com singularidades, quando comparados com as soluções em membranas prefabricadas.

Independentemente da solução adoptada, um revestimento impermeabilizante deverá manter a sua eficácia sob as acções mecânicas ou dos agentes atmosféricos a que está sujeito. A não consideração deste requisito pode resultar em custos de reparação elevados, motivados tanto pela reabilitação do revestimento impermeabilizante como pela reparação dos espaços subjacentes à cobertura.

As acções mecânicas exercidas sobre um revestimento impermeabilizante são essencialmente devidas aos movimentos do suporte ou a cargas de serviço, que são função da acessibilidade da cobertura. As cargas de serviço podem representar acções estáticas, caso do peso de equipamentos de reparação, ou acções dinâmicas, resultantes em geral da queda de objectos [1].

A falta de conhecimento sobre a resistência a acções mecânicas dos diversos sistemas de impermeabilização com base em produtos líquidos ou pastosos disponíveis no mercado nacional justifica que este tema seja objecto de dissertação no presente documento.

À data da elaboração deste estudo, não existiam outros nacionais sobre este tipo de sistemas e, para além dos estudos que levam à sua homologação, cuja resultados não são tornados públicos na sua totalidade, não foram encontrados outros experimentais internacionais sobre o seu desempenho mecânico. Durante a pesquisa bibliográfica, tornaram-se assim mais claras a importância e a necessidade do estudo desenvolvido.

A iniciativa de caracterizar experimentalmente o comportamento mecânico destes sistemas foi, portanto, pioneira e os resultados obtidos e objectivos atingidos, que de seguida se descrevem, constituíram inovação.

1.2. Objectivos e metodologia

Pretende-se mencionar e descrever os principais tipos de produtos de impermeabilização líquidos ou pastosos, com especial incidência nos produtos mais utilizados no contexto nacional, referindo os valores das suas características comuns e as suas qualidades particulares.

Neste documento, pretende-se ainda explicitar as exigências e a abordagem à classificação deste tipo de produto da construção contida no guia Europeu apropriado [2].

A resistência às acções mecânicas de um revestimento de impermeabilização é uma característica relevante para o cumprimento das exigências relativas a cargas de serviço. Durante a sua vida útil, um revestimento está sujeito a cargas estáticas e dinâmicas, cuja intensidade é essencialmente função da acessibilidade da cobertura onde está instalado.

É objectivo principal do presente estudo determinar e comparar a resistência aos punçamentos dinâmico e estático de alguns dos sistemas de impermeabilização com base em produtos líquidos ou pastosos (SIBPLP) disponíveis no mercado nacional. A determinação da resistência ao punçamento é feita de acordo com os documentos normativos vigentes para este tipo de produtos [3, 4]. A partir dos resultados obtidos, pretende-se confirmar se são cumpridas as exigências relativas a cargas de serviço para os tipos de cobertura estipulados no guia Europeu para os SIBPLP.

Sendo a resistência à tracção uma das características vulgarmente utilizadas para descrever o comportamento mecânico dos revestimentos de impermeabilização, considera-se também importante determiná-la. No entanto, não sendo esta uma das características utilizadas para descrever este tipo de revestimento no respectivo guia Europeu, a sua determinação é feita de acordo com a norma referente a membranas betuminosas [5].

O comportamento mecânico de SIBPLP está dependente de diversos parâmetros, de que são exemplo a natureza do produto líquido ou pastoso utilizado, o número de demãos aplicadas ou a utilização de armadura. Pretende-se estudar a influência destes parâmetros nas

características mecânicas já citadas. Para tal, foram submetidos a ensaio não só os sistemas recomendados pelos fabricantes, de diversas naturezas, mas também sistemas resultantes da variação dos restantes parâmetros.

As exigências relativas a cargas de serviço devem ser mantidas sob o efeito dos agentes atmosféricos, de que são exemplo as temperaturas extremas, a radiação solar, a água ou combinações destes. A verificação deste requisito requer uma campanha de ensaios extensa, para a qual é difícil reunir condições. O ensaio de flexibilidade a baixa temperatura [6] efectuado no presente estudo pretende ser apenas uma forma expedita de detectar uma possível sensibilidade dos revestimentos a estas condições, que resultasse claramente na incapacidade de respeitar o requisito supracitado.

A exigência de estanqueidade à água é a mais importante das exigências de aptidão ao uso para os revestimentos de impermeabilização. É essencial que os revestimentos sejam eficazes na utilização para a qual foram concebidos, opondo-se à passagem de água do exterior para a camada subjacente. Assim, é também essencial determinar se os sistemas ensaiados cumprem esta exigência, submetendo-os ao procedimento e às condições descritas na norma adequada [7].

Deseja-se que este documento aumente e difunda o conhecimento sobre os sistemas de impermeabilização com base em produtos líquidos ou pastosos, permitindo fundamentar as opções de quem prescreve um revestimento de impermeabilização.

1.3. Organização da dissertação

Neste ponto, descreve-se sucintamente os conteúdos apresentados ao longo do documento, para que seja clara a relação entre eles e a ordem pela qual são apresentados.

No presente capítulo, descrevem-se brevemente as características de uma cobertura em terraço que levam à necessidade da aplicação de um revestimento impermeabilizante. Serve este capítulo, também, para justificar a necessidade de adquirir conhecimento sobre as soluções não-tradicionais baseadas em produtos líquidos ou pastosos. Referem-se ainda as principais exigências para este tipo de revestimento e o método utilizado para verificar, de entre estas, as que foram abordadas ao longo do estudo.

O capítulo 2 inicia-se com uma nota introdutória à evolução dos revestimentos de impermeabilização e descreve as principais famílias de produtos líquidos ou pastosos para impermeabilização, com maior detalhe para os produtos disponíveis no mercado nacional. Este capítulo explicita ainda a abordagem das normas Europeias à classificação dos sistemas de impermeabilização baseados nestes produtos.

No capítulo 3, descreve-se a campanha experimental necessária para atingir os resultados que este trabalho se propôs obter e as limitações e condicionantes que a afectaram. Descrevem-se ainda todos os ensaios realizados:

- ensaio de estanqueidade;

- ensaio de resistência ao punçoamento dinâmico;
- ensaio de resistência ao punçoamento estático;
- ensaio de resistência à tracção;
- ensaio de flexibilidade a baixa temperatura.

No mesmo capítulo, registam-se as características relevantes dos sistemas ensaiados e descrevem-se os diversos métodos utilizados para obter amostras dos revestimentos. São ainda explicitadas as principais dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da campanha experimental.

No capítulo seguinte, sumariza-se os resultados obtidos para as características mecânicas estudadas e é feita uma análise comparativa entre os revestimentos estudados. Analisa-se ainda as influências de diversos parâmetros no desempenho dos revestimentos e verifica-se o cumprimento de algumas das exigências a que estão sujeitos.

No último capítulo, refere-se as principais conclusões retiradas do estudo desenvolvido e sugere-se iniciativas que o completem ou complementem.

2. Estado da arte

2.1. Considerações gerais

A prática de impermeabilização de coberturas em terraço com recurso a produtos líquidos ou pastosos tem uma experiência acumulada de mais de 100 anos, inicialmente com o sistema *built-up roofing* (BUR) que consiste na sobreposição de 3 a 5 camadas de tela de feltro revestida com betume aplicado a quente. O revestimento resultante da aplicação destes produtos, por ser executado no local, tem a vantagem, quando comparado com membranas prefabricadas, de ser contínuo, sem necessidade de execução de juntas, de se adaptar com facilidade a formas arquitectónicas complexas e em assegurar mais facilmente a estanqueidade de zonas de remate. Este sistema representava ainda, em 2007, 20% das impermeabilizações de coberturas instaladas nos Estados Unidos da América [8].

Para responder à necessidade de impermeabilização de lajes extensas em betão leve, surgiram na década de 1970 os sistemas executados com betume modificado com polímeros, que melhoram o seu comportamento mecânico e o tornam menos susceptível aos efeitos do envelhecimento. Este sistema prescinde da instalação de múltiplas camadas de feltro, necessitando tipicamente apenas de reforço com uma camada de feltro de poliéster, o que torna a sua execução mais expedita, em particular em superfícies extensas.

A necessidade de executar coberturas onde a utilização de caldeiras para aquecimento do betume estivesse restringida, ou a presença de fumos durante a instalação não fosse aceitável, levou ao desenvolvimento da tecnologia BUR aplicada a frio, disponível deste meados da década de 1970. Neste sistema, o betume modificado com adição de solvente é apenas utilizado como adesivo entre telas de reforço, geralmente previamente revestidas, e aplicado a frio ou ligeiramente aquecido para facilitar a projecção [9].

Devido às preocupações e legislações ambientais e de segurança e saúde no trabalho associadas aos sistemas aplicados a quente, os sistemas aplicados a frio têm ganho mais recentemente quota de mercado, mesmo em mercados com grande tradição no uso de sistemas de impermeabilização de coberturas baseados em produtos betuminosos aplicados a quente, caso dos Estados Unidos da América. Ao mesmo tempo que reduzem os riscos de acidentes de trabalho, estes sistemas permitiram reduzir a necessidade de equipamento especializado e o tempo de preparação da aplicação, ao dispensarem o aquecimento prévio do betume em caldeiras e o uso de maçaricos [10].

Possivelmente devido aos custos mais elevados da energia e dos materiais derivados do petróleo na Europa, surgiram aí, na década de 1950, os primeiros revestimentos de impermeabilização elastoméricos, após ensaios a produtos poliméricos [11]. Um revestimento polimérico aplicado em estado líquido havia já sido utilizado para proteger equipamento militar excedente da oxidação e deterioração no final da Segunda Guerra Mundial [12].

Os revestimentos elastoméricos aplicados a frio em estado líquido são contínuos, sem juntas, e têm boa aderência à maioria dos materiais aplicados na construção. Os sistemas com base em produtos líquidos aplicados a frio têm as vantagens já referidas para os sistemas BUR aplicados a frio e podem ainda ter o benefício de, durante a aplicação, serem isentos de odor e solventes, não-tóxicos e higiénicos, admitindo a limpeza do equipamento apenas com água. A facilidade de aplicação destes sistemas, admitindo o uso de rolo, trincha, espátula ou talocha, é conivente com a conjuntura actual na construção, com recurso a mão-de-obra temporária e pouco especializada. O risco de comprometer a estanqueidade do revestimento em zonas singulares é menor, quando comparado com o dos sistemas de telas prefabricadas, por dispensar a execução de juntas e pela facilidade em executar remates com paredes ou tubagens emergentes, potenciada pela boa aderência e moldagem do revestimento no local.

Na Figura 2.1, observa-se a cobertura de uma estufa botânica em Frankfurt, Alemanha, cujas 169 clarabóias adjacentes entre si representaram um desafio para o sistema de impermeabilização a escolher aquando da sua renovação. A quantidade elevada de remates a executar em espaços confinados implicou que, em particular nessas zonas, onde o anterior sistema de impermeabilização em telas betuminosas prefabricadas permitia infiltrações, um revestimento elastomérico aplicado em estado líquido constituísse a melhor solução [13].



Figura 2.1 – Sistema de impermeabilização em poliéster líquido aplicado a frio sobre cobertura com elevada quantidade de remates [13].

Pelo facto de estes revestimentos elastoméricos serem executados no local, é de elevada importância assegurar que a sua espessura é adequada e regular. A espessura do revestimento é assegurada garantindo o consumo especificado pelo fabricante do produto líquido, dado por quilograma de produto a aplicar por cada metro quadrado de superfície do suporte. Uma vez que os produtos de impermeabilização líquidos aplicados a frio são tendencialmente de base aquosa, a sua cura está dependente das condições de evaporação, razão pela qual é necessária atenção às condições atmosféricas durante a aplicação, em particular à chuva iminente. Pela mesma razão, e em comparação com os sistemas BUR aplicados a quente ou com os sistemas de telas prefabricadas, os revestimentos elastoméricos aplicados em estado líquido têm a desvantagem de apenas aceitarem tráfego após um período

de cura. Este período pode variar entre poucos dias a um mês, dependendo da natureza do produto utilizado e das condições atmosféricas.

Para além de permitirem executar um revestimento de impermeabilização sobre formas complexas, característica que partilham com os produtos líquidos aplicados a quente, os produtos líquidos aplicados a frio estão geralmente disponíveis numa paleta alargada de cores, conferidas pela adição de pigmentos, de forma a complementar soluções arquitectónicas invulgares ou a permitir optar por cores claras que maximizem a reflectância solar.

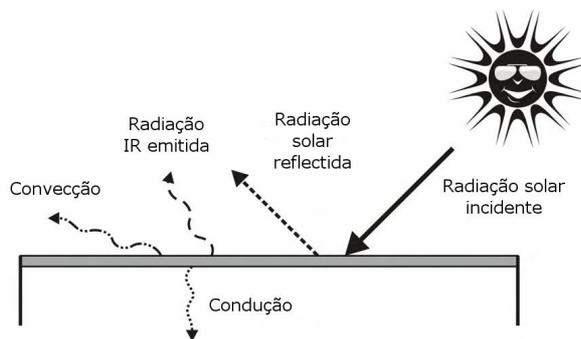


Figura 2.2 – Mecanismos de transferência de calor numa cobertura (adaptado de [14]).

A Figura 2.2 esquematiza os mecanismos de transferência de calor numa cobertura. A vida útil de um revestimento de impermeabilização exposto está dependente, entre outros factores, dos seus valores característicos de reflectância e emitância, que têm influência na celeridade dos processos de degradação.

A reflectância solar, ou albedo, representa a percentagem reflectida da energia da luz solar incidente numa superfície. Materiais com elevada reflectância em todo o espectro da luz solar têm maior estabilidade dimensional (sujeitos a tensões menores), por rejeitarem grande parte da energia solar em forma de calor, concentrada maioritariamente nos comprimentos de onda infravermelhos (IR), e estão menos sujeitos a processos de degradação química, para a qual a exposição a radiação ultravioleta (UV) é um factor. Valores elevados da reflectância solar estão geralmente associados a materiais de cor clara, embora existam pigmentos, desenvolvidos para aplicações militares, que apesar de escuros têm alta reflectância nos comprimentos de onda IR.

A emitância indica a relação entre a radiância de um material e a de um corpo negro radiante à mesma temperatura e comprimento de onda. Na prática, a emitância representa a facilidade com que um material liberta energia, em particular sob a forma de calor, associado à radiação IR [15].

A execução de coberturas em cores claras, de elevada reflectância, pode também conduzir à diminuição dos gastos com a energia de climatização dos edifícios. Esta economia resulta da diminuição da necessidade de arrefecimento e é apenas eficaz, portanto, em climas quentes. Em climas frios, onde as necessidades de aquecimento ultrapassem largamente as de

arrefecimento, e do ponto de vista estritamente energético, uma cobertura de acabamento com baixa reflectância, em cor escura, pode continuar a ser vantajosa [8].

Na Tabela 2.1, apresentam-se valores da reflectância e emitância de alguns materiais de impermeabilização de coberturas. A diferença de temperatura indicada é a diferença máxima de temperatura da cobertura em relação à temperatura ambiente [16].

Tabela 2.1 – Reflectância e emitância solar de materiais e sistemas de impermeabilização [16].

Material	Reflectância	Emitância	Diferença de temperatura (°C)
Betuminoso	0,06	0,86	46
Cascalho escuro sobre sistema BUR	0,12	0,90	42
Cascalho claro sobre sistema BUR	0,34	0,90	32
Cascalho pintado de branco sobre sistema BUR	0,65	0,90	16
EPDM preto	0,06	0,86	46
EPDM cinzento	0,23	0,87	38
EPDM branco	0,69	0,87	14
Acrílico de base aquosa sem pigmentação	0,54	0,91	21
Acrílico de base aquosa verde	0,16	0,91	40
Acrílico de base aquosa branco	0,85	0,91	5

As coberturas de elevada reflectância são também tidas como acção mitigadora do efeito de ilha de calor urbana, verificado em zonas urbanas densas, cuja temperatura é significativamente superior à das zonas rurais circundantes. Embora com um impacte pouco significativo, ficou já provado que o uso de coberturas de cores claras é eficaz na redução da temperatura ambiente exterior em zonas urbanas.

Num estudo recente [17], foram identificados dois quarteirões de características semelhantes numa zona residencial de Filadélfia, cujas coberturas foram executadas com sistemas de impermeabilização betuminosos, de cor escura. Num dos quarteirões, as coberturas de todas as habitações foram revestidas com um produto líquido elastomérico acrílico de cor branca, como ilustrado na Figura 2.3, e as temperaturas exteriores registadas e comparadas com as do quarteirão de controlo, que não foi sujeito a esta intervenção. As temperaturas registadas no quarteirão de coberturas claras foram consistentemente mais baixas, embora com pouca

expressão, sendo no máximo 1 °F inferiores às do quarteirão de controlo, para uma temperatura ambiente de cerca de 100 °F (38 °C).

Sempre que se fizerem considerações sobre o impacte que as coberturas de cor clara têm sobre o ambiente ou despesas energéticas é, no entanto, necessário considerar a perda de reflectância resultante da acumulação de sujidade. Para coberturas brancas, há um decréscimo de cerca de 20% [18] da reflectância a longo prazo, ocorrendo a maior parte da perda no primeiro ano após a sua execução.



Figura 2.3 – Aumento da reflectância solar de cobertura betuminosa com aplicação de revestimento elastomérico acrílico branco [17].

2.2. Sistemas de impermeabilização com base em produtos líquidos ou pastosos (SIBPLP)

A conjugação de produtos líquidos ou pastosos para impermeabilização, primários para garantia da correcta aderência ao suporte e de armaduras de reforço, resulta em sistemas de impermeabilização de complexidade e fins diferentes. A sua eficácia está também dependente, à semelhança do que acontece com os sistemas baseados em membranas prefabricadas, entre outros aspectos, da correcta execução da cobertura, com pendentes adequadas, um número suficiente de tubos de queda e o correcto dimensionamento de juntas de dilatação.

2.2.1. Sistema não-armado

Apesar da boa aderência da generalidade dos produtos de impermeabilização líquidos ou pastosos às superfícies mais usuais na construção, a utilização de um primário, em particular quando houver resíduos de sistemas de impermeabilização anteriores, garante a aderência ao suporte e constitui, por si só, um reforço da impermeabilização.

Um sistema simples de impermeabilização consiste, então, na aplicação de um produto líquido ou pastoso de impermeabilização sobre um primário que garanta a aderência adequada ao suporte ou, quando a natureza e as condições deste o permitirem, directamente sobre o suporte.

O uso de um sistema simples está geralmente limitado pelas propriedades do produto impermeabilizante utilizado que, uma vez que não possui armadura de reforço, deverá ser capaz de resistir por si só às tensões impostas pelo suporte. Por esta razão, a aplicação deste tipo de sistema está limitada a coberturas estáveis, com baixa probabilidade de fissurar de forma generalizada e, portanto, com um número adequado de juntas de dilatação e em edifícios cuja construção não seja recente.

Na Figura 2.4, pode observar-se que, quando aplicado sobre um suporte instável, simulado pela aplicação sobre ladrilhos, com recurso a um primário, e sujeitos repetidamente à flexão, ocorrem fendas de tracção no revestimento impermeabilizante. Este sistema representa, no entanto, para os suportes com estabilidade adequada, uma solução económica e expedita, em particular, em coberturas com singularidades numerosas, onde os sistemas armados necessitariam de maior atenção na disposição e adaptação da armadura nas zonas de remates.

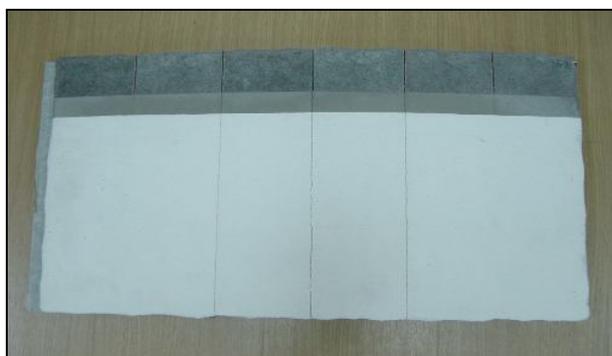


Figura 2.4 – Fissuração de sistema de impermeabilização não-armado sobre suporte de ladrilhos cerâmicos.

2.2.2. Sistema armado

Um sistema armado adiciona ao sistema simples uma rede, geralmente em fibra de vidro, que deverá ser aplicada sobre a primeira demão do produto impermeabilizante e coberta com as seguintes. Na Figura 2.5, podem observar-se as sucessivas camadas de um sistema armado, desde o suporte revestido com primário, à direita, seguido da rede de fibra de vidro, que é envolvida pela camada de produto impermeabilizante. A camada seguinte serve de assentamento para o revestimento de protecção, que deverá ser colocado em coberturas acessíveis.

A rede, disponibilizada em rolos, deverá ser aplicada de modo a sobrepor-se em pelo menos 0,10 m nas extremidades, como pode observar-se na Figura 2.6, para garantir que as tensões se transmitam entre troços de rede independentes. Na mesma figura, observa-se também que, em zonas de remates com muretes e paredes, as boas práticas de execução de uma impermeabilização com revestimentos prefabricados se mantêm, devendo o revestimento acompanhar o murete até alguma altura acima do nível do piso, sob o reboco final. Nos casos

em que a rede de reforço tem uma malha regular ortogonal, o seu comportamento é significativamente diferente se for solicitada segundo as direcções principais da malha ou numa direcção oblíqua a estas (caso em que é mais deformável), reflectindo-se esta propriedade também no comportamento do revestimento.



Figura 2.5 – Estratificação de sistema de impermeabilização armado com revestimento de ladrilhos cerâmicos.



Figura 2.6 – Tratamento de zona de remate com superfície vertical em sistema cimentício.

2.2.3. Sistema semiaderido

Em suportes instáveis, dos quais são exemplo os terraços sem juntas de dilatação e esquadramento, ou com uma quantidade insuficiente destas, e com fissuração generalizada, os revestimentos completamente aderidos ficam sujeitos a tensões localizadas mais frequentes e/ou significativas do que em suportes estáveis com menor probabilidade de fissurar. Consideram-se ainda como suporte instável as placas de isolamento térmico, ladrilhos e betonilhas sobrejacentes a membranas de impermeabilização anteriormente existentes.

Um sistema semiaderido é formulado de forma a que apenas parte da superfície total do revestimento fique aderida, permitindo que, quando o revestimento é francamente solicitado, esta se solte nas zonas contíguas à secção mais solicitada. Na eventualidade da formação de uma fissura no suporte, o facto de o revestimento se descolar deste nas zonas contíguas à fissura permite que as tensões provocadas pelo deslocamento sejam absorvidas por uma maior extensão de material do revestimento, quando comparada com a de um sistema totalmente aderido na mesma situação, garantindo melhor a integridade da impermeabilização. Na Figura 2.7 a), pode observar-se um sistema semiaderido aplicado sobre um painel de ladrilhos cerâmicos submetido à flexão até à formação de uma fissura numa das juntas entre ladrilhos. Flectindo o painel no sentido inverso, verifica-se que, nas imediações da fissura, o revestimento se descola do suporte e mantém a integridade (Figura 2.7 b)).

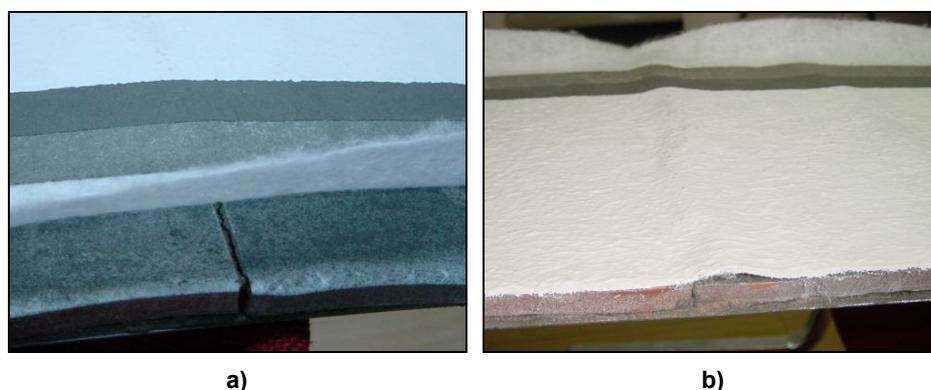


Figura 2.7 – Sistema semiaderido sobre suporte de ladrilhos cerâmicos: a) solicitação mecânica do suporte e abertura de fissura na junta dos ladrilhos; b) descolamento do revestimento na secção fissurada.

Um exemplo de um sistema semiaderido comercializado em Portugal consiste num produto cimentício, especialmente formulado para este sistema, aplicado a rolo sobre uma tela de tecido não-tecido, semelhante a um feltro, estendida sobre o suporte [19]. A permeabilidade irregular da tela usada permite que o produto penetre e atinja o suporte, provocando a aderência do revestimento final, apenas em zonas pontuais. Aplicando este sistema sobre uma película plástica transparente, consegue-se observar, depois do produto endurecido, a zona inferior do revestimento que ficaria em contacto com o suporte. Na Figura 2.8 a), pode-se constatar que apenas parte da área em contacto com o suporte ficaria aderida, correspondendo as zonas mais escuras às zonas em que o produto impermeabilizante conseguiu penetrar a tela e atingir o suporte.

Há ainda vantagens em aplicar pontualmente sistemas semiaderidos sobre juntas de dilatação ou esquadramento, permitindo a dessolidarização entre o revestimento final utilizado e o suporte, como ilustrado na Figura 2.8 b). Para além dos revestimentos serem dessolidarizados do suporte numa extensão de cerca de 0,10 m para cada lado das juntas de dilatação, estas

devem ainda ser previamente colmatadas com mastique ou cordões, preferivelmente vedantes, adequados.

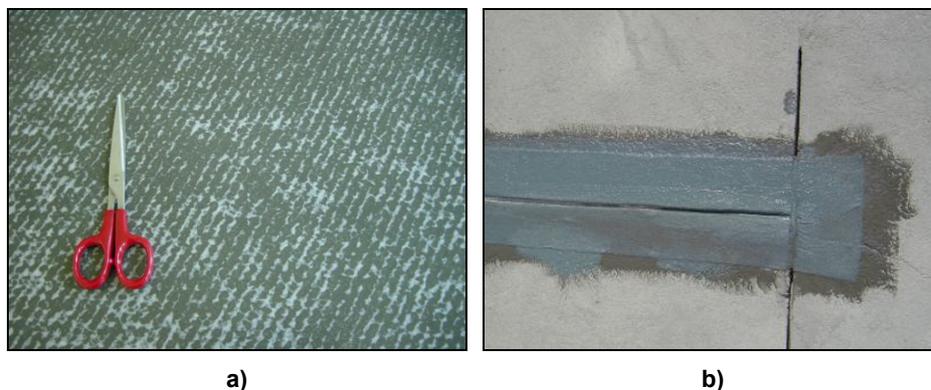


Figura 2.8 – Sistema semiaderido: a) aspecto da face inferior que contacta com o suporte; b) aplicado sobre junta de dilatação.

2.3. Composição e propriedades dos produtos de impermeabilização líquidos ou pastosos

As Partes 2 a 6 da norma Europeia para a avaliação de SIBPLP, o ETAG 005 [2], descrito em 2.3, expandem e/ou modificam as exigências estabelecidas na Parte 1 - Geral, tendo em conta a respectiva família de produtos a que se referem. No presente subcapítulo, pretende-se compilar informações sobre a composição e as propriedades das diferentes famílias de produtos previstas no ETAG e, com maior detalhe, de produtos disponíveis no mercado nacional adequados para coberturas em terraço, enquadrando-os na respectiva família.

2.3.1. Emulsões e soluções de betume modificadas com polímeros

A Parte 2 do ETAG 005 refere-se a produtos betuminosos modificados pela adição de polímeros, apresentando-se sob a forma de uma emulsão aquosa ou uma solução de hidrocarbonetos em solvente, destinados a aplicação a frio, ou ligeiramente aquecidos para facilitar a projecção. Nestes produtos, o betume é modificado com polímeros ou copolímeros que conferem propriedades melhoradas ao revestimento resultante, como menor susceptibilidade à temperatura, em particular flexibilidade melhorada a baixas temperaturas, e melhores características de envelhecimento. Na matriz de betume-polímero, resultante da combinação do betume com, geralmente, polímero estireno-butadieno-estireno (SBS), em concentrações de 15-25%, o betume protege o polímero e resulta num composto que retém características deste, com menor susceptibilidade de serem alteradas por exposição solar ou aos elementos atmosféricos [9].

Na Figura 2.9, representa-se a absorção de betume asfáltico e de alcatrão pelo copolímero SBS. O facto de o alcatrão ser absorvido nos domínios do estireno e do butadieno, formando uma estrutura cilíndrica, foi ligado num estudo à melhor durabilidade deste composto, quando comparada com a de um composto de betume asfáltico que apenas é absorvido pelo butadieno. Após envelhecimento acelerado, sujeito a radiação UV e humidade, as características de flexibilidade a baixa temperatura mantiveram-se no composto de alcatrão, enquanto que a temperatura mínima de flexibilidade do composto de betume asfáltico subiu 8,6 °C [20].

Os produtos betuminosos aplicados a frio são geralmente usados como adesivo entre telas previamente revestidas. O solvente amolece o betume que reveste as telas e, à medida que se evapora, forma-se um sistema de núcleo homogéneo, onde as camadas formadas pelas telas não se distinguem. Este tipo de produtos pode ainda conter cargas ou fibras inertes e adequar-se à aplicação por rolo ou projecção ou ainda ter uma viscosidade adequada à aplicação por espalhamento com espátula ou talocha [9].

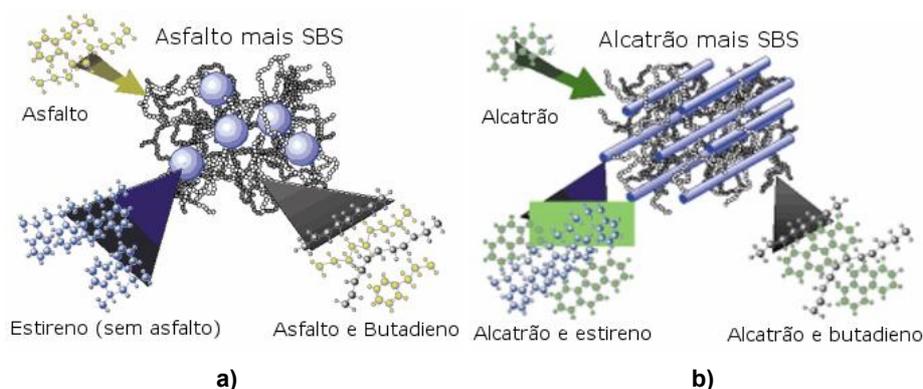


Figura 2.9 – Compostos betume-polímero: a) absorção do asfalto apenas no domínio do polímero butadieno; b) absorção do alcatrão nos domínios do estireno e do butadieno (adaptado de [20]).

Adicionalmente, os sistemas de impermeabilização com base em betume modificado, por possuírem cor escura, podem necessitar de um revestimento que aumente a sua reflectância e algumas emulsões podem necessitar de um catalisador de forma a iniciar o processo de cura.

2.3.2. Resinas de poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro

Estes sistemas, vulgarmente designados por GRP e previstos na Parte 3 do ETAG 005, são aplicados a frio no local e consistem em duas camadas de resina de poliéster pigmentada, geralmente de cor cinzenta, a envolver uma tela de fibra de vidro. A resina usada é especialmente formulada de forma a garantir uma combinação adequada de flexibilidade e elasticidade que não está geralmente disponível nas resinas deste tipo. A resina requer a mistura de um catalisador líquido de forma a iniciar o processo de cura e mantém a

trabalhabilidade durante um período muito limitado de tempo. O processo de cura da camada superficial do sistema termina após 24 a 48 horas [21].

2.3.3. Resinas flexíveis de poliéster insaturado

Na Parte 4 do ETAG 005, referem-se os sistemas de resinas de poliéster insaturado, formuladas para um comportamento altamente flexível e elástico e reforçadas com tecido de poliéster. À semelhança dos sistemas GRP, as resinas são pigmentadas e necessitam de ser misturadas com um catalisador, caracterizando-se por uma cura rápida [21].

2.3.4. Betumes modificados com polímeros aplicados a quente

Este tipo de produto é fornecido no estado semi-sólido, à temperatura ambiente, e necessita de ser aquecido no local, utilizando para tal uma caldeira regulada para a temperatura de aplicação. As caldeiras adequadas ao aquecimento de betumes modificados devem ser capazes de aquecer o produto de forma homogénea, pois temperaturas acima dos 218 °C causam danos à matriz asfalto-polímero. O material é espalhado sobre o suporte, previamente revestido com uma tela de feltro, usualmente de poliéster, que é impregnada, de forma a garantir a espessura recomendada e solidificar à medida que arrefece, aceitando tráfego após um período curto de tempo. Devido à sua sensibilidade à radiação UV, este sistema apenas pode ser usado em coberturas invertidas, verdes ou com um revestimento ou protecção pesada adequados, razão pela qual se justifica que, na Parte 5 do ETAG 005, não se exijam ensaios de exposição a este tipo de radiação. Pelo facto de os fumos do alcatrão terem sido considerados carcinogénicos, embora apenas para períodos longos de exposição, a utilização de betumes aplicados a quente restringe-se geralmente a betumes asfálticos [10].

2.3.5. Poliuretanos

A Parte 6 do ETAG 005 engloba os produtos da família dos poliuretanos, podendo ser monocomponentes ou bicomponentes. É usual a aplicação de uma camada que formará o revestimento impermeabilizante, geralmente numa cor escura, seguida de uma camada de acabamento resistente à radiação UV e pigmentada, com um leque de cores disponível que permite complementar soluções arquitectónicas invulgares ou optar pela cor branca para máxima reflectância solar. Os revestimentos com base em poliuretano apresentam boa resistência por si só, podendo ser reforçados em casos pontuais, e são geralmente aplicados por projecção, permitindo também a aplicação com rolo. A cura rápida permite que este tipo de produto seja aplicado continuamente entre superfícies horizontais e paramentos verticais, quando necessário, e as suas propriedades são adequadas ao uso em coberturas ajardinadas, oferecendo boa resistência à acção das raízes [21].

Um dos produtos desta família, comercializado a nível nacional e de acordo com as informações técnicas do respectivo fornecedor, caracteriza-se por dar origem a um

revestimento com boa resistência química, não sendo afectado por água do mar, chuvas ácidas, óleo ou petróleo, podendo estar em contacto permanente com água estagnada [22].

2.3.6. Emulsões e soluções betuminosas

As emulsões e soluções betuminosas simples, não modificadas com a adição de polímeros, enquadram-se na Parte 7 do ETAG 005 e, à semelhança do que acontece para os produtos betuminosos modificados, podem conter fibras de reforço e ser aplicados por projecção ou rolo ou necessitar de um revestimento final que os proteja da radiação UV ou tenha alta reflectância solar. Os produtos betuminosos geralmente aplicados nos sistemas BUR, onde impregnam múltiplas camadas de telas de feltro, enquadram-se nesta categoria.

2.3.7. Polímeros em dispersão aquosa

Os produtos compostos por polímeros ou copolímeros aglutinantes em dispersão aquosa, com cargas e/ou aditivos, inserem-se na Parte 8 do ETAG 005. A cura deste tipo de revestimento dá-se essencialmente com a evaporação da água, num processo de coalescência (Figura 2.10).

O processo de formação da película inicia-se com a evaporação da água e conseqüente aproximação das partículas do polímero, que se deformam a temperaturas superiores à temperatura designada de temperatura mínima para formação da película. O processo de coalescência inicia-se com o desaparecimento das faces das partículas do polímero, o que permite a interdifusão das cadeias poliméricas e a conseqüente formação de uma película polimérica estável [23].

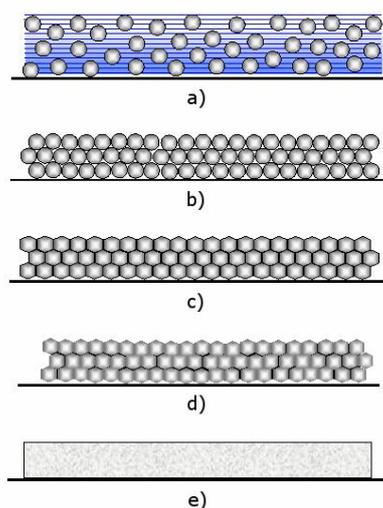


Figura 2.10 – Processo de cura de sistema polimérico em dispersão aquosa: a) partículas de polímero em dispersão aquosa; b) evaporação da água e conseqüente aproximação das partículas de polímero; c) deformação das partículas do polímero; d) início do processo de coalescência; e) interdifusão das partículas do polímero e formação da película (adaptado de [23]).

Pelo facto de os produtos que se enquadram nesta família terem base aquosa, a sua aplicação é feita em melhores condições de higiene e segurança do que a de produtos com base em solventes agressivos, permitindo a limpeza das ferramentas apenas com água, enquanto o produto se mantiver fresco.

A disponibilidade no mercado nacional de diversos produtos que se enquadram na família dos polímeros em dispersão aquosa, adequados à impermeabilização de coberturas em terraço, justifica uma reflexão mais detalhada sobre as propriedades de produtos específicos.

2.3.7.1. Produto cimentício de dois componentes à base de resinas de acrilatos

Este produto tem particular interesse em obras de reabilitação de edifícios antigos e em coberturas acessíveis revestidas com ladrilhos. Refira-se que, embora este produto seja cimentício, o seu componente líquido é baseado num polímero acrílico, razão pela qual se decidiu incluí-lo nesta categoria.

Um dos produtos que se enquadram nesta categoria consiste na mistura de uma parte (em peso) de um componente líquido resinoso, com base em polímero acrílico, com três partes de um componente sólido de areia e cimento portland, resultando numa pasta adequada ao espalhamento com talocha ou espátula, como ilustrado na Figura 2.11. A pasta resultante, disponível principalmente nas cores cinzento e marfim, deverá ser sempre aplicada em sistema armado sobre rede de fibra de vidro, tratada contra os álcalis do cimento, de forma a envolvê-la. Uma vez que o produto inclui cimento na sua constituição e que as reacções de hidratação que este sofre consomem água, admite-se que o suporte sobre o qual é aplicado possa apresentar-se húmido, não devendo, no entanto, haver acumulação de água à superfície, o que constitui uma vantagem quando comparado com outros produtos [24].

Após secagem do produto, forma-se um revestimento com espessura compreendida, para aplicações correntes, entre 3 e 4 mm em estado húmido, o que equivale a um consumo entre cerca de 5,40 e 7,20 kg/m² [24].



Figura 2.11 – Aplicação de produto cimentício sobre rede de fibra de vidro.

A boa compatibilidade e boa aderência dos produtos à base de polímeros em dispersão aquosa a uma variedade de materiais confere a este produto cimentício um particular interesse na sua aplicação em obras de reabilitação com rebocos tradicionais de cal, pobres em ligante. Nos remates com paredes e muretes, como ilustrado na Figura 2.12, a aderência ao reboco pode ser mais facilmente garantida, em comparação com as soluções tradicionais de membranas betuminosas.



Figura 2.12 – Remate de sistema cimentício com parede emergente.

O assentamento de ladrilhos sobre o produto cimentício pode ser feito com a pasta resultante da mistura de uma parte (em peso) do componente líquido resinoso com uma parte de água e seis partes do componente sólido. Esta formulação diferente resulta numa pasta que mantém alguma elasticidade e permite também o preenchimento de juntas entre ladrilhos, garantindo a compatibilidade com o revestimento de impermeabilização. As variações volumétricas dos ladrilhos, por absorção de humidade ou variações térmicas, são assim permitidas.

2.3.7.2. Produto pastoso de copolímeros acrílicos em dispersão aquosa

O produto encontra-se na forma de uma massa pastosa à base de copolímeros acrílicos em dispersão aquosa com dupla reticulação, que lhe confere a propriedade de formação de um revestimento, não só através da evaporação da água e coalescência das partículas do polímero, mas também resultante da incidência da luz natural (fotoreticulação).

A pasta tem uma consistência adequada à aplicação com rolo, embora, com vista a uma melhor produtividade, seja prática aceitável o uso de talocha nas demãos que devem embeber a armadura em rede de fibra de vidro. Sendo um produto em dispersão aquosa, dependente da evaporação para a formação de um revestimento, deverá evitar-se a aplicação em períodos chuvosos. Para um exemplo de um produto deste tipo, em sistema armado, deverá obter-se um consumo de 2,5 a 3 kg/m², o que resulta numa espessura de revestimento de cerca de 3 mm em estado húmido [25].

As coberturas não acessíveis representam o principal campo de aplicação deste produto, como ilustrado na Figura 2.13, ficando o revestimento, que é resistente ao tráfego pedonal leve para manutenção ou limpeza, à vista. Em sistema semiaderente, é adequado a suportes instáveis. Este produto está disponível num leque alargado de cores, permitindo optar pelo branco, para uma maior reflectância da radiação solar e, conseqüentemente, maior estabilidade térmica e dimensional.



Figura 2.13 – Cobertura com elevada quantidade de singularidades, executada com produto acrílico.

2.3.7.3. Produto fibroso de copolímeros acrílicos em dispersão aquosa

Às propriedades do produto referido em 2.1.7.2, este produto fibroso acrescenta uma resistência mecânica melhorada através da adição de fibras, dispensando a utilização de armadura em rede de fibra de vidro quando aplicado sobre coberturas estáveis não-transitáveis, o que conduz a uma aplicação mais expedita [26].

Uma vez que as fibras incluídas na pasta se dispõem aleatoriamente, o revestimento resultante após secagem tem um comportamento semelhante em todas as direcções, o que não acontece em sistemas armados com rede, por esta ter uma malha rectangular regular, com comportamento diferente em direcções que se afastem das direcções principais da malha.

2.3.7.4. Produto de silicone em dispersão aquosa

O aparecimento recente deste produto resultou do domínio da tecnologia que permite que a silicone se encontre numa dispersão aquosa, com vantagens de higiene e saúde, e tenha uma consistência adequada para aplicação com rolo, trincha ou espátula. A consistência singular deste produto permite que, apesar de se espalhar com facilidade, o produto tenha algum poder de preenchimento, ou seja, permita preencher cavidades e regularizar o suporte mesmo em condições de verticalidade.

À semelhança de outros produtos com base aquosa, apenas deve ser aplicado em tempo seco e deverá evitar-se a aplicação sobre suportes húmidos. Para impermeabilização de terraços, este produto tem um consumo total recomendado de $2,6 \text{ kg/m}^2$, a ser aplicado em pelo menos duas demãos, equivalente a uma espessura em húmido de cerca de 2 mm e deverá obrigatoriamente incorporar armadura [27].

O revestimento forma-se após um período de cura rápido quando comparado com o de outros produtos em dispersão aquosa, garantindo grande parte da capacidade de resistência mecânica após as primeiras 24 horas [27]. Após o período de cura do revestimento, este apresenta elevada resistência à radiação ultravioleta e grande dificuldade de adesão a outros materiais, facto que se mantém mesmo se aplicados sobre o produto ainda em estado fresco. Por esta razão, em terraços onde se exija um revestimento de desgaste, este terá que ser forçosamente do tipo solto.

2.3.8. Borracha líquida

A borracha líquida é um produto de consistência pastosa adequado à aplicação com trincha ou rolo que não se enquadra em nenhuma das famílias de produtos referidas no ETAG 005, dado que, apesar de constituída por um polímero sintético, a sua base não é aquosa.

Uma vez que tem base solvente, a borracha líquida tem um odor agressivo e, em comparação com os produtos de base aquosa, a sua aplicação é menos expedita, sendo necessário limpar imediatamente após a aplicação, e com solvente adequado, os utensílios utilizados, e é mais difícil garantir condições de segurança e higiene adequadas.

Um exemplo deste tipo de produto, disponível a nível nacional, tem um consumo recomendado inferior ao da generalidade dos restantes produtos e deverá ser de cerca de $1,2 \text{ kg/m}^2$ em duas demãos. Na última demão, ainda fresca, poderá ser espalhada areia (Figura 2.14), que proteja o revestimento dos efeitos resultantes da exposição à radiação solar ou que melhore a aderência de um revestimento em ladrilhos, caso a cobertura seja circulável [28].



Figura 2.14 – Espalhamento de areia sobre borracha líquida.

A secagem do produto ocorre em poucos dias, dependendo das condições atmosféricas, sendo no mínimo de 24 horas e, em suportes instáveis, de que são exemplo as construções novas, é aconselhada a incorporação de uma armadura.

2.4. Avaliação do desempenho dos SIBPLP segundo a Organização Europeia para Aprovações Técnicas (EOTA)

2.4.1. Enquadramento da EOTA

A EOTA é uma organização Europeia com origem na Directiva dos Produtos de Construção (DPC) 89/106/CEE, cujo principal objectivo é garantir que os produtos de construção cumpram seis exigências essenciais:

- resistência mecânica e estabilidade;
- segurança em caso de incêndio;
- higiene, saúde e protecção do ambiente;
- segurança na utilização;
- protecção contra ruído;
- economia de energia e isolamento térmico.

A EOTA é responsável pela emissão de Aprovações Técnicas Europeias (ETAs), documentos válidos por um período de cinco anos, que, na inexistência de um *standard* Europeu para uma dada família de produtos, garantem a aptidão do produto para a utilização desejada, através da satisfação das exigências preconizadas na DPC. Juntamente com um atestado de conformidade, que garanta que as especificações de um produto definidas na ETA sejam mantidas pelo fabricante, uma ETA permite associar ao produto a marca CE, conferindo-lhe direito a ser colocado no mercado de qualquer país pertencente ao Espaço Económico Europeu. Na Figura 2.15, encontra-se resumido o processo de emissão de uma ETA [2].

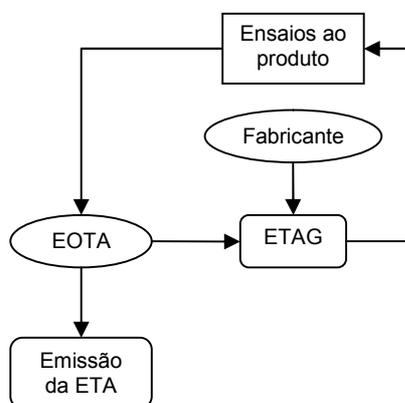


Figura 2.15 – Organograma do processo de emissão de uma ETA.

Os Guias Europeus para a Aprovação Técnica (ETAGs) estabelecem como avaliar, através de ensaios, as características e exigências de uma família específica de produtos de construção, de modo a determinar se deverá ser emitida uma ETA para um produto proposto pelo respectivo fabricante.

2.4.2. Classificação do desempenho dos SIBPLP

As exigências e respectivos métodos de avaliação para os SIBPLP encontram-se definidos no ETAG 005 [2]. Após a avaliação segundo o ETAG 005, a um SIBPLP é atribuída uma categoria segundo cada uma das seguintes características relevantes relacionadas com a utilização pretendida:

- vida útil expectável;
- zona climática;
- carga de serviço;
- pendente da cobertura;
- temperatura mínima à superfície;
- temperatura máxima à superfície.

As categorias associadas a cada um dos aspectos acima mencionados são apresentadas nas tabelas 2.2 a 2.7.

Tabela 2.2 – Categorias de vida útil segundo o ETAG 005.

	Categoria W1	Categoria W2	Categoria W3
Vida útil expectável (anos)	5	10	25

Tabela 2.3 – Categorias de condições climáticas segundo o ETAG 005.

	Categoria M Clima moderado	Categoria S Clima severo
Exposição anual à radiação solar em superfície horizontal	< 5 GJ/m ²	≥ 5 GJ/m ²
Temperatura média do mês mais quente do ano	e < 22 °C	e/ou ≥ 22 °C

Tabela 2.4 – Categorias de carga de serviço segundo o ETAG 005.

Categoria	Carga de serviço	Exemplos de acessibilidade
P1	Baixa	Não-acessível
P2	Moderada	Acessível apenas para manutenção da cobertura
P3	Normal	Acessível para manutenção de plantas e equipamento e tráfego pedestre
P4	Alta	Coberturas ajardinadas, coberturas invertidas, coberturas verdes

Tabela 2.5 – Categorias de pendente da cobertura segundo o ETAG 005.

Categoria	Pendente (%)	Exemplos de possíveis efeitos associados
S1	< 5	<ul style="list-style-type: none"> - Temperaturas baixas extremas (espessura da camada de gelo) - UV / contacto prolongado com água - Carga de serviço (acessibilidade) - Efeitos do contacto prolongado com água - Comportamento ao fogo - Raízes (coberturas ajardinadas e coberturas verdes)
S2	5 - 10	<ul style="list-style-type: none"> - Temperaturas baixas extremas (espessura da camada de gelo) - UV - Carga de serviço (acessibilidade) - Comportamento ao fogo - Raízes (coberturas verdes)
S3	10 - 30	<ul style="list-style-type: none"> - Deslizamento - Temperaturas baixas extremas (neve) - UV - Carga de serviço (acessibilidade) - Comportamento ao fogo - Raízes (coberturas verdes)
S4	> 30	<ul style="list-style-type: none"> - Deslizamento - UV - Carga de serviço (acessibilidade) - Comportamento ao fogo

Tabela 2.6 – Categorias de temperatura mínima segundo o ETAG 005.

Categoria	Zona climática	Protecção da superfície	Temperatura mínima à superfície (°C)
TL1	Todas as zonas climáticas	Coberturas invertidas e coberturas ajardinadas (excluindo coberturas verdes)	+ 5
TL2	Baixa temperatura moderada	Todos os outros sistemas ou coberturas desprotegidas	- 10
TL3	Baixa temperatura severa		- 20
TL4	Baixa temperatura extrema		- 30

Tabela 2.7 – Categorias de temperatura máxima segundo o ETAG 005.

Categoria	Zona climática	Protecção da superfície	Temperatura máxima à superfície (°C)
TH1	Todas as zonas climáticas	Coberturas invertidas e coberturas ajardinadas	30
TH2	Alta temperatura moderada	Coberturas desprotegidas, termicamente isoladas ou coberturas francamente protegidas, incluindo coberturas verdes	60
TH3		Coberturas desprotegidas, termicamente não-isoladas	80
TH4	Alta temperatura severa	Coberturas desprotegidas, termicamente não-isoladas	90

Os Relatórios Técnicos (TRs), preparados pela EOTA especificam os métodos de ensaio que levam à classificação dos produtos para cada uma das características relevantes.

A classificação segundo uma categoria relativa a uma característica relevante de um produto pode influenciar os ensaios necessários para a classificação do produto em relação a outra característica. É assim necessário que o fabricante, que propõe a emissão de uma ETA para um produto seu, estude e decida qual o posicionamento que quer dar ao produto. A título de exemplo, com os resultados obtidos após os ensaios, um fabricante pode conseguir classificar um sistema seu na categoria máxima de carga de serviço se o propuser como adequado

apenas para climas moderados, ou numa categoria de carga de serviço inferior se o propuser como adequado para climas severos. A decisão de indicar o sistema como adequado em climas severos implica condições mais desfavoráveis no ensaio de envelhecimento por calor, após o qual deverão ser feitos ensaios de punçoamento que levam à classificação do sistema numa das categorias de carga de serviço [2].

2.4.2.1. Ensaio relacionados com a vida útil expectável

No ETAG 005, assume-se que a vida útil de um SIBPLP é de 10 anos (categoria W2), sendo admissíveis sistemas com vida útil de 5 anos apenas no caso de se destinarem à reparação ou manutenção. É ainda possível classificar um SIBPLP na categoria W3, com vida útil expectável de 25 anos, se o fabricante puder apresentar exemplos, em situações relevantes, de aplicações do SIBPLP já executadas, com um período de uso de pelo menos 5 anos.

Para além das considerações anteriores, o fabricante terá que reflectir sobre a vida útil do produto sabendo que a classificação numa das categorias de vida útil:

- a) exige demonstração da resistência à fadiga, segundo o TR 008 [29], para a respectiva categoria;
- b) influencia a classificação relativa à carga de serviço admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para os ensaios de punçoamento dinâmico (TR 006 [3]) após:
 - envelhecimento por radiação UV na presença de humidade, segundo o TR 010 [30], à excepção de sistemas com revestimento permanente de protecção;
 - envelhecimento por acção do calor, segundo o TR 011 [31];
- c) influencia a classificação relativa à carga de serviço admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para os ensaios de punçoamento estático (TR 007 [4]) após:
 - envelhecimento por acção da água, segundo o TR 012 [32], apenas para SIBPLP nas categorias S1, S2 ou P4.

2.4.2.2. Ensaio relacionados com a zona climática

A classificação de um SIBPLP segundo uma das duas categorias de zona climática limita a região geográfica onde o sistema pode ser instalado. A escolha de uma categoria de zona climática:

- a) influencia a classificação relativa à carga de serviço admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para o ensaio de punçoamento dinâmico (TR 006) após envelhecimento por acção do calor, segundo o TR 011;
- b) influencia a classificação relativa à carga de serviço admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para o ensaio de punçoamento dinâmico (TR 006) após envelhecimento por acção da radiação UV na presença de humidade, segundo o TR 010.

As zonas climáticas moderada e severa são separadas pela isolinha de exposição à radiação solar de valor 5 GJ/m^2 , representada na Figura 2.16, ficando a zona severa abaixo desta, abrangendo os países mediterrânicos.

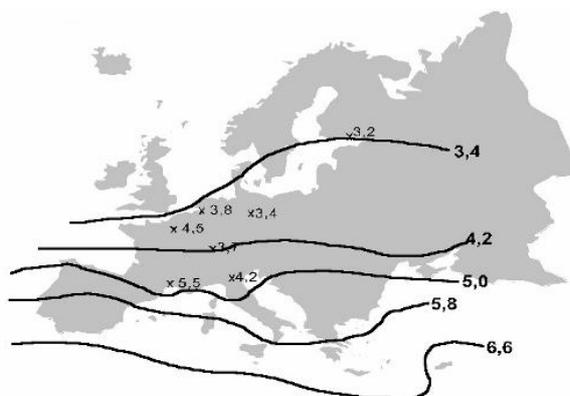


Figura 2.16 – Isolinhas de exposição à radiação solar. Valores anuais médios em GJ/m^2 (adaptado de [30]).

2.4.2.3. Ensaios relacionados com a carga de serviço

Um SIBPLP deverá ser capaz de resistir às solicitações mecânicas devidas à carga de serviço suportada durante a vida útil, essencialmente dependentes do tipo ou acessibilidade da cobertura.

A classificação relativa à carga de serviço de um SIBPLP resulta da menor das categorias obtidas após:

- a) demonstração da resistência mecânica nos ensaios de punçoamento dinâmico (TR 006):
 - em estado novo;
 - após exposição a baixas temperaturas;
 - após envelhecimento por radiação UV na presença de humidade, segundo o TR 010, à excepção de sistemas com revestimento permanente de protecção;
 - após envelhecimento por acção do calor, segundo o TR 011;
- b) demonstração da resistência mecânica nos ensaios de punçoamento estático (TR 007):
 - em estado novo;
 - após exposição a altas temperaturas;

- envelhecimento por acção da água, segundo o TR 012, apenas para SIBPLP nas categorias S1, S2, de pendente, ou P4, de carga de serviço.

2.4.2.4. Ensaios relacionados com a pendente da cobertura

Os efeitos das pendentes da cobertura deverão ser tidos em conta na avaliação do desempenho do SIBPLP sobre ela aplicado. A classificação segundo uma das categorias de pendente:

- a) exige a demonstração da resistência ao deslizamento, de acordo com o TR 009 [33], apenas para as categorias S3 e S4 ou sistemas indicados para aplicação em paramentos verticais;
- b) influencia a classificação relativa à carga de serviço admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para os ensaios de punçoamento estático (TR 007) após envelhecimento por acção da água, de acordo com o TR 012.

2.4.2.5. Ensaios relacionados com a temperatura mínima à superfície

Um SIBPLP deverá manter a sua resistência sob a temperatura mínima esperada durante a sua vida útil, que está dependente da região geográfica indicada como adequada para aplicação do sistema, e do seu nível de protecção.

A classificação segundo uma das categorias relativas à resistência à temperatura mínima à superfície:

- a) exige a demonstração da capacidade de resistir à abertura de fendas, de acordo com o TR 013 [34], apenas para sistemas classificados na categoria TL4;
- b) influencia a classificação relativa à carga de serviço admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para os ensaios de punçoamento dinâmico (TR 006).

2.4.2.6. Ensaios relacionados com a temperatura máxima à superfície

Um SIBPLP deverá manter a sua resistência sob a temperatura máxima esperada durante a sua vida útil, que está dependente da região geográfica indicada como adequada para aplicação do sistema, e do seu nível de protecção.

A classificação segundo uma das categorias relativas à resistência à temperatura máxima à superfície:

- a) exige a demonstração da resistência à carga originada pelo vento em ensaios de delaminação, de acordo com o TR 004 [35];
- b) influencia a classificação relativa à carga de serviço admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para os ensaios de punçoamento estático, de acordo com o TR 007;

- c) influencia a classificação relativa à pendente da cobertura admitida pelo sistema, ao implicar condições específicas para os ensaios de deslizamento, de acordo com o TR 009, apenas para SIBPLP classificados nas categorias S3 ou S4 de pendente da cobertura.

A complexidade da campanha de ensaios definida no ETAG 005, que pretende determinar em que condições um SIBPLP tem um desempenho adequado ao uso pretendido, espelha a diversidade de condições desfavoráveis a que os revestimentos de impermeabilização de coberturas estão sujeitos e os efeitos da interação entre elas. Por outro lado, a grande diversidade de produtos líquidos ou pastosos para impermeabilização contribui para a dificuldade em resumir a informação e desenvolver métodos de ensaio globalmente adequados, mas justifica uma campanha experimental minuciosa que permita determinar as diferenças de comportamento mecânico e de sensibilidade aos agentes atmosféricos.

3. Descrição da campanha experimental

3.1. Planificação da campanha experimental

A campanha de ensaios tem o âmbito limitado à determinação da categoria de carga de serviço dos SIBPLP e dos respectivos níveis de resistência aos punçoamentos dinâmico e estático, avaliados de acordo com o ETAG 005 [2], à determinação da sua resistência à tracção e à verificação da flexibilidade a baixa temperatura.

Os ensaios realizados, em instalações do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), foram limitados pela disponibilidade de equipamento e das condições expressas nos documentos normativos. As condições necessárias para realizar a campanha completa de ensaios de punçoamento dinâmico e estático que leva à classificação inequívoca de um sistema numa das categorias de carga de serviço são apresentadas nas tabelas 3.1 e 3.2. As condições apresentadas são válidas para SIBPLP com vida útil de 10 anos (W2) aplicados sobre terraços (categoria S1 de pendente) e para as condições verificadas em Portugal continental, considerando-os em clima severo (S) e sujeitos a temperaturas à superfície mínima e máxima da categoria TL2 e TH4, respectivamente.

A resistência ao punçoamento dinâmico ou estático de um sistema é, portanto, o menor dos valores registados após ensaios sobre provetes em todos os estados referidos nas tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente.

Tabela 3.1 – Condições dos ensaios de punçoamento dinâmico em estados novo e envelhecido.

Punçoamento dinâmico	
Estado	Condições de ensaio
Novo (TR 006)	23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5%
Novo (ETAG 005 - tabela 6 (a))	- 10 °C
Envelhecido por radiação UV na presença de humidade (ETAG 005 - tabela 12)	23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5%, após dose de 400 MJ/m ² de radiação UV
Envelhecido por acção do calor (TR 011, ETAG 005 - tabela 10)	23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5%, após 100 dias a 80 ± 2 °C

Tabela 3.2 – Condições dos ensaios de punçoamento estático em estados novo e envelhecido.

Punçoamento estático	
Estado	Condições de ensaio
Novo (TR 007)	23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5%
Novo (ETAG 005 - tabela 6 (b))	90 °C
Envelhecido por acção da água (TR 012, ETAG 005 - tabela 13)	90 °C, após expor a superfície superior a água à temperatura de 60 ± 2 °C durante 30 ou 90 dias, caso candidato a classificação P4

Dos ensaios que levam à classificação de um SIBPLP numa das categorias de carga de serviço, apenas foram realizados os de punçoamento dinâmico e estático para provetes em estado novo, pois as condições necessárias para realizar os ensaios a provetes envelhecidos, ou sujeitos a temperaturas extremas, não foram garantidas em número ou por tempo suficiente, de modo a avaliar todos os sistemas considerados. Assim, os valores de resistência ao punçoamento dinâmico e estático e a categoria de carga de serviço atribuídos aos sistemas ensaiados constituem, à partida, majorantes.

A correspondência entre os níveis de resistência obtidos nos ensaios de punçoamento dinâmico e estático e a categoria de carga de serviço do sistema ensaiado é feita de acordo com a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Relação entre categorias de carga de serviço e os níveis de resistência resultantes dos ensaios de punçoamento estático e dinâmico [2].

Categoria de carga de serviço	Nível mínimo de resistência	
	Punçoamento dinâmico	Punçoamento estático
P1	I1	L1
P2	I2	L2
P3	I3	L3
P4	I4	L4

Os SIBPLP sujeitos a ensaio foram realizados com a formulação indicada pelo fabricante e com variações a essa formulação, no que diz respeito à espessura e à utilização de armadura.

Uma vez mais, a consulta de ETAs já emitidas foi essencial para permitir assumir alguns pressupostos que levaram à economia de meios e de tempo. Assim, para produtos que se esperava obterem classificação numa determinada categoria de carga de serviço, dispensou-se a preparação de provetes que cobrissem as necessidades dos ensaios de punçoamento estático e dinâmico para a totalidade das restantes categorias. Admitiu-se necessitar de um conjunto de provetes que permitisse fazer os ensaios para a categoria de carga de serviço esperada e mais um conjunto para determinar se o sistema conseguiria atingir a seguinte, de maior resistência mecânica, ou, caso não atingisse a categoria esperada, se conseguiria cumprir os requisitos da categoria imediatamente abaixo.

O esquema gráfico dos ensaios realizados pode ser consultado na Figura 3.1.

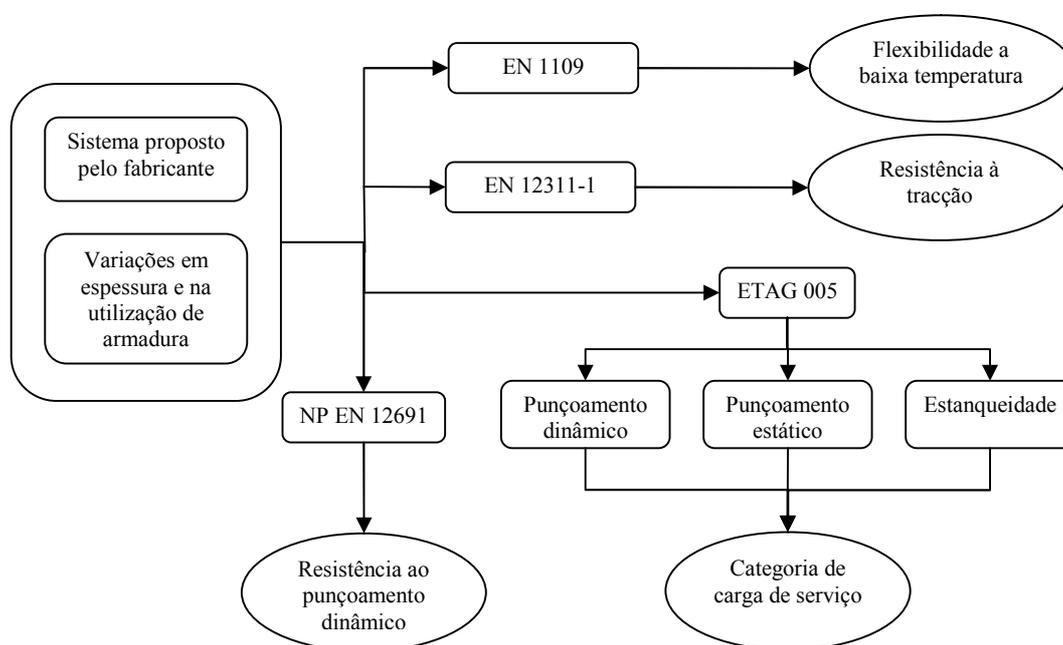


Figura 3.1 – Organograma da campanha experimental.

Para além de a durabilidade não ter sido tida em conta durante o presente estudo, o facto de, em obra, os revestimentos ficarem aderidos ao suporte pode também ter influência sobre a sua resistência a cargas pontuais. A compressibilidade do suporte influencia também o desempenho mecânico dos revestimentos. Na Tabela 3.4, apresentam-se os resultados de ensaios de punçoamento realizados sobre suportes de compressibilidade distinta, para dois sistemas com ETA já emitida.

Os dados apresentados na Tabela 3.4 evidenciam que a influência do suporte não é óbvia, podendo depender do tipo de sistema considerado, e que não é claro que um suporte menos compressível e, portanto, menos deformável conduza necessariamente a uma maior resistência a cargas pontuais.

Tabela 3.4 – Influência da compressibilidade do suporte na resistência ao punçoamento de sistemas acrílico e à base de poliuretano.

Produto	Suporte	Nível de resistência		Categoria de carga de serviço
		Punçoamento dinâmico	Punçoamento estático	
Acrílico [36]	Aço	I3	L2	P2
	Espuma de poliuretano	I4	L2	P2
Poliuretano [37]	Aço	I4	L4	P4
	Espuma de poliuretano	I4	L3	P3

Os dados apresentados na Tabela 3.4 evidenciam que a influência do suporte não é óbvia, podendo depender do tipo de sistema considerado, e que não é claro que um suporte menos compressível e, portanto, menos deformável conduza necessariamente a uma maior resistência a cargas pontuais.

3.2. Ensaio de estanqueidade

O ensaio de estanqueidade, realizado de acordo com o TR 003 [7], comprova a eficácia de um SIBPLP em estado novo, podendo ser necessário também após o ensaio de punçoamento dinâmico ou estático, embora seja realizado para uma pressão hidrostática mais reduzida (apenas 0,10 m em vez de 1 m de coluna de água), de forma a comprovar a integridade do sistema após as referidas acções mecânicas.

Para verificar a estanqueidade de um provete, este é colocado no topo de uma câmara metálica circular, com a face destinada a ficar exposta em obra virada para o seu interior, e fixado mecanicamente, de forma a tornar estanque o conjunto. O provete é de seguida sujeito a uma pressão hidrostática, regulada pela altura a que se eleva o reservatório de água ligado à câmara e ilustrado na Figura 3.2.

Entre o provete e o anel metálico fixado mecanicamente, deve instalar-se um meio capaz de detectar facilmente a perda de estanqueidade do provete, protegido por uma janela de vidro. O meio para detectar perda de estanqueidade do revestimento (Figura 3.3), pode ser uma folha de papel absorvente colocada sobre o provete e protegida pela referida janela de vidro comprimida entre dois anéis de borracha, de forma a manter o conjunto estanque. A perfuração do provete, mesmo que pouco significativa, provoca uma mancha facilmente detectável e alaestrável na folha de papel absorvente.



Figura 3.2 – Aparelho de ensaio de estanqueidade.

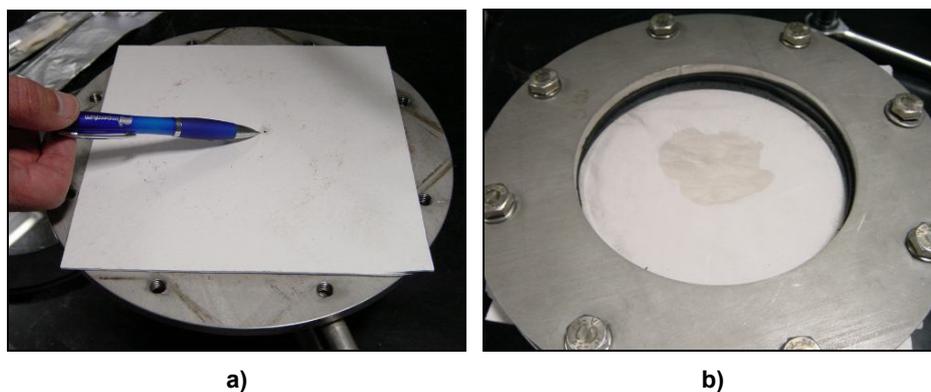


Figura 3.3 – Detecção de perda da estanqueidade de um provete: a) provete perfurado; b) mancha em papel absorvente.

Deverá ser mantida a referida pressão de 1 m de coluna de água durante um período de 24 horas, de modo a determinar se um SIBPLP é estanque, usando para isso um provete circular com 200 ± 2 mm de diâmetro, em estado novo, sem ter sido, portanto, previamente sujeito a qualquer outro ensaio. O aparelho permite, ainda assim, o uso de provetes quadrados com 200 mm de lado, mais fáceis de produzir, sem afectar o correcto funcionamento do ensaio. Um sistema é considerado estanque se os três provetes previstos para o ensaio se revelarem estanques [7].

3.3. Ensaio de resistência ao punçamento dinâmico

O ensaio de resistência ao punçamento dinâmico recorre, de acordo com o TR 006 da EOTA [3], ao mesmo aparelho indicado para o ensaio de resistência ao impacto nas membranas de impermeabilização flexíveis, realizado de acordo com a norma NP EN 12691 [38] em vigor à

data da última revisão do TR 006. O aparelho, representado na Figura 3.4 a), permite fazer incidir punções normalizados, de diâmetros diferentes e guiados por um tubo metálico, sobre um provete quadrado de 200 ± 1 mm de lado colocado num suporte rígido, com uma energia de impacto de $5,9 \pm 0,1$ J à temperatura de 23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5 %.

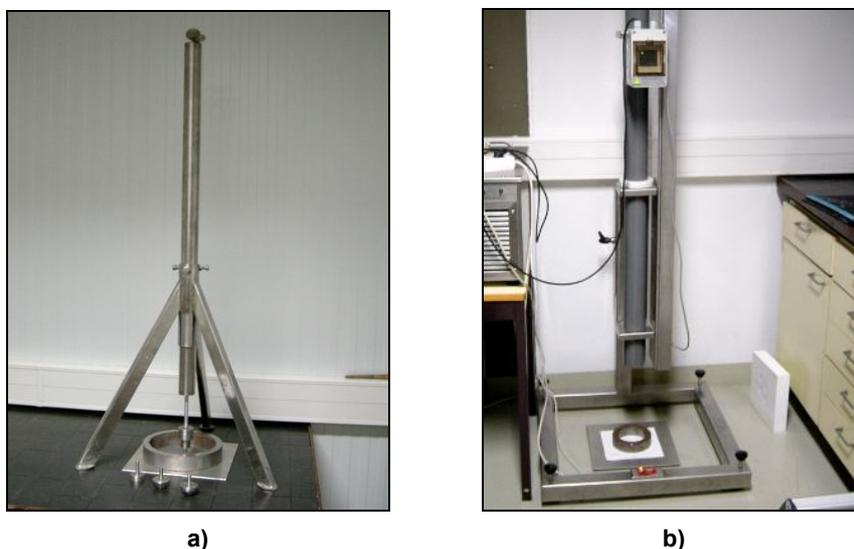


Figura 3.4 – Aparelhos de ensaio de punçoamento dinâmico: a) aparelho referido no TR 006 da EOTA; b) aparelho referido na norma NP EN 12691:2008.

Os provetes quadrados deverão ser centrados com o punção e ser em número de três. No entanto, dada a disponibilidade limitada de provetes e a incerteza, à partida, sobre o nível de resistência previsto para cada revestimento ensaiado, de acordo com o indicado pela UEAtc [39] para ensaios de choque, considerou-se razoável poder fazer ensaios de níveis de resistência diferentes sobre o mesmo conjunto de provetes. A UEAtc refere ainda que deve ser garantida uma distância de pelo menos 5 cm entre zonas de impacto sobre o mesmo provete.

O TR 006 especifica que, para sistemas totalmente aderentes, o ensaio deverá ser feito sobre provetes aderidos a suportes da mesma natureza do suporte menos compressível e do suporte mais compressível de entre os considerados adequados pelo fabricante. No entanto, dada a extensão da campanha de ensaios, admite-se usar provetes constituídos apenas pelo revestimento resultante da instalação do SIBPLP sobre uma película plástica de polietileno, posteriormente removida, simplesmente pousados sobre uma chapa metálica espessa.

Após o ensaio, o provete deverá ser inspeccionado a olho nu, de modo a determinar se houve perfuração do revestimento e, em caso de dúvida, deverá ser efectuado um ensaio de estanqueidade com uma pressão de 0,10 m de coluna de água. O SIBPLP ensaiado é classificado segundo a categoria para a qual se verificar que, após o punçoamento com o punção de diâmetro associado ao respectivo nível de resistência, nenhum dos três provetes é perfurado.

O diâmetro do punção utilizado no ensaio está relacionado com nível de resistência ao punçoamento dinâmico associado ao produto, de acordo com a Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Relação entre diâmetros dos punções e níveis de resistência do ensaio de punçoamento dinâmico [3].

Nível de resistência	I4	I3	I2	I1
Diâmetro do punção (mm)	$6 \pm 0,05$	$10 \pm 0,05$	$20 \pm 0,05$	$30 \pm 0,05$

Caso a perfuração não seja evidente, em vez de se usar o aparelho de estanqueidade referido em 3.2 para determinar se houve perfuração do revestimento, admite-se poder usar um método mais expedito, conforme atrás se referiu, recorrendo a um tubo de vidro graduado que se mantenha estável sobre o revestimento, de modo a assegurar uma pressão de 0,10 m de coluna de água, como se pode observar na Figura 3.5. A perda de estanqueidade pode ser detectada inspeccionando uma folha de papel absorvente previamente colocada debaixo do provete.

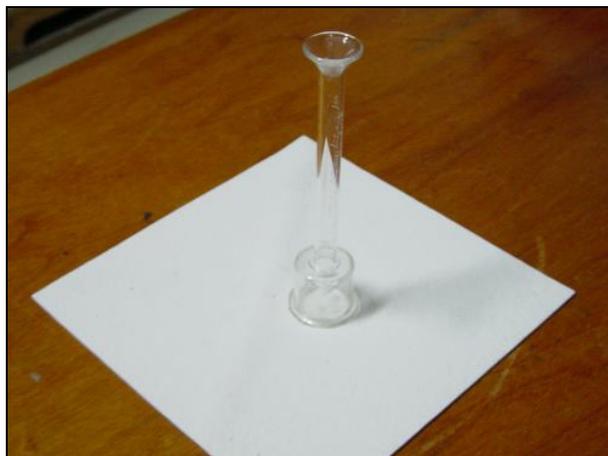


Figura 3.5 – Tudo de vidro para verificação da estanqueidade após ensaios de punçoamento estático ou dinâmico.

Uma vez que se verificou que a generalidade dos revestimentos resiste ao impacto do punção associado ao nível de resistência mais elevado, foram adicionalmente feitos ensaios segundo a versão mais actual da mesma norma NP EN 12691 [40], que aponta para o uso de um aparelho, representado na Figura 3.4 b), onde um punção com extremidade esférica de diâmetro $12,7 \pm 0,1$ mm é largado sobre o revestimento a partir de uma altura de queda variável. Pretende-se assim obter informação mais detalhada sobre o desempenho dos vários revestimentos e determinar-se com maior rigor o nível de resistência máximo de cada um. Esta norma especifica que, para provetes com dimensões não-inferiores a 150 mm x 150 mm, a

cada revestimento é associada uma resistência equivalente à altura de queda para a qual, no conjunto de cinco provetes, pelo menos quatro se mantenham estanques após o choque. Os intervalos entre alturas de queda a respeitar são os seguintes:

- 50 mm para alturas de queda entre 200 e 500 mm;
- 100 mm para alturas de queda entre 500 e 1000 mm;
- 250 mm para alturas de queda superiores a 1000 mm.

Assim, admitindo a hipótese referida de se poder fazer vários ensaios no mesmo conjunto de provetes, para cada revestimento considera-se necessário haver 5 provetes de dimensões 200 mm x 200 mm para satisfazer as necessidades dos ensaios de punçoamento dinâmico segundo ambas as normas.

Foram ainda feitos ensaios preliminares sobre um provete adicional de cada revestimento, de modo a determinar aproximadamente o seu nível de resistência e, desta forma, não desperdiçar meios aquando da realização dos ensaios válidos.

3.4. Ensaio de resistência ao punçoamento estático

O ensaio de resistência ao punçoamento estático exige que, segundo o TR 007 da EOTA [4], se aplique uma carga estática sobre um punção constituído por uma haste metálica com ponta hemisférica de 10 mm de diâmetro, apoiado no revestimento durante um período de 24 horas nas condições de temperatura de 23 ± 2 °C e humidade relativa de 50 ± 5 %. A carga a ser aplicada relaciona-se com o nível de resistência ao punçoamento estático associado ao SIBPLP a ser ensaiado de acordo com a Tabela 3.6. A carga é aplicada sobre o punção com recurso a massas metálicas, observáveis na Figura 3.6, e acertada, se necessário, com material granular.

Tabela 3.6 – Relação entre cargas e os níveis de resistência do ensaio de punçoamento estático.

Nível de resistência	L1	L2	L3	L4
Carga (N)	70 ± 1	150 ± 1	200 ± 1	250 ± 1

Os provetes são quadrados com 200 ± 1 mm de lado e deverão ser centrados com o punção e ser em número de três. No entanto, foi considerada a mesma hipótese, admitida e justificada para os ensaios de punçoamento dinâmico, de se poderem fazer vários ensaios sobre o mesmo conjunto de provetes.

O TR 007 especifica que, para sistemas totalmente aderentes, o ensaio deverá ser feito sobre provetes aderidos a suportes da mesma natureza do suporte menos compressível e do suporte mais compressível considerados adequados pelo fabricante. No entanto, dada a extensão da

campanha de ensaios, admite-se usar provetes constituídos apenas pelo revestimento resultante da instalação do SIBPLP sobre uma película plástica de polietileno, posteriormente removida, simplesmente poisados sobre os suportes. O ensaio é efectuado com o provete colocado sobre uma placa de betão, conforme ilustrado na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Aparelho de ensaio de punçoamento estático.

Após o ensaio o provete deverá ser inspeccionado a olho nu, de modo a determinar se houve perfuração do revestimento e, em caso de dúvida, deverá ser efectuado um ensaio de estanqueidade com uma pressão de 0,10 m de coluna de água. Em vez de se usar o aparelho de estanqueidade referido em 3.2, admite-se poder usar um método mais expedito, já explicitado em 3.3. O SIBPLP ensaiado é classificado segundo a categoria para a qual se verificar que, após o punçoamento com a carga associada à respectiva categoria, os três provetes necessários se mantiverem estanques [4].

3.5. Ensaio de comportamento à tracção

O ensaio de comportamento à tracção é realizado segundo a norma EN 12311-1 [5], aplicável às membranas de impermeabilização betuminosas.

O aparelho utilizado, representado na Figura 3.7, permite registar a força de tracção máxima e o respectivo alongamento sobre um provete rectangular de $50 \pm 0,5$ mm de largura e com o comprimento de, pelo menos, $200 \text{ mm} + 2 \times$ comprimento da parte do provete inserida na garra da máquina. Na prática, esta exigência traduz-se na utilização de provetes com 50 mm de largura e 300 mm de comprimento. A quantidade de provetes para os sistemas não-armados deverá ser de cinco. Para sistemas armados, uma vez que o processo de fabrico da armadura pode conferir-lhe comportamento diferente segundo as duas direcções principais, são ensaiados dez provetes, devendo cinco deles ser cortados na direcção longitudinal da armadura e os restantes cinco na direcção transversal. O ensaio deverá decorrer em condições de temperatura de 23 ± 2 °C.



Figura 3.7 – Aparelho de ensaio de tracção.

As garras do aparelho de ensaio que fixam o provete devem afastar-se a uma velocidade de 100 ± 10 mm/minuto e este deverá ser marcado de forma a poder identificar eventuais escorregamentos na fixação. O resultado do ensaio deverá ser ignorado se o provete deslizar mais de 1 mm, para revestimentos de até 3 mm de espessura, ou mais de 2 mm para revestimentos mais espessos [5].

Durante o ensaio, um computador monitoriza e regista os valores de força exercida sobre o provete e a deformação sofrida por este, em mm, correspondente à distância que as garras se separam uma da outra desde o início do ensaio.

Os valores que o ensaio pretende determinar são a força máxima suportada pelo provete e o alongamento correspondente.

Os valores de força máxima são expressos em função da largura do provete, em N/50 mm, e arredondados aos 5 N mais próximos. Os valores do alongamento em mm são convertidos em percentagem relativa ao comprimento inicial do provete entre garras. A deformação de 200 mm corresponde, portanto, a uma extensão de 100%.

3.6. Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura

O ensaio de flexibilidade a baixa temperatura é baseado na norma NP EN 1109 [6], aplicável a membranas betuminosas. Este ensaio permite detectar a possível susceptibilidade à ocorrência de fendilhação dos revestimentos quando sujeitos a baixas temperaturas.

Este ensaio consiste na imersão de provetes rectangulares numa mistura de monopropileno glicol com água a uma temperatura negativa durante 1 hora, dobrando-os de seguida segundo um ângulo de 180° em redor de um mandril cilíndrico de 30 mm de diâmetro.

Os provetes são colocados horizontalmente no banho termostático sobre o mandril de dobragem de 30 mm de diâmetro disposto segundo o plano médio entre dois mandris situados na face superior dos provetes (Figura 3.8 a)). De seguida, o mandril de dobragem é elevado

mecanicamente, a uma velocidade de 360 mm/min, até que, em torno deste, os provetes sejam dobrados segundo um ângulo de 180°, como ilustrado na Figura 3.8 b), e inspeccionados a olho nu, de forma a detectar eventual fissuração indicadora de um comportamento insatisfatório do revestimento a baixas temperaturas [6].

Na norma referida, exige-se provetes de dimensão 140 mm x 50 mm. No entanto, por inexistência de uma bitola metálica dessa dimensão, foram recortados e ensaiados provetes de dimensão 200 mm x 50 mm, não havendo, na prática, qualquer razão para esperar que esta alteração influencie os resultados do ensaio, conforme aliás a experiência já mostrou por um grande número de ensaios já realizados nestas condições.

Uma vez que este ensaio não estava inicialmente previsto, a disponibilidade de área de revestimento dos diversos sistemas para extracção de provetes era limitada. Por esta razão, apenas foram ensaiados provetes de sistemas não-armados e para uma única temperatura negativa. A temperatura escolhida para a realização do ensaio foi de -5 °C, justificada pelo facto de a normal climatológica da menor mínima para o período de 1971-2000 ser superior a este valor para a generalidade do território Português [41].



Figura 3.8 – Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura: a) imersão dos provetes em posição horizontal; b) elevação do mandril de dobragem.

3.7. Produtos e sistemas ensaiados

Dos parâmetros que influenciam a resistência mecânica de um revestimento, foram seleccionados a natureza do material utilizado, a espessura do revestimento e a utilização de armadura. Assim, da variação destes parâmetros resulta uma selecção ampla de revestimentos de características diferentes cujo comportamento importa determinar e comparar.

Com cada produto seleccionado, foram preparados revestimentos de impermeabilização de acordo com as fichas técnicas. A constituição do sistema recomendada pelos fabricantes nem sempre é clara e pode variar com o tipo de suporte, mas é regra geral para todos os produtos sugerir-se um sistema de duas demãos armado, que deverá corresponder a um revestimento

de cerca de 2 mm de espessura em estado húmido. Dos produtos ensaiados, apenas a silicone líquida tem uma ETA já emitida, onde se exige um sistema armado com um mínimo de 1,5 mm de espessura [42].

Outros revestimentos foram preparados fazendo variar a espessura e a utilização de armadura. Não se considerou justificável ensaiar revestimentos com menos de duas demãos ou mais de três. A estanqueidade de revestimentos de espessura reduzida é difícil de garantir em obra, onde o suporte apresenta necessariamente irregularidades, e os revestimentos com mais de três demãos são difíceis de justificar economicamente, pelo acréscimo de produto consumido e de tempo de execução.

As armaduras utilizadas foram as recomendadas e cedidas pelos fabricantes e as suas principais características foram determinadas e apresentam-se na Tabela 3.7. O produto à base de poliuretano, pelo facto de ter sido fornecido sem a armadura adequada e próximo da data limite para conclusão da campanha de ensaios, apenas foi ensaiado sem armadura.

Tabela 3.7 – Armaduras utilizadas.

Armadura	Massa (g/m²)	Força máxima de tracção (N/50 mm)	Alongamento na força máxima (%)
Rede de fibra de vidro com malha quadrada de 2 mm de abertura	60	660	3
Rede de fibra de vidro com malha quadrada de 4 mm de abertura	200	1935	4
Tela de tecido não-tecido	90	110	50
Malha de poliéster	50	150	22

Os métodos de aplicação utilizados foram o rolo e a talocha. O uso de rolo garante mais facilmente a homogeneidade da espessura final do revestimento, mas imprime-lhe textura e limita a quantidade de produto aplicado por demão, pois, na presença de grandes quantidades, o rolo escorrega ao invés de rolar. A talocha permite aplicar demãos de maior consumo mas resulta numa maior dificuldade no controlo da homogeneidade da espessura, em particular ao aplicar produtos de consistência mais líquida. Por esta razão, a talocha apenas foi utilizada quando aplicadores especializados foram disponibilizados pelo fabricante do produto e o rolo foi a ferramenta preferencial no caso dos produtos aplicados pelo autor.

Embora fosse desejável obter, após cura, revestimentos de espessuras semelhantes para os diversos produtos, de modo a fixar um dos parâmetros que influenciam o seu desempenho e tirar conclusões em relação à influência dos restantes, tal não foi fácil de garantir. Mesmo para revestimentos de igual espessura em estado húmido, a espessura pode resultar diferente após cura, devido à diferente quantidade de matéria volátil que constitui cada produto e às

particularidades do seu processo de cura. Para a maioria dos produtos, uma demão representa aproximadamente 1 mm de espessura em estado húmido.

Na Tabela 3.8, onde se descrevem os sistemas ensaiados, a massa volúmica húmida e o consumo são os valores médios dos disponíveis nas fichas técnicas dos produtos. O tempo de cura apresentado é também o indicado nas fichas técnicas que, por estar sempre dependente das condições de temperatura e humidade ambiente, foi sempre excedido em alguns dias para todos os revestimentos.

Tabela 3.8 – Produtos e sistemas ensaiados.

Produto	Massa volúmica (g/cm ³)	Armadura	Consumo por demão (kg/m ²)	Demãos	Método de aplicação utilizado	Cura (dias)
Cimentício bicomponente	1,35	-	1,80	2	Taloça	21
		Rede de fibra de vidro (malha de 4 mm; 200 g/m ²)		2		
				3		
Acrílico	1,45	-	1,45	2	Taloça / rolo	21
		Rede de fibra de vidro (malha de 2 mm; 60 g/m ²)		2		
				3		
Acrílico fibroso	1,40	-	1,40	2	Taloça	21
				3		
Cimentício bicomponente semiaderido	1,45	Tecido não-tecido (90 g/m ²)	1,15	2	Rolo	21
Silicone líquida	1,3	-	1,30	2	Rolo	1
		Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)		2		2
				3		
Borracha líquida	1,2	-	0,48	2	Rolo	4
		Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)		2		
				3		
Poliuretano	1,43	-	1,43	2	Rolo	5

Na Tabela 3.9, assinalam-se os ensaios realizados para cada um dos revestimentos descritos na Tabela 3.8. As razões pelas quais alguns dos ensaios não foram efectuados sobre todos os revestimentos são apresentadas nas partes relevantes.

Tabela 3.9 – Ensaio realizados.

Produto	Armadura	Demãos	Ensaio realizados					
			ES	PD	PE	TR		FL
						L	T	
Cimentício bicomponente	-	2	•	•	•	•		•
	Rede de fibra de vidro (malha de 4 mm; 200 g/m ²)	2	•	•	•	•		
		3	•	•	•	•	•	
Acrílico	-	2	•	•	•	•		
	Rede de fibra de vidro (malha de 2 mm; 60 g/m ²)	2	•	•	•	•	•	
		3	•	•	•	•	•	
Acrílico fibroso	-	2	•	•	•	•		•
		3	•	•	•	•		
Cimentício bicomponente semiaderido	Tecido não-tecido (90 g/m ²)	2	•	•	•	•	•	
Silicone líquida	-	2	•	•	•	•		•
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	•	•	•	•	•	
		3	•	•	•	•	•	
Borracha líquida	-	2	•	•	•	•		•
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	•					
		3	•	•	•	•	•	
Poliuretano	-	2	•	•	•	•		•

ES - ensaio de estanqueidade
 PD - ensaio de punção dinâmico
 PE - ensaio de punção estático
 L - direcção longitudinal
 T - direcção transversal
 FL - ensaio de flexibilidade a baixa temperatura

3.8. Preparação dos provetes

Uma vez que os revestimentos gerados pelos SIBPLP são executados no local, torna-se necessário seleccionar previamente superfícies para aplicação dos sistemas a ensaiar, com dimensões adequadas para que, do revestimento formado após cura, se extraia a quantidade de provetes necessária. É igualmente importante assegurar que a sua aplicação é compatível com as condições dos ensaios a serem efectuados, devendo, em particular, garantir-se que o revestimento seja destacável do suporte onde foi aplicado. Para isso, o produto impermeabilizante foi aplicado sobre uma película plástica de polietileno, esticada sobre uma superfície rígida, plana e lisa, de área adequada, como ilustrado na Figura 3.9. A película de polietileno permite não só que o produto impermeabilizante não adira ao suporte rígido, como também a sua fácil desagregação, evitando assim que a sua presença afecte os resultados dos ensaios.



Figura 3.9 – Aplicação de produto líquido de impermeabilização sobre película plástica, para preparação de provetes soltos.

O método acima descrito, com aplicação dos produtos sobre uma película plástica de polietileno, é adequado apenas a produtos com base aquosa, pois, em produtos que contenham solvente, a interacção deste com a película plástica dilata-a e deforma-a.

O produto de borracha líquida exigiu um método de aplicação particularmente complexo, pois, para além de verificar-se que o solvente incorporado no produto atacava a película plástica de polietileno, causando o seu empolamento, verificou-se ainda que, devido ao comportamento plástico e à forte aderência deste produto à generalidade dos materiais, foi impossível destacar o revestimento da película sem lhe introduzir deformações irreversíveis. Por estas razões, foi necessário escolher um material sem resistência mecânica considerável que pudesse substituir a película de polietileno, de forma a que, mesmo aderido ao revestimento, não influenciasse substancialmente os resultados dos diversos ensaios.

O produto de borracha líquida foi aplicado sobre um suporte rígido revestido com apenas uma das folhas de um tipo de papel absorvente de folha dupla. As folhas foram fixadas no suporte através de fita adesiva de dupla face e foram revestidas com uma camada superficial de borracha líquida, como ilustrado na Figura 3.10, de forma a garantir que esta não atingisse o suporte rígido, mantendo as folhas destacadas do suporte e garantindo-lhes alguma resistência para aplicação das demãos posteriores. Procurou-se assim garantir que, apesar de a folha de papel absorvente não ser destacável do revestimento após cura, esta não influenciasse a resistência mecânica do revestimento.

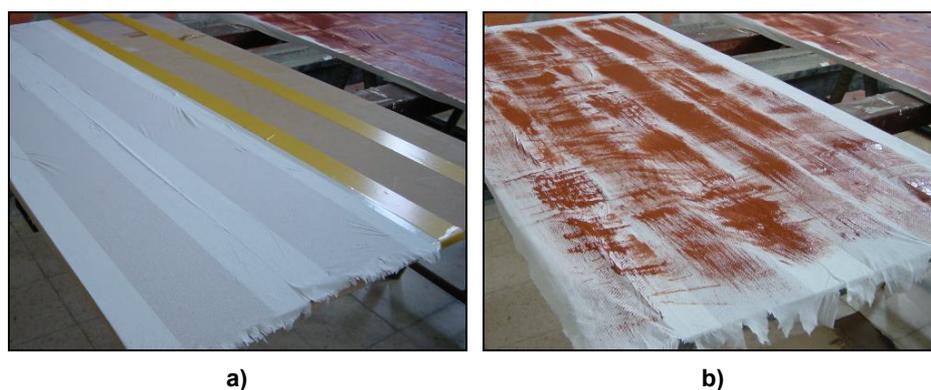


Figura 3.10 – Preparação do suporte para aplicação de borracha líquida: a) revestimento do suporte com folha de papel absorvente; b) revestimento da folha de papel com camada superficial de borracha líquida.

O produto à base de poliuretano, apesar de ter base solvente e também não poder ser aplicado sobre a película plástica de polietileno, permite que o revestimento se destaque facilmente de um suporte liso sem que lhe sejam introduzidas deformações.

Este produto foi aplicado sobre uma superfície rígida, revestida com placas de vidro fixadas nas extremidades da superfície, como ilustrado na Figura 3.11. Antes da aplicação, o vidro foi levemente polvilhado com pó de talco, de forma a assegurar o fácil destacamento do revestimento após cura. A extração de provetes a partir deste revestimento exigiu o cuidado de evitar as zonas coincidentes com as juntas entre as várias placas de vidro.

A cura das primeiras demãos aplicadas foi feita à temperatura ambiente, pois verificou-se que, quando expostas às condições de cura exigidas no ETAG 005 [2] (23 ± 2 °C de temperatura e humidade relativa de $50 \pm 5\%$), a película de polietileno dilata e empola, dificultando a execução das demãos seguintes e resultando em variações de espessura do revestimento.

Embora, após a execução de todas as demãos, a tendência para o revestimento dilatar, quando sujeito às condições de cura, se mantenha, daí já não resultam diferenças de espessura. Deve, no entanto, garantir-se que, caso este fenómeno ocorra, os provetes sejam extraídos de zonas não enrugadas, tanto quanto possível, evitando ainda as zonas muito

próximas das extremidades da superfície, onde há tendência para a espessura do revestimento ser menor. Assim, é importante que a superfície de aplicação tenha área suficiente não só para gerar os provetes necessários, mas também para cobrir erros e fenómenos inesperados.



Figura 3.11 – Placas de vidro polvilhadas com talco, para aplicação de produto à base de poliuretano.

Após a aplicação de todas as demãos necessárias para cumprir os consumos propostos para um produto, as amostras respectivas foram guardadas em câmara condicionada, sujeitas às condições já referidas, por um período de, pelo menos, o tempo prescrito pelo fabricante.

Os provetes foram recortados com x-acto e com o auxílio de bitolas metálicas, tendo sido sujeitos posteriormente a um período de cura adicional de pelo menos 16 horas. Na Tabela 3.10, encontra-se resumida a quantidade e as dimensões dos provetes necessários para cada revestimento. Recorde-se que, para os ensaios de tracção em sistemas armados, são necessários cinco provetes para cada uma das direcções longitudinal e transversal, de forma a despistar eventuais comportamentos diferentes, resultantes da geometria e do processo de fabrico das armaduras.

A identificação dos provetes foi feita de acordo com a simbologia discriminada na Tabela 3.11.

Tabela 3.10 – Quantidade e dimensões dos provetes necessários para cada ensaio.

Ensaio	Quantidade	Dimensões (mm)
Estanqueidade	3	200 x 200
Punçoamento dinâmico	5	200 x 200
Punçoamento estático	3	200 x 200
Tracção – Sistema não-armado	5	300 x 50
Tracção – Sistema armado	5 + 5	300 x 50

Tabela 3.11 – Simbologia de identificação dos provetes.

Identificação do provete: XXX.Y.ZZ.WW#K		
	Sigla	Significado
XXX	CIM	Produto cimentício
	ACR	Produto acrílico
	ACF	Produto acrílico fibroso
	SAD	Produto acrílico semiaderido
	SIL	Produto de silicone
	BOR	Produto de borracha líquida
	POL	Produto de poliuretano
Y	2; 3	Quantidade de demãos
ZZ	NA	Não-armado
	AR	Armado
WW	ES	Ensaio de Estanqueidade
	PD	Ensaio de punçoamento dinâmico
	PE	Ensaio de punçoamento estático
	TR	Ensaio de tracção
	TL	Ensaio de tracção (direcção longitudinal)
	TT	Ensaio de tracção (direcção transversal)
	FL	Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura
K	1; 2; 3; 4; 5	Número do provete

3.9. Avaliação de espessuras

Uma vez que no ETAG 005 não é indicado nenhum processo normalizado de medição da espessura dos revestimentos, sugere-se abaixo um método que se considera ser suficientemente preciso e expedito de executar.

O aparelho utilizado para avaliação de espessuras, o comparador digital ilustrado na Figura 3.12, tem uma resolução de 0,01 mm e permite substituir as pontas da haste de leitura, de forma a adaptar-se às intenções do utilizador e ao material em análise.



Figura 3.12 – Comparador digital para avaliação de espessuras.

Na configuração original, o aparelho utiliza uma ponta semiesférica com diâmetro aproximado de 3 mm. Após algumas leituras iniciais, constatou-se que esta ponta conduzia a leituras instáveis na generalidade dos revestimentos, uma vez que, devido à área de contacto reduzida, introduzia na zona de leitura tensões capazes de deformar o provete. Para uma leitura mais estável, foi necessário utilizar uma ponta cilíndrica de diâmetro superior.

No entanto, quanto maior for o diâmetro da ponta cilíndrica utilizada, maior é o risco de o enviesamento da ponta conduzir a leituras erradas, por ser difícil garantir a exactidão da verticalidade da haste de leitura. O facto de os revestimentos terem uma superfície texturada, impressa pelo rolo durante a aplicação do produto, limita também o diâmetro máximo da ponta a adoptar, pois deve ser evitado que esta assente somente em zonas que são apenas pontualmente mais espessas do que a generalidade do revestimento, conduzindo igualmente a leituras erradas. Assim, procurou-se determinar qual o menor diâmetro de uma ponta cilíndrica capaz de conduzir a leituras expeditas e estáveis.

Na Tabela 3.12, apresentam-se os resultados de medições ao longo de um minuto em diferentes revestimentos, com a ponta pré-estabelecida da haste e com uma ponta cilíndrica de 6 mm de diâmetro.

Analisando os valores da Tabela 3.12 verificam-se três condições capazes de justificar a adequação da ponta cilíndrica de 6 mm à avaliação da espessura da generalidade dos revestimentos ensaiados:

- o possível enviesamento da ponta cilíndrica pode ser despistado através da medição dos valores da espessura de um material rígido, como a madeira, onde as medições com ambas as pontas diferiram apenas em 0,01 mm;
- os valores aos 0 s da ponta pré-estabelecida e aos 60 s da ponta cilíndrica aproximam-se, diferindo no máximo 0,07 mm; é desejável que esta diferença seja pequena, pois o valor mais representativo da espessura do revestimento é obtido aos 0 e 60 s para as pontas semiesférica e cilíndrica, respectivamente; a ponta semiesférica pré-

estabelecida tem tendência a penetrar imediatamente no revestimento, enquanto que a ponta cilíndrica, por ter secção plana, necessita adaptar-se à rugosidade superficial do revestimento para obter uma leitura representativa da espessura deste;

- a leitura aos 5 s com a ponta cilíndrica é suficientemente estável, variando no máximo 0,02 mm até aos 60 s e permitindo leituras expeditas e fiáveis.

Uma vez que a espessura do revestimento, mesmo na área confinada de um provete, não é homogénea, para cada provete foi determinada a média de cinco leituras obtidas nas zonas assinaladas na Figura 3.12, no caso dos provetes quadrados, e 2 ou 3 leituras ao longo da linha média da maior dimensão, para os provetes rectangulares destinados, respectivamente, aos ensaios de flexibilidade a baixa temperatura e aos ensaios de tracção.

Tabela 3.12 – Verificação da adequação de uma ponta cilíndrica de 6 mm para medição da espessura dos revestimentos.

	Material	Espessura (mm)						
		0 s	5 s	10 s	15 s	30 s	45 s	60 s
Ponta semiesférica original	ACR.2.NA	1,35	1,29	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24
	ACR.3.AR	1,75	1,68	1,67	1,65	1,64	1,63	1,62
	CIM.3.AR	3,39	3,36	3,36	3,36	3,35	3,34	3,34
	Madeira	15,40	15,39	15,39	15,39	15,39	15,39	15,39
Ponta cilíndrica com diâmetro de 6 mm	ACR.2.NA	1,44	1,42	1,41	1,41	1,41	1,41	1,41
	ACR.3.AR	1,84	1,82	1,82	1,81	1,81	1,81	1,80
	CIM.3.AR	3,49	3,47	3,47	3,47	3,47	3,47	3,46
	Madeira	15,41	15,40	15,40	15,40	15,40	15,40	15,40

3.10. Dificuldades encontradas

Durante o trabalho, foram encontradas dificuldades imprevistas, em particular durante a preparação de provetes, que necessitaram de reflexão e dedicação adicionais.

De forma a que trabalhos futuros possam beneficiar da experiência acumulada e desenvolver-se de forma mais expedita, registam-se abaixo as principais dificuldades encontradas durante a campanha experimental:

- pelo facto de, durante o processo de preparação dos provetes, os produtos terem sido aplicados sobre suportes distintos dos encontrados em obra, foram necessários, de forma generalizada, consumos menores por demão e, portanto, um maior número de

demãos e de tempo dispendido com a aplicação, aproximadamente o dobro do inicialmente previsto com base nas fichas técnicas; a ausência de rugosidade dos suportes utilizados, em particular, implicou que a primeira demão do produto tivesse um consumo muito reduzido pois, caso contrário, o rolo escorregaria em vez de rolar;

- para os produtos cujos fabricantes não disponibilizaram mão-de-obra, a sua aplicação implicou que fosse adquirida a sensibilidade necessária para estimar, sem recurso frequente à balança e de modo a simular as condições encontradas em obra, a quantidade em volume de produto necessária para respeitar o consumo por demão;
- quando sujeitas às condições de cura em câmara condicionada, as películas plásticas que forravam os suportes dos primeiros produtos aplicados dilataram e enrugaram; para este facto contribuíram a fixação insuficiente dos bordos da película e a diferença de temperatura entre a câmara e a temperatura ambiente (da nave onde foram preparados os provetes) que se registou durante as primeiras aplicações; devido a este fenómeno, alguns sistemas tiveram que ser aplicados de novo, pois apresentavam fendilhação ou a armadura exposta; este fenómeno foi posteriormente evitado fixando melhor a película plástica e mantendo os sistemas à temperatura ambiente durante pelo menos um dia, sujeitando-os às condições de cura em câmara condicionada apenas após se verificar que os revestimentos haviam ganho alguma consistência;
- devido à deformabilidade da borracha líquida e à forte aderência à generalidade das superfícies, a preparação de amostras livres do suporte foi particularmente difícil para este tipo de revestimento; o método utilizado teve por base a aplicação do produto sobre uma superfície rígida revestida com uma única folha de um tipo de papel absorvente de folha dupla; devido à consistência deste tipo de produto, o rolo usado para o aplicar puxou e deformou o papel, originando algumas bolhas de ar, eliminadas posteriormente com o produto ainda fresco e ilustradas na Figura 3.13;

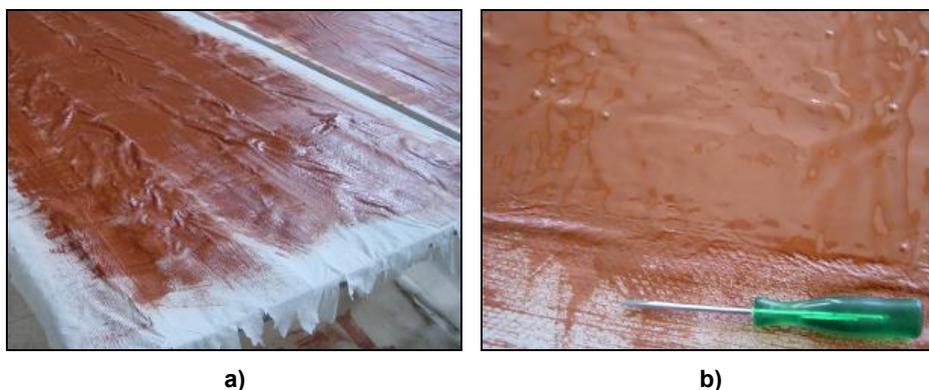


Figura 3.13 – Aplicação de borracha líquida sobre suporte rígido revestido com folha de papel absorvente: a) deformação do papel causada pela passagem do rolo; b) formação de bolhas de ar.

- o produto à base de poliuretano, apesar de ter atacado a película plástica que revestia o painel de suporte, à semelhança do que aconteceu com a borracha líquida, destacou-se facilmente desta após cura; inicialmente, tentou-se contrariar a dilatação e o empolamento da película plástica, esticando-a e fixando-a novamente após a aplicação da 1ª demão; no entanto, verificou-se que, durante a secagem da 1ª demão, se formaram no revestimento bolhas de consistência espumosa, observáveis na Figura 3.14; devido a este fenómeno, o produto à base de poliuretano foi directamente aplicado sobre placas de vidro, evitando-se assim a interacção com a película plástica;



Figura 3.14 – Bolhas de consistência espumosa, resultantes da interacção do produto à base de poliuretano com a película plástica subjacente de polietileno.

- os produtos à base de solvente sintético, para além de gerarem um odor agressivo, exigiram que os rolos usados para a aplicação fossem dispensados no final, pois a sua limpeza exigiria uma quantidade de diluente e um esforço consideráveis; para a borracha líquida, os utensílios de preparação das amostras puderam ser deixados imersos em água entre demãos, sendo o rolo de aplicação dispensado no final da aplicação; para o poliuretano, foi necessário utilizar um rolo novo para cada demão, pois verificou-se que o produto endurecia mesmo quando imerso em água;
- uma vez que o ensaio de punçoamento dinâmico previsto no ETAG 005 [2] faz uso de um punção de 6 mm de diâmetro para o nível de resistência máximo, o qual não está previsto na norma NP EN 12691:2004, este punção adicional teve que ser fabricado;
- devido à baixa rigidez da generalidade dos revestimentos e à textura resultante da aplicação com rolo, é difícil obter uma leitura estável da sua espessura e determiná-la com exactidão; à falta de um método normalizado no ETAG 005, foi necessário estudar e fixar um método adequado para a avaliação da espessura de revestimentos com base em produtos líquidos, descrito no subcapítulo 3.9, que permitisse evitar, tanto quanto possível, estas dificuldades;

- no caso dos revestimentos à base de silicone ou poliuretano, foi difícil determinar se, após os ensaios de punçoamento, tinha havido perfuração; estes revestimentos não permitiram que, mesmo quando visivelmente perfurados (após se forçar a zona de impacto do punção), o ensaio de estanqueidade com 0,10 m de coluna de água previsto nos TR 006 [3] e 007 [4] detectasse a perfuração;
- a disponibilidade de apenas um único aparelho para cada tipo de ensaio implicou que, para os ensaios de punçoamento estático, apenas uma categoria de carga de serviço para um único produto pudesse ser ensaiada em 24 horas e, para os ensaios de estanqueidade, apenas um provete pudesse ser ensaiado no mesmo período; esta quantidade limitada de aparelhos para ensaios com a duração de 24 horas exigiu uma disponibilidade pessoal regular e frequente;
- para os revestimentos cimentícios armados, que foram aqueles que apresentaram maior resistência à tracção, verificou-se, de início, que frequentemente os provetes rompiam ainda no interior da garra pneumática inferior do aparelho de ensaio de resistência à tracção; como justificação para este fenómeno, foi encontrada uma fuga de ar na tubagem que alimentava essa garra, implicando uma perda de pressão; após uma intervenção sobre o aparelho, a perda de ar foi diminuída e, aumentando também a pressão no sistema pneumático, o fenómeno foi eliminado;
- para o revestimento à base de silicone não-armado, de grande deformabilidade e baixa rigidez, verificou-se que a pressão habitual do sistema pneumático do aparelho de ensaio de comportamento à tracção, cerca de 4 bar, provocava o esmagamento do provete na zona abrangida pelas garras, como ilustrado na Figura 3.15; foi necessário diminuir a pressão para cerca de 1 bar, de modo a que, sem permitir que o provete escorregasse, fosse evitado o esmagamento.

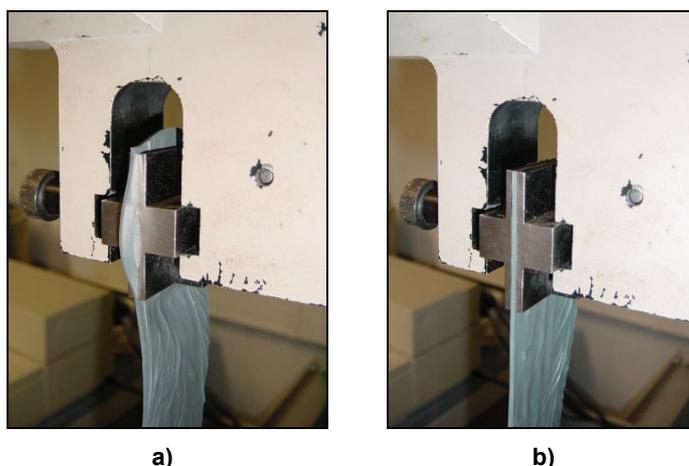


Figura 3.15 – Esmagamento de provete de revestimento não-armado à base de silicone, em ensaio de resistência à tracção: a) deformação do provete para a pressão de ensaio habitual; b) provete sob pressão adequada.

A campanha experimental desenvolvida teve que lidar com limitações e fazer adaptações aos equipamentos disponíveis (que estavam na generalidade adaptados às normas relativas a membranas betuminosas), de forma a que fossem garantidas, tanto quanto possível, as condições exigidas no ETAG 005.

Devido ao grande número de sistemas ensaiados e à falta de conhecimento e experiência prévios, a preparação de amostras soltas foi uma actividade com peso significativo na totalidade do tempo dispendido. A experiência adquirida terá uma importância extrema para um futuro desenvolvimento do estudo do desempenho de SIBPLP, que complete ou complemente os resultados apresentados no capítulo seguinte.

4. Resultados da campanha experimental e respectiva análise

4.1. Espessura dos revestimentos

Sendo a espessura dos revestimentos uma das variáveis que explica o seu desempenho em obra, é importante analisá-la. Idealmente, para a análise de outras variáveis, a espessura deveria ter um valor fixo para os revestimentos comparáveis; no entanto, devido à diferença de quantidade de matéria volátil e às especificidades do processo de secagem de cada um dos produtos, sistemas aplicados com igual espessura no estado húmido não correspondem necessariamente a revestimentos de igual espessura após o processo de cura. Por este motivo, a quantidade de demãos foi a variável tida em conta que, podendo ser fixada, considera indirectamente a espessura dos revestimentos.

Na Tabela 4.1, apresentam-se os valores médio e de desvio padrão da espessura de todos os revestimentos ensaiados, baseados nas leituras feitas sobre todos os provetes ensaiados para cada revestimento, e os respectivos consumos efectivos totais. As leituras da espessura discriminadas por provete encontram-se no Anexo I.

Como esperado, para o mesmo tipo de revestimento, a aplicação de 3 demãos conduziu a uma espessura superior à resultante da aplicação de apenas 2 demãos. Ainda para cada um dos diversos tipos de revestimentos, e para o mesmo número de demãos, a utilização de armadura teve pouca influência na espessura, à excepção do revestimento com base em produto acrílico; para este produto, a diferença entre as espessura dos revestimentos de 2 demãos com e sem armadura deverá ter sido resultado de um erro de quantificação durante a aplicação, já que os consumos totais efectivos foram semelhantes. Este possível erro terá resultado numa espessura 0,27 mm (22%) inferior no revestimento de 2 demãos armado, quando comparado com o revestimento não-armado.

Apesar de, como referido, a partir de iguais espessuras de sistemas em estado húmido não resultarem revestimentos de igual espessura, os valores obtidos para revestimentos comparáveis, ou seja, com igual número de demãos e condições de reforço, são semelhantes com excepção dos revestimentos à base de produto cimentício ou de borracha, para os quais são, respectivamente, significativamente superiores ou inferiores. A espessura superior dos revestimentos cimentícios pode justificar-se pelo facto de o produto cimentício ter um consumo indicado maior do que os restantes produtos e por conter uma componente sólida importante à base de areia, não volátil. O consumo recomendado pelo fabricante para a borracha líquida é consideravelmente menor do que os consumos considerados para a generalidade dos outros produtos, o que justifica a menor espessura dos revestimentos à base deste produto.

Uma vez que se verificaram espessuras médias diferentes para os diversos revestimentos, a análise à dispersão dos seus valores foi feita com base no respectivo coeficiente de variação.

Para os sistemas de impermeabilização aplicados exclusivamente com talocha (Tabela 3.8), o coeficiente de variação dos valores da sua espessura nunca diferiu substancialmente dos coeficientes para os restantes sistemas. Este facto suporta a ideia de que o uso de talocha para aplicar sistemas de impermeabilização não conduz necessariamente a uma menor homogeneidade da espessura do revestimento resultante, quando comparada com a de sistemas aplicados a rolo e desde que a aplicação seja feita por operários com alguma prática.

Pode ainda afirmar-se haver evidência de que o uso de malhas apertadas como armadura conduz a revestimentos com espessura mais homogénea, quando comparada com a de revestimentos não-armados da mesma natureza.

O valor mais elevado do coeficiente de variação verificou-se para o sistema não-armado à base de borracha líquida. Este facto ter-se-á devido às particularidades do processo utilizado para preparar provetes deste sistema, descritas no capítulo 3.8.

Tabela 4.1 – Espessuras médias e consumos efectivos totais dos revestimentos ensaiados.

Produto	Armadura	Demãos	Consumo total (kg/m ²)	Média (mm)	Desvio padrão (mm)	Coefficiente de variação
Cimentício bicomponente	-	2	3,47	2,32	0,20	0,09
	Rede de fibra de vidro (malha de 4; 200 g/m ²)	2	4,56	2,43	0,24	0,10
		3	6,33	3,62	0,34	0,09
Acrílico	-	2	2,93	1,50	0,16	0,10
	Rede de fibra de vidro (malha de 2; 60 g/m ²)	2	3,00	1,23	0,17	0,14
		3	4,38	1,80	0,13	0,07
Acrílico fibroso	-	2	2,66	1,21	0,19	0,16
		3	4,09	1,91	0,25	0,13
Cimentício bicomponente semiaderido	Tecido não-tecido (90 g/m ²)	2	2,18	1,62	0,12	0,08
Silicone líquida	-	2	2,70	1,44	0,19	0,13
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	2,52	1,52	0,11	0,07
		3	3,93	2,38	0,22	0,09
Borracha líquida	-	2	0,99	0,72	0,16	0,23
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	0,97	0,67	0,09	0,14
		3	1,45	1,00	0,12	0,12
Poliuretano	-	2	2,74	1,37	0,15	0,11

4.2. Ensaio de estanqueidade

O ensaio de estanqueidade [7] sujeita os revestimentos a uma pressão hidrostática de 1 m de coluna de água durante 24 horas, de forma a comprovar se são adequados para o uso como revestimentos de impermeabilização.

Após o ensaio, apenas o revestimento com base em 2 demãos de borracha líquida armada se revelou permeável, facto que se verificou para a totalidade dos três provetes. Por este motivo, este revestimento não foi considerado para os restantes ensaios, pois não cumpre o requisito mínimo, segundo o TR 003, para ser aplicado com o uso pretendido.

Saliente-se o facto de o revestimento com base no mesmo produto e com a mesma quantidade de demãos, mas sem armadura, ser estanque. Poder-se-á assim, em princípio, concluir que a utilização de armadura neste tipo de revestimento deverá ser acompanhada de, no mínimo, 3 demãos com o consumo indicado na Tabela 3.8 ou 2 demãos com um consumo mais elevado, para permitir que a armadura seja recoberta adequadamente. Na Figura 4.1, pode observar-se a textura fibrosa da malha de poliéster utilizada como armadura, mesmo após a aplicação da segunda demão.

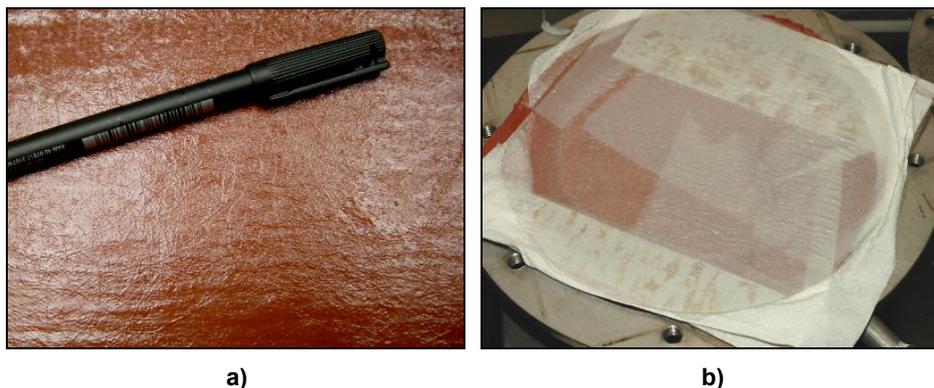


Figura 4.1 – Provetes para o ensaio de estanqueidade do revestimento armado com base em 2 demãos de borracha líquida: a) aspecto da textura da armadura após aplicação da 2ª demão; b) papel absorvente humedecido sobre a face superior do provete, após ensaio.

4.3. Ensaio de punçoamento dinâmico

Após o ensaio de punçoamento dinâmico segundo o TR 006 [3], que faz incidir sobre os provetes, a partir de uma altura de queda fixa, um punção de ponta cilíndrica de diâmetro variável, todos os revestimentos, à excepção daqueles com base em silicone líquida, se mantiveram estanques, por não terem sido perfurados, para o impacto do punção de diâmetro mínimo, de 6 mm, a que corresponde a classe máxima de resistência.

Todos os provetes dos revestimentos com base em silicone líquida foram perfurados pelo punção de 6 mm, não ocorrendo perfuração para o diâmetro de 10 mm, correspondente à classe de resistência imediatamente abaixo. É importante referir que, para este revestimento sem armadura, a zona perfurada pelo punção de 6 mm manteve-se estanque quando sujeita a um ensaio de estanqueidade durante 24 h com 0,10 m de coluna de água, apesar de visivelmente perfurada quando previamente a sua abertura era forçada. Perante este dilema, considerou-se que os provetes nestas condições estavam perfurados e não resistiam ao impacto do respectivo punção, apontando-se, no entanto, a importância desta propriedade deste tipo de revestimento.

O revestimento não-armado com base em borracha líquida foi o que se deformou de forma mais evidente com o impacto, embora tenha resistido à acção do punção de menor diâmetro, de 6 mm. Na Figura 4.2, ilustra-se a deformação provocada pelo impacto do punção de 6 mm em provetes de um revestimento acrílico armado com 2 demãos e de um revestimento não-armado com base em 2 demãos de borracha líquida.

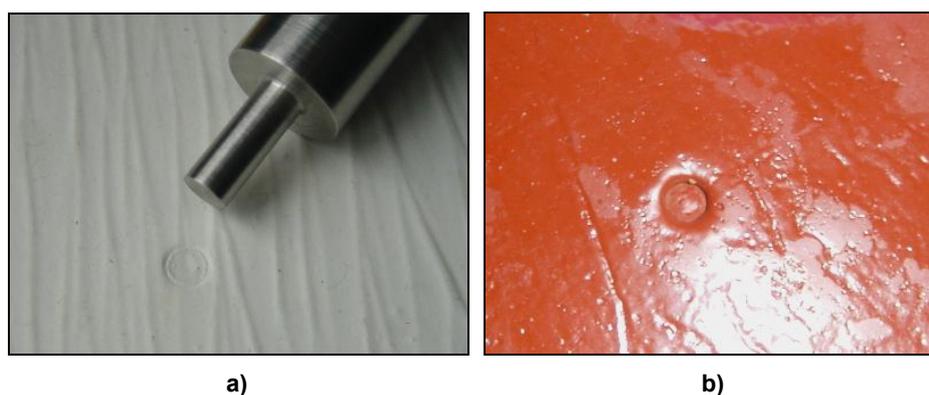


Figura 4.2 – Punçoamento dinâmico com punção cilíndrico de diâmetro de 6 mm: a) revestimento acrílico armado com 2 demãos; b) revestimento não-armado com base em 2 demãos de borracha líquida.

Uma vez que, no ensaio previsto no TR 006, todos os revestimentos, com excepção daqueles com base em silicone líquida, obtiveram o nível máximo de resistência, recorreu-se também ao ensaio descrito na versão mais recente da norma NP EN 12691 [40] para clarificar as diferenças de desempenho dos diversos revestimentos. Este ensaio faz incidir sobre os provetes um punção de extremidade esférica a partir de uma altura de queda variável. A resistência ao punçoamento dinâmico é assim definida pela maior altura de queda para a qual, no máximo, um dos cinco provetes é perfurado.

Neste ensaio, verificou-se uma vez mais a dificuldade em determinar se os provetes de revestimentos baseados em poliuretano ou silicone líquida tinham sido perfurados, pois a abertura no provete contraiu-se imediatamente após o impacto, sendo necessário forçar a zona

de impacto para a detectar. A necessidade de forçar a zona de impacto, nos provetes de revestimentos à base de silicone, pode em alguns casos ter contribuído para a fragilizar. Nos provetes do revestimento à base de poliuretano, este risco não foi tão evidente, pois este tipo de revestimento é significativamente mais rígido.

Apesar de a variação da altura de queda não ser contínua, os intervalos entre alturas de queda são suficientemente pequenos, em particular até alturas de 1 m.

Na Tabela 4.2, apresentam-se os resultados de ambos os ensaios de punçoamento dinâmico para todos os revestimentos ensaiados.

Tabela 4.2 – Resultados dos ensaios de punçoamento dinâmico.

Produto	Armadura	Demãos	Diâmetro mínimo do punção [3] (mm)	Altura de queda máxima [40] (m)
Cimentício bicomponente	-	2	6	0,70
	Rede de fibra de vidro (malha de 4 mm; 200 g/m ²)	2	6	1,00
		3	6	2,00
Acrílico	-	2	6	0,70
	Rede de fibra de vidro (malha de 2 mm; 60 g/m ²)	2	6	0,60
		3	6	0,90
Acrílico fibroso	-	2	6	0,35
		3	6	0,90
Cimentício bicomponente semiaderido	Tecido não-tecido (90 g/m ²)	2	6	0,50
Silicone líquida	-	2	10	0,05
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	10	0,10
		3	10	0,10
Borracha líquida	-	2	6	0,15
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	-	-
		3	6	0,30
Poliuretano	-	2	6	0,70

- ensaio não realizado

Em termos absolutos, destaca-se pela resistência superior a cargas pontuais dinâmicas o revestimento cimentício armado com base em 3 demãos. Os resultados revelam ainda a

grande sensibilidade dos revestimentos com base em borracha ou silicone líquida em relação a esta acção mecânica, quando comparada com a da generalidade dos restantes revestimentos ensaiados.

Clarificando desta forma as diferenças de resistência dos revestimentos, foi possível avaliar a influência que a natureza, quantidade de demãos e utilização de armadura têm no seu desempenho. Para avaliar a influência de cada uma destas variáveis na resistência ao punçoamento dinâmico, foram fixadas as variáveis restantes e registado o valor máximo da altura de queda.

Pelo facto de o revestimento armado com base em 2 demãos de borracha líquida se ter revelado permeável no ensaio de estanqueidade, não cumprindo, portanto, o requisito mínimo para o uso pretendido, não foram feitos os restantes ensaios; devido a este facto, a influência da armadura ou do número de demãos neste tipo de revestimento não pôde ser avaliada.

4.3.1. Desempenho em função da natureza do sistema

Para avaliar a influência da natureza dos revestimentos no seu desempenho no ensaio de punçoamento dinâmico, foram fixadas as variáveis quantidade de demãos e condições de reforço. A Figura 4.3 refere-se apenas a revestimentos sem armadura e com 2 demãos.

Na análise aos valores da altura de queda máxima, destacam-se os revestimentos acrílico, cimentício e à base de poliuretano. Apesar de o revestimento cimentício ser formado pelo mesmo número de demãos dos restantes revestimentos, o consumo por demão aconselhado é superior ao dos revestimentos restantes, o que implicou, em relação a estes, uma espessura significativamente maior. Sendo a espessura uma das variáveis explicativas do desempenho dos revestimentos, para o melhor comportamento do revestimento de base cimentícia contribuiu também a sua maior espessura.

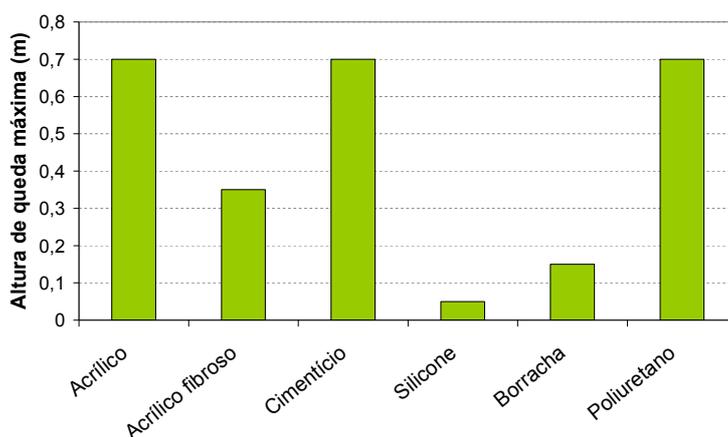


Figura 4.3 – Desempenho dos revestimentos não-armados no ensaio de punçoamento dinâmico [40], em função da sua natureza.

Estando o resultado deste ensaio relacionado com o tipo de acessibilidade aconselhado para a cobertura onde o sistema de impermeabilização é aplicado, a sensibilidade ao punçoamento dinâmico dos revestimentos com base em borracha líquida ou silicone é um primeiro indicador de que devem ser aplicados com prudência em coberturas acessíveis, mesmo que apenas para manutenção de equipamento.

4.3.2. Desempenho em função da utilização de armadura

Na Figura 4.4, ilustram-se os resultados dos ensaios de punçoamento dinâmico dos revestimentos para os quais foi possível determinar a influência da utilização de uma armadura de reforço. Para tal, foram ensaiados revestimentos da mesma natureza e quantidade de demãos, com e sem utilização de armadura.

A influência da armadura na resistência ao choque revelou-se mais importante para o revestimento mais rígido, com base num produto cimentício, permitindo-lhe resistir a mais 3 patamares de 0,10 m de altura de queda.

Para os revestimentos mais elásticos, a influência foi mais subtil, tendo o revestimento acrílico registado mesmo um pior desempenho quando armado. Uma vez que a espessura dos revestimentos e dos provetes deles extraídos não é homogénea, e que os resultados dependem da espessura da zona de impacto do punção, não se deverá concluir que a utilização de armadura tem um impacte negativo nos revestimentos acrílicos, mas apenas que a sua influência será pouco expressiva na resistência ao choque. Há ainda que referir que a espessura média do revestimento acrílico armado era inferior à do revestimento não-armado, o que também terá contribuído para este resultado não esperado.

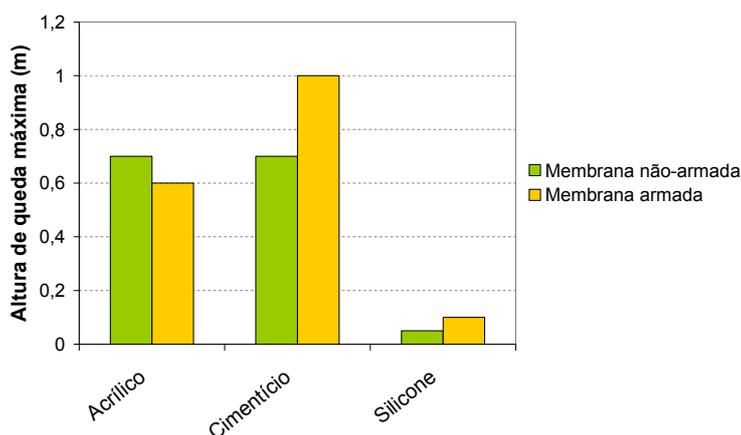


Figura 4.4 – Desempenho dos revestimentos no ensaio de punçoamento dinâmico [40], em função da utilização de armadura.

A influência da armadura no desempenho do revestimento à base de silicone foi pouco expressiva mas bem definida, permitindo que todos os provetes resistissem a mais 1 patamar

de 0,05 m de altura de queda, para o qual nenhum dos provetes do revestimento não-armado resistiu.

4.3.3. Desempenho em função do número de demãos

A influência da quantidade de demãos na resistência ao choque foi determinada sujeitando os revestimentos das diversas naturezas, com 2 e 3 demãos, ao ensaio de punçoamento dinâmico. Todos os revestimentos analisados são armados, à excepção do revestimento acrílico fibroso. Na Figura 4.5, ilustram-se os resultados obtidos.

Uma vez mais, não foi possível obter dados para o revestimento com base em borracha líquida pelo facto de este revestimento armado com base em duas demãos se ter revelado permeável.

O número de demãos revelou-se uma variável com grande impacte no desempenho dos revestimentos mais rígidos ao choque. A aplicação de uma terceira demão no revestimento com base no produto acrílico fibroso mais do que duplicou a sua resistência ao choque, resistindo a uma altura de queda máxima superior em 0,55 m (157%) e igualando o desempenho de um revestimento acrílico armado com o mesmo número de demãos. Para o revestimento cimentício, esta diferença foi de 1 m, atingindo a maior altura de queda que o aparelho de ensaio permite. Refira-se, novamente, que o melhor desempenho dos revestimentos cimentícios se deverá em parte à maior espessura, quando comparada com a de revestimentos de outra natureza nas mesmas condições.

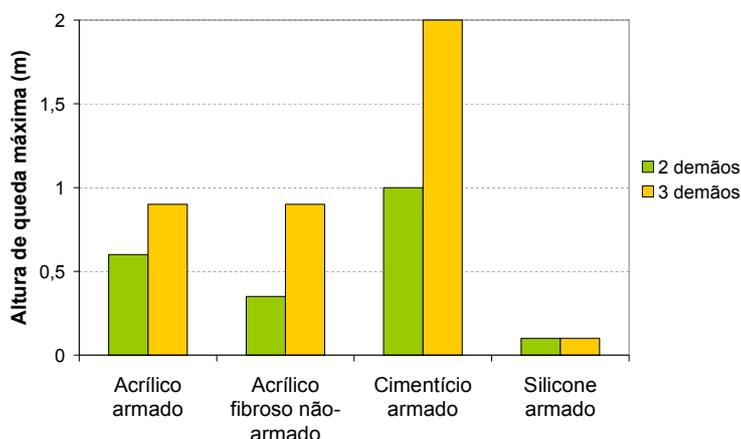


Figura 4.5 – Desempenho dos revestimentos armados no ensaio de punçoamento dinâmico [40], em função do número de demãos.

A influência do número de demãos e, portanto, da espessura dos revestimentos na resistência ao choque foi menos expressiva nos revestimentos acrílico ou com base em silicone líquida; a adição de uma 3ª demão de silicone não permitiu que o revestimento resistisse ao patamar de altura de queda seguinte, 0,05 m mais elevado. Ainda assim, para este patamar, para o qual todos os provetes do revestimento com apenas 2 demãos foram perfurados, apenas 2 dos 5 provetes do revestimento com 3 demãos o foram (Anexo II).

4.4. Ensaio de punçamento estático

O ensaio de punçamento estático, de acordo com o TR 007 [4], requer que os provetes extraídos dos revestimentos sejam sujeitos a quatro níveis de carga diferentes durante um período de 24 h, sob um punção de extremidade esférica com 10 mm de diâmetro. Os resultados deste ensaio estão, à semelhança do que acontece para o punçamento dinâmico, relacionados com a acessibilidade recomendada para a cobertura onde é instalado o revestimento.

Na Tabela 4.3, apresentam-se os resultados deste ensaio para todos os revestimentos ensaiados, assinalando-se o respectivo nível máximo de resistência para o qual nenhum dos 3 provetes foi perfurado.

Tabela 4.3 – Resultados dos ensaio de punçamento estático.

Produto	Armadura	Demãos	Carga máxima			
			70 N	150 N	200 N	250 N
Cimentício bicomponente	-	2			•	
	Rede de fibra de vidro (malha de 4; 200 g/m ²)	2				•
		3				•
Acrílico	-	2	X			
	Rede de fibra de vidro (malha de 2; 60 g/m ²)	2	X			
		3	X			
Acrílico fibroso	-	2	•			
		3	•			
Cimentício bicomponente semiaderido	Tecido não-tecido (90 g/m ²)	2				•
Silicone líquida	-	2	X			
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	•			
		3	•			
Borracha líquida	-	2	X			
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	-			
		3	X			
Poliuretano	-	2				•

- assinala o nível máximo de resistência
- X o revestimento não atingiu o menor nível de resistência
- ensaio não realizado

Da análise aos resultados apresentados, destaca-se a discrepância entre a resistência a cargas pontuais estáticas para os revestimentos das diversas naturezas. Os sistemas de impermeabilização com base em produtos cimentícios ou de poliuretano originaram revestimentos de desempenho elevado, enquanto que a generalidade dos restantes revestimentos revelou grande sensibilidade a esta acção mecânica. Os revestimentos que não resistiram ao menor nível de carga não são, de acordo com o ETAG 005 [2], adequados para impermeabilização de qualquer tipo de cobertura em zona corrente.

Na Figura 4.6, confronta-se a resistência de um revestimento cimentício a uma carga estática de 200 N (do lado direito) com a perfuração e impressão mais acentuada do punção num revestimento acrílico fibroso para a mesma acção (do lado esquerdo).



Figura 4.6 – Punçoamento estático com carga de 200 N: a) revestimento acrílico fibroso com 2 demãos; b) revestimento cimentício não-armado com 2 demãos.

Verificou-se ainda, para todos os sistemas, com excepção dos cimentícios e nos com base em poliuretano, uma diferença significativa de correlação entre as resistências ao punçoamento dinâmico e estático, não se tendo conseguido formular uma justificação para este facto. Em particular, os sistemas acrílicos, que obtiveram um bom desempenho em ambos os tipos de ensaio de resistência ao punçoamento dinâmico, não resistiram ao menor nível de carga no ensaio de punçoamento estático.

De forma a avaliar a influência de cada uma das variáveis explicativas do desempenho dos revestimentos na resistência ao punçoamento estático, foram fixadas as variáveis restantes e registado o valor do nível de carga máximo a que cada revestimento resistiu.

Pelo facto de o revestimento armado com base em 2 demãos de borracha líquida se ter revelado permeável no ensaio de estanqueidade, não cumprindo, portanto, o requisito mínimo para o uso pretendido, não foram feitos os restantes ensaios; devido a este facto, a influência da armadura ou do número de demãos neste tipo de revestimento não pôde ser avaliada.

4.4.1. Desempenho em função da natureza do sistema

Para análise deste parâmetro, registaram-se na Tabela 4.4 os resultados do desempenho dos revestimentos com 2 demãos não-armados.

Os resultados revelam uma grande disparidade da resistência a carregamentos estáticos dos revestimentos das diversas naturezas. Sem utilização de armadura, apenas os revestimentos cimentício e à base de poliuretano têm de forma clara, e segundo o ETAG 005, um desempenho adequado à utilização em coberturas. O revestimento à base de poliuretano distingue-se pela sua elevada resistência a cargas estáticas, em particular se for tido em conta que, para as mesmas 2 demãos, o revestimento cimentício é significativamente mais espesso.

Todos os outros revestimentos, com excepção do que tem por base o produto acrílico fibroso, que obteve um desempenho superior ao produto acrílico simples, conseguindo resistir ao nível mínimo de carga, não parecem ser adequados, sem armadura, à impermeabilização de coberturas em zona corrente.

Tabela 4.4 – Desempenho dos revestimentos não-armados no ensaio de punçoamento estático, em função da sua natureza.

Produto	Carga máxima			
	70 N	150 N	200 N	250 N
Cimentício bicomponente			•	
Acrílico	X			
Acrílico fibroso	•			
Silicone líquida	X			
Borracha líquida	X			
Poliuretano				•

- assinala o nível máximo de resistência
- X o revestimento não atingiu o menor nível de resistência

4.4.2. Desempenho em função da utilização de armadura

Os resultados obtidos para revestimentos com base em 2 demãos, apresentados na Tabela 4.5, indiciam que a utilização de armadura confere, como seria de esperar, maior resistência a cargas estáticas, permitindo que o revestimento cimentício atingisse o nível máximo de carga e que o revestimento com base em silicone líquida resistisse ao menor nível.

Para o revestimento acrílico, o comportamento melhorou, mas não foi suficiente para que todos os provetes deste revestimento resistissem ao menor nível de carga (Anexo III).

Tabela 4.5 – Desempenho dos revestimentos no ensaio de punção estático, em função da utilização de armadura.

Produto	Condições de reforço	Carga máxima			
		70 N	150 N	200 N	250 N
Cimentício bicomponente	-			•	
	Rede de fibra de vidro				•
Acrílico	-	X			
	Rede de fibra de vidro	X			
Silicone líquida	-	X			
	Malha de poliéster	•			

• assinala o nível máximo de resistência
 X o revestimento não atingiu o menor nível de resistência

4.4.3. Desempenho em função do número de demãos

Da análise aos resultados apresentados na Tabela 4.6, conclui-se que o número de demãos, para o que é corrente tomar, geralmente 2 ou 3, parece ter influência limitada na resistência às cargas estáticas, não permitindo que nenhum revestimento melhorasse de forma clara o seu desempenho.

Tabela 4.6 – Desempenho dos revestimentos armados no ensaio de punção estático, em função da quantidade de demãos.

Produto	Demãos	Carga máxima			
		70 N	150 N	200 N	250 N
Cimentício bicomponente armado	2				•
	3				•
Acrílico armado	2	X			
	3	X			
Acrílico fibroso não-armado	2	•			
	3	•			
Silicone líquida armado	2	•			
	3	•			

• assinala o nível máximo de resistência
 X o revestimento não atingiu o menor nível de resistência

4.5. Ensaio de comportamento à tracção

O ensaio de comportamento à tracção requer que provetes de dimensões 300 mm x 50 mm sejam sujeitos a um estiramento à velocidade constante de 100 mm por minuto, sendo os valores de força e alongamento monitorizados pelo aparelho e registados o valor máximo da força e o alongamento nesse instante. Este ensaio tem como objectivo caracterizar o comportamento dos revestimentos à tracção, uma solicitação a que estão frequentemente sujeitos em obra. O comportamento dos revestimentos quando sujeitos a esta acção de forma cíclica, sobre fissuras activas, pode ser determinado com o ensaio de resistência ao movimento de fadiga, de acordo com o TR 008 [29].

Tabela 4.7 – Resultados dos ensaios de tracção.

Produto	Armadura	Demãos	Força máxima (N/50 mm)		Extensão na força máxima (%)	
			Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
Cimentício bicomponente	-	2	75	7	25	5
	Rede de fibra de vidro (malha de 4 mm; 200 g/m ²)	2	1855	290	5	0
		3	2145	152	5	0
Acrílico	-	2	80	10	87	7
	Rede de fibra de vidro (malha de 2 mm; 60 g/m ²)	2	795	52	4	0
		3	935	57	5	0
Acrílico fibroso	-	2	160	12	12	1
		3	295	17	13	1
Cimentício bicomponente semiaderido	Tecido não-tecido (90 g/m ²)	2	385	8	49	1
Silicone líquida	-	2	≥ 35	*	≥ 196	*
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	220	29	31	6
		3	270	21	40	2
Borracha líquida	-	2	35	3	25	9
	Malha apertada de poliéster (50 g/m ²)	2	-	-	-	-
		3	240	16	36	1
Poliuretano	-	2	≥ 225	*	≥ 196	*

* não calculado pelo facto de o ensaio ter atingido o curso máximo da máquina

- ensaio não realizado

Na Tabela 4.7, apresentam-se os resultados deste ensaio para todos os revestimentos ensaiados. De acordo com a norma EN 12311-1 [5], os valores da força encontram-se expressos em N/50 mm, arredondados aos 5 N mais próximos, e os valores da extensão são expressos em percentagem e arredondados à unidade.

Salienta-se desde já a disparidade de resultados entre os vários revestimentos, em particular entre a extensão na força máxima de revestimentos não-armados altamente deformáveis e revestimentos armados com rede de fibra de vidro. A Figura 4.7 ilustra a fase final de ensaios de tracção a provetes de revestimentos cimentício armado (do lado esquerdo), com pequena deformação no momento da rotura, e não-armado com base em silicone líquida (do lado direito), que atingiu o curso máximo da máquina sem romper.

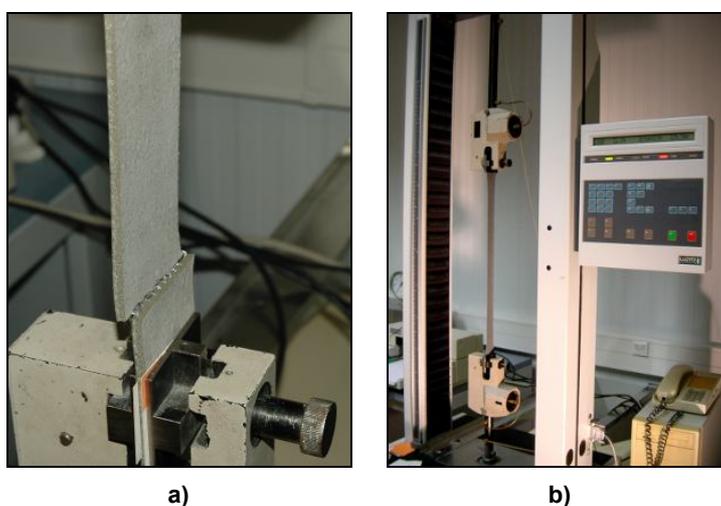


Figura 4.7 – Ensaio de comportamento à tracção: a) pormenor da rotura de revestimento cimentício armado; b) revestimento não-armado com base em silicone líquida.

Nos gráficos de colunas apresentados neste subcapítulo, representam-se os valores da força máxima e da extensão correspondente, e os respectivos desvios padrão, não sendo estes valores, no entanto, suficientes para caracterizar perfeitamente o comportamento dos revestimentos. O comportamento dos revestimentos antes e depois de atingirem a força máxima, para todos os provetes ensaiados, pode ser consultado nos gráficos disponíveis no Anexo IV.

4.5.1. Desempenho em função da natureza do sistema

Os resultados da extensão na força máxima para os revestimentos não-armados com base em 2 demãos, representados na Figura 4.8, encontram-se limitados ao curso máximo que o aparelho de ensaios permite atingir em segurança, correspondente a um alongamento de aproximadamente 400 mm, equivalente a uma extensão de 200%. Por esta razão, os valores

apresentados para os revestimentos à base de silicone ou poliuretano representam os valores registados no momento da interrupção do ensaio (por limitação do curso do aparelho de ensaios) e não os valores característicos reais de cada um deles. Pela mesma razão, não são representados os respectivos desvios padrão.

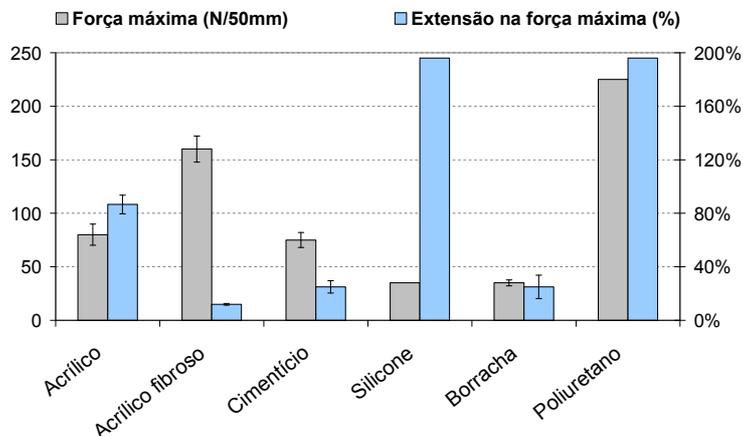


Figura 4.8 – Desempenho dos revestimentos não-armados no ensaio de tracção, em função da sua natureza.

Como referido, os valores de força máxima e respectiva extensão não são suficientes para caracterizar o comportamento dos revestimentos à tracção. Na Figura 4.9, representa-se o comportamento à tracção de provetes dos sistemas não-armados com 2 demãos.

Da análise da figura, podem retirar-se conclusões em relação à rigidez dos diferentes sistemas. De entre os revestimentos não-armados, o cimentício, o acrílico fibroso e o revestimento com base em poliuretano são claramente os mais rígidos, ou seja, para a mesma extensão imposta ao provete, o aparelho de ensaios necessita de exercer uma força consideravelmente superior para estes revestimentos, quando comparada com a dos restantes.

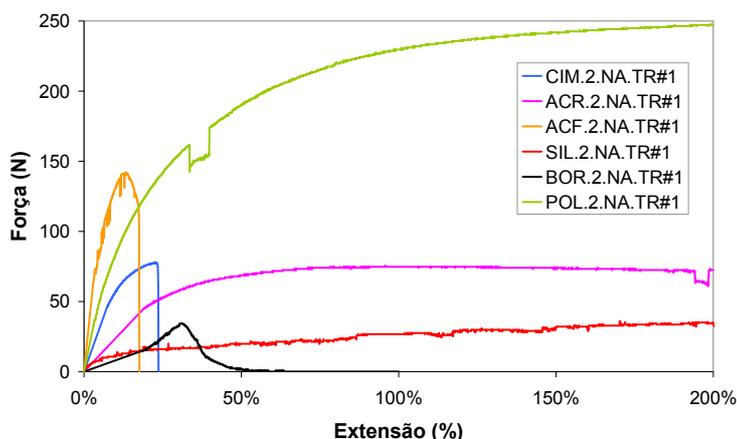


Figura 4.9 – Comportamento à tracção de revestimentos não-armados (ver Tabela 3.11).

Para os provetes cujo comportamento está representado na Figura 4.9, o módulo de elasticidade, um parâmetro que representa uma medida da rigidez do revestimento, independentemente da sua espessura, foi determinado da seguinte forma:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A}{\varepsilon} = \frac{F/e \cdot l}{\varepsilon}$$

onde:

- E é módulo de elasticidade, em Pa;
- σ é a tensão de tracção no final da fase de comportamento linear, em Pa;
- ε é a extensão sofrida pelo provete até ao final da fase de comportamento linear, uma grandeza adimensional;
- F é a força exercida pelo aparelho de ensaio no final da fase de comportamento linear, em N;
- A é a área da secção do provete, em m²;
- e é a espessura média do provete, em m;
- l é a largura do provete, igual a 0,050 m.

Este parâmetro é válido durante a fase linear inicial dos gráficos de comportamento à tracção. Os valores do módulo de elasticidade para os provetes representados na Figura 4.9 e os valores considerados para os restantes parâmetros necessários ao seu cálculo encontram-se na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 – Módulo de elasticidade dos revestimentos (ver Tabela 3.11).

Provete	F (N)	e (mm)	ε (%)	E (MPa)
CIM.2.NA.TR#1	45,78	2,37	7,25	5,33
ACR.2.NA.TR#1	45,01	1,47	19,01	3,22
ACF.2.NA.TR#1	62,56	0,94	2,90	45,90
SIL.2.NA.TR#1	3,81	1,39	1,30	4,22
BOR.2.NA.TR#1	15,26	0,51	19,01	3,15
POL.2.NA.TR#1	32,04	1,65	2,92	13,30

A análise aos dados da Tabela 4.8 confirma que os revestimentos acrílico fibroso e com base em poliuretano são, independentemente da espessura dos sistemas, claramente os mais rígidos e mostra que, apesar de o revestimento cimentício ser mais rígido do que os restantes, essa diferença não é significativa.

A elevada deformabilidade dos revestimentos acrílico, à base de silicone líquida ou poliuretano ficou comprovada, com extensões superiores a 200% em todos os casos, sendo o revestimento à base de poliuretano, no entanto, bastante mais rígido.

De todos os revestimentos ensaiados, o revestimento à base de borracha líquida foi o que se caracterizou pela menor resistência à tracção, sendo o revestimento com base em poliuretano o mais resistente.

A resistência ao punçoamento de um revestimento não é determinada exclusivamente pela sua deformabilidade ou rigidez. Embora ambos altamente deformáveis, houve uma diferença significativa de resistência ao punçoamento entre revestimentos à base de silicone líquida e poliuretano. A rigidez também não é, aparentemente, determinante. Para os revestimentos acrílicos fibrosos, que se revelaram os mais rígidos, obtiveram-se valores de resistência ao punçoamento significativamente mais baixos do que os dos sistemas cimentício ou à base de poliuretano.

4.5.2. Desempenho em função da utilização de armadura

O desempenho dos revestimentos armados é essencialmente dependente do desempenho das armaduras utilizadas. Sendo as armaduras bastante mais rígidas do que os respectivos revestimentos não-armados, não foi possível representar no mesmo gráfico os resultados de revestimentos armados e não-armados da mesma natureza, devido à disparidade de valores. Todos os valores apresentados dizem respeito a provetes orientados segundo a direcção longitudinal, de desenvolvimento, dos rolos de onde foi extraída a respectiva armadura.

Os resultados para os revestimentos de 2 demãos armados, representados na Figura 4.10, devem ser comparados com os dos revestimentos não-armados da mesma natureza, apresentados na Figura 4.8. Desta comparação, conclui-se que, embora a utilização de armadura garanta maior resistência à tracção, os revestimentos armados perdem capacidade de deformação.

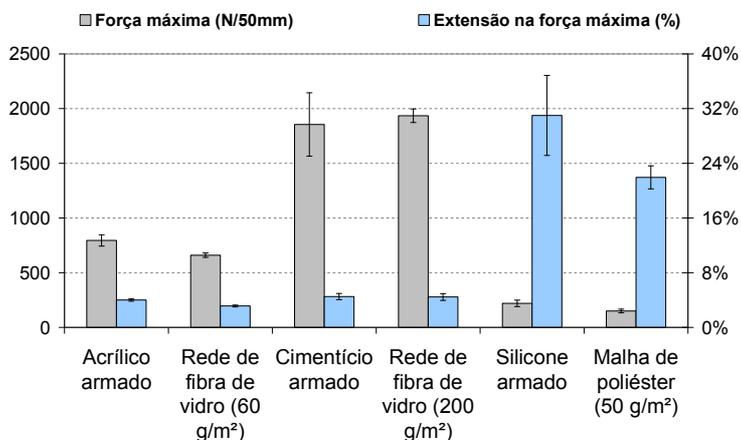


Figura 4.10 – Desempenho dos revestimentos de 2 demãos armados e respectivas armaduras no ensaio de tracção.

Sendo as armaduras bastante mais rígidas do que os produtos que formam os revestimentos, no momento em que a armadura entra em rotura, a tensão elevada que nela se concentrava é absorvida pelo material que forma o revestimento, originando uma rotura frágil, de que é típico o gráfico de comportamento representado na Figura 4.12 a).

Na Figura 4.10, representam-se ainda, para cada revestimento e imediatamente à sua direita, os resultados dos ensaios de tracção da respectiva armadura. Da análise a estes resultados, fica claro que o desempenho dos revestimentos armados é essencialmente imposto pelo desempenho das respectivas armaduras, dada a semelhança entre os dois, tanto para os valores da força máxima como para os da extensão correspondente.

Seria de esperar que um revestimento armado tivesse uma resistência à tracção superior à da respectiva armadura. No entanto, verificou-se ser a resistência do revestimento cimentício com 2 demãos armado inferior à da rede de fibra de vidro utilizada como armadura. O problema ocorrido com o aparelho de ensaios de tracção, descrito no subcapítulo 3.11, implicou que fossem utilizados mais provetes do que o inicialmente previsto e, por haver uma amostra de revestimento limitada, que os provetes para os quais o ensaio foi válido fossem extraídos de zonas próximas dos bordos desta. Suspeita-se que o facto de a resistência do revestimento cimentício armado ser inferior à da respectiva armadura resulte de os provetes terem sido extraídos de zonas coincidentes também com os bordos da armadura, onde as suas propriedades mecânicas podem ser menos consistentes.

4.5.3. Desempenho em função do número de demãos

Da análise aos resultados apresentados na Figura 4.11, pode concluir-se que a aplicação de mais uma demão resulta num acréscimo de resistência à tracção relativamente limitado para os revestimentos armados, cujo comportamento é essencialmente regulado pelas características da armadura utilizada. No revestimento acrílico fibroso, que não incorpora armadura, o aumento de espessura permitiu quase duplicar o valor de força máxima, embora seja um dos revestimentos com os valores mais baixos desta característica mecânica.

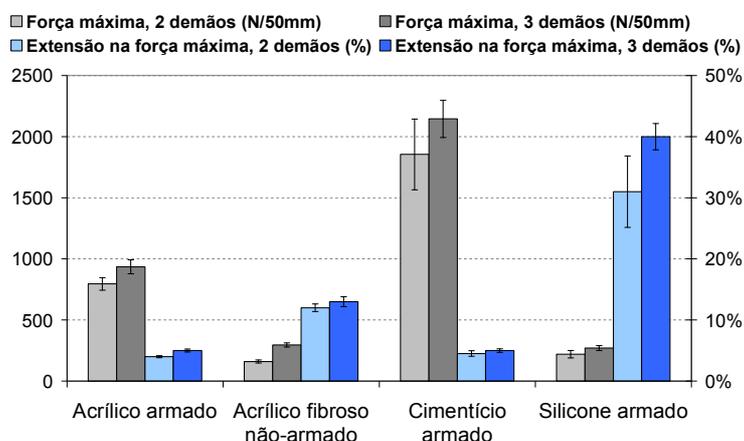


Figura 4.11 – Desempenho dos revestimentos armados no ensaio de tracção, em função da quantidade de demãos.

O aumento da espessura permitiu ainda, para o revestimento acrílico, explorar mais a sua deformação após a rotura da armadura, como ilustrado na Figura 4.12 b), embora na prática esta propriedade não tenha utilidade, pois em condições normais, quando aplicados em obra, os revestimentos não estão sujeitos a solicitações da grandeza da verificada no momento da rotura da armadura. Com uma demão adicional, o comportamento com rotura frágil manteve-se para os revestimentos cimentício ou à base de silicone (Anexo IV), embora para este último a extensão na força máxima tenha aumentado significativamente, 9% em valor absoluto (Figura 4.11).

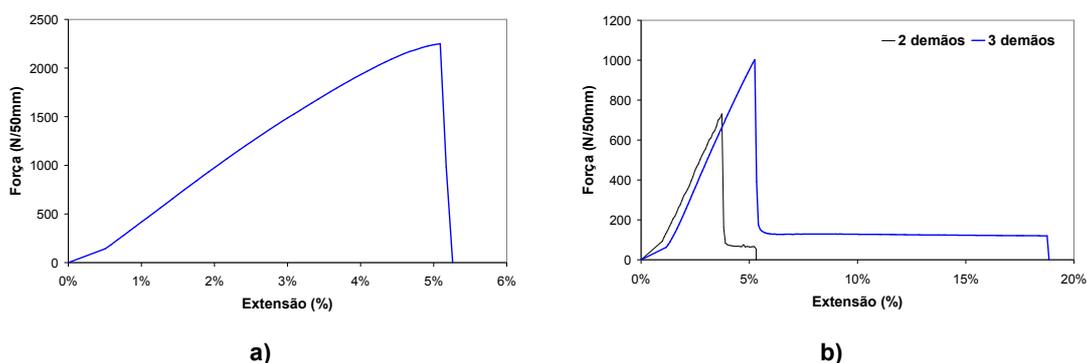


Figura 4.12 – Gráficos de comportamento à tracção: a) revestimento cimentício com 3 demãos armado; b) revestimento acrílico armado.

4.5.4. Influência da orientação da armadura

Todos os resultados dos ensaios de tracção dos revestimentos armados apresentados até este ponto dizem respeito a provetes extraídos segundo a direcção longitudinal da respectiva armadura, a direcção segundo a qual se desenvolve o rolo de onde é extraída. Devido às particularidades do método de fabrico ou às características geométricas, as armaduras podem revelar comportamentos diferentes à tracção se forem ensaiadas segundo diferentes direcções.

É importante assegurar que a avaliação feita a revestimentos armados não é invalidada por um comportamento significativamente diferente noutra direcção que não a longitudinal. Assim, complementaram-se os ensaios de tracção realizados sobre os revestimentos armados na direcção longitudinal com ensaios realizados na direcção transversal da armadura.

Na Figura 4.13, apresentam-se os resultados obtidos segundo as direcções longitudinal e transversal das armaduras de um conjunto de revestimentos que cobre os quatro tipos de armaduras utilizados. Todos os revestimentos têm 2 demãos, à excepção do cimentício, para o qual foram utilizados os dados do revestimento com 3 demãos.

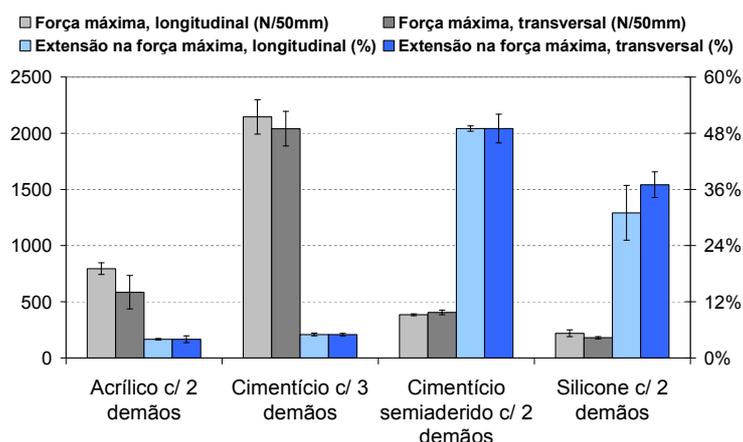


Figura 4.13 – Desempenho de revestimentos armados no ensaio de tracção, segundo as direcções longitudinal e transversal das respectivas armaduras.

Os revestimentos acrílico e cimentício, com rede de fibra de vidro, revelaram em termos absolutos a maior diferença de força máxima admitida entre as direcções longitudinal e transversal, sendo máxima para a rede de menor gramagem usada no revestimento acrílico. Apesar das diferenças em termos de resistência, os valores da extensão na força máxima registados para as direcções longitudinal e transversal mantiveram-se em ambos os revestimentos.

A armadura utilizada no revestimento acrílico semiaderido, do tipo tecido não-tecido, teve o desempenho mais homogéneo, enquanto que o revestimento à base de silicone líquida com malha de poliéster foi o único cuja extensão na força máxima para a direcção transversal foi significativamente diferente (6% mais elevada) da verificada na direcção longitudinal.

É esperado que, para direcções oblíquas, a diferença de comportamento seja mais explícita, em particular para as armaduras em rede, claramente mais deformáveis em direcções que não sejam as principais, de alinhamento dos fios.

4.6. Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura

Pelas razões referidas em 3.6., o ensaio de flexibilidade a baixa temperatura foi feito apenas para revestimentos não-armados e para uma temperatura fixa de -5 °C. É também expectável que sejam os revestimentos não-armados os mais susceptíveis a sofrer fendilhação quando dobrados. Uma vez que, à data do ensaio, já não restava amostra em quantidade suficiente de revestimento acrílico para extracção de provetes, o comportamento dos revestimentos acrílicos a baixa temperatura encontra-se representado apenas pelo revestimento com base em produto acrílico fibroso.

Em nenhum dos provetes ensaiados se observou fendilhação quando dobrados, após permanecerem à temperatura de -5 °C durante 1 hora. De todos os revestimentos ensaiados,

apenas o revestimento à base de borracha líquida ficou claramente mais rígido a baixa temperatura, não tendo ocorrido, no entanto, fendilhação após dobragem.

Os resultados do ensaio permitem concluir que não deverá ocorrer prejuízo evidente no desempenho dos revestimentos para as temperaturas mínimas verificadas na generalidade do território Português. No entanto, uma análise mais exacta aos efeitos da baixa temperatura no comportamento dos revestimentos exigiria que fossem comparados os valores obtidos nos ensaios de tracção e punçoamento com os valores obtidos à temperatura de -5 °C nos mesmos ensaios.



Figura 4.14 – Ensaio de flexibilidade a baixa temperatura. Observação a olho nu para detectar eventual fissuração do revestimento.

4.7. Categoria de carga de serviço dos revestimentos ensaiados

A categoria de carga de serviço atribuída a um SIBPLP depende, de acordo com o ETAG 005 [2], dos resultados obtidos nos ensaios de punçoamento dinâmico e estático. O menor nível de resistência obtido entre os dois tipos de ensaio de punçoamento condiciona a categoria de carga de serviço atribuível ao sistema, como indicado na Tabela 3.3. Também de acordo com o ETAG 005, a uma categoria de carga de serviço associada a um SIBPLP corresponde um tipo de acessibilidade aceitável para a cobertura onde o sistema é instalado. Esta correspondência está expressa na Tabela 2.4.

A correspondência entre os níveis de resistência ao punçoamento dinâmico ou estático discriminados na Tabela 4.9 e, respectivamente, o diâmetro do punção ou a carga utilizada é feita de acordo com as Tabela 3.5 e Tabela 3.6. Para todos os SIBPLP ensaiados, a atribuição de uma categoria de carga de serviço foi condicionada, em todos os casos, pelos resultados do ensaio de punçoamento estático, sendo o desempenho no ensaio de punçoamento dinâmico

suficiente para atribuição da categoria máxima, apenas com exceção dos sistemas com base em silicone líquida. O SIBPLP baseado em 2 demãos armadas de borracha líquida, por não ser estanque e não cumprir, portanto, o requisito mínimo para ser utilizado como revestimento de impermeabilização, não foi ensaiado.

Tabela 4.9 – Categoria de carga de serviço atribuída aos SIBPLP ensaiados.

Produto	Armadura	Demãos	Nível de resistência		Categoria de carga de serviço
			Punçoamento dinâmico	Punçoamento estático	
Cimentício bicomponente	-	2	I4	L3	P3
	Rede de fibra de vidro (4 mm de abertura; 200 g/m ²)	2	I4	L4	P4
		3	I4	L4	P4
Acrílico	-	2	I4	X	X
	Rede de fibra de vidro (2 mm de abertura; 60 g/m ²)	2	I4	X	X
		3	I4	X	X
Acrílico fibroso	-	2	I4	L1	P1
		3	I4	L1	P1
Cimentício bicomponente semiaderido	Tecido não tecido (90 g/m ²)	2	I4	L4	P4
Silicone líquida	-	2	I3	X	X
	Malha de poliéster (50 g/m ²)	2	I3	L1	P1
		3	I3	L1	P1
Borracha líquida	-	2	I4	X	X
	Malha de poliéster (50 g/m ²)	2	-	-	-
		3	I4	X	X
Poliuretano	-	2	I4	L4	P4

X o revestimento não atingiu o menor nível de resistência

- ensaio não realizado

O sistema com base em poliuretano obteve a melhor classificação entre os sistemas não-armados, atingindo a categoria máxima de carga de serviço. A categoria máxima de carga de serviço foi também atribuída aos sistemas cimentício semiaderido e cimentícios armados. O sistema cimentício não-armado atingiu a categoria P3, imediatamente abaixo. O sistema acrílico fibroso é, dos restantes sistemas não-armados ensaiados, o único que permite ser utilizado, de acordo com o ETAG 005, como revestimento de impermeabilização de coberturas,

embora estas devam ter acessibilidade limitada, pois apenas foi classificado para a categoria P1.

Os sistemas armados com base em silicone líquida foram também classificados segundo a categoria P1, enquanto que nenhum dos restantes revestimentos ainda não referidos deverá ser utilizado para impermeabilização de coberturas, pelo facto de um ou mais provetes terem sido perfurados quando sujeitos à carga equivalente ao menor nível de resistência ao punçoamento estático.

A disparidade de desempenho dos revestimentos ensaiados e o facto de haver sistemas que, de acordo com o ETAG 005, não cumprem as exigências mínimas de resistência a cargas de serviço comprovaram a necessidade de aprofundar o conhecimento nesta área e a importância dos objectivos que esta dissertação se propôs atingir.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

5.1. Considerações finais

A tradição do uso de membranas betuminosas prefabricadas para impermeabilização de terraços e a grande diversidade de sistemas com base em produtos líquidos ou pastosos para o mesmo fim justificam a ausência de bibliografia significativa e abrangente sobre o tema abordado no presente estudo.

Em particular, a inexistência de outros estudos experimentais a nível nacional e o desconhecimento de estudos internacionais sobre SIBPLP, à excepção dos que levam à sua homologação, justificaram e deixaram claras a necessidade e a importância de um estudo sobre o seu comportamento mecânico.

Recorde-se que os ensaios de punçoamento incidiram apenas sobre provetes no estado novo e que a classificação inequívoca dos sistemas segundo as categorias de carga de serviço atribuídas na Tabela 4.9 exigiria a confirmação dos resultados com uma campanha de ensaios mais extensa, cobrindo todas as condições referidas nas tabelas 3.1 e 3.2, para os ensaios de punçoamento dinâmico e estático, respectivamente. Os ensaios foram ainda realizados sobre provetes soltos, sem considerar a influência da aderência ao suporte no seu comportamento mecânico.

Ainda assim, os resultados obtidos permitiram detectar diferenças claras de desempenho entre os sistemas das diversas naturezas, confirmando a sua importância e carácter de inovação e constituindo uma informação útil de apoio à prescrição de sistemas deste tipo.

No entanto, a escolha de um SIBPLP adequado a uma dada cobertura deverá basear-se não só na sua resistência mecânica, mas também noutras características:

- a resistência ao desgaste provocado pelo tráfego, apesar de ser sempre recomendada uma protecção pesada para coberturas transitáveis;
- a sensibilidade à exposição a agentes atmosféricos e temperaturas extremas;
- o tempo de cura, que deverá ser compatível com os restantes trabalhos a executar na cobertura e durante o qual se deverão manter as condições atmosféricas favoráveis;
- a facilidade de aplicação e condições de higiene e segurança;
- a resistência química.

Assim, a selecção de um sistema exige a ponderação destes factores e não deverá dispensar a consulta das respectivas fichas técnicas e dos fabricantes.

5.2. Conclusões gerais

Pretende-se neste ponto sintetizar as principais conclusões resultantes da análise aos resultados da campanha de ensaios. Apresentam-se os principais resultados, explicita-se a influência dos diversos parâmetros no comportamento mecânico dos revestimentos e sugere-se o emprego mais adequado de cada um dos sistemas.

Os resultados dos ensaios mostraram ser possível, de acordo com o ETAG 005 [2] e em relação à resistência a cargas pontuais estáticas e dinâmicas, obter revestimentos com base em produtos líquidos ou pastosos com desempenho adequado à sua utilização para impermeabilização de coberturas em terraço.

Apenas um dos sistemas ensaiados não cumpriu o requisito mínimo, de estanqueidade, para o uso pretendido. Deverá certificar-se que, para sistemas armados, a armadura é adequadamente recoberta, de forma a garantir a estanqueidade do sistema. Este cuidado é particularmente importante para produtos com consumos moderados, inferiores a 1 kg/m^2 por demão. A utilização de talocha para aplicação de produtos de consistência pastosa não deverá resultar em menor homogeneidade da espessura do revestimento, quando comparada com a de revestimentos aplicados a rolo e desde que a aplicação seja feita por operários com alguma prática.

No ensaio de punçoamento dinâmico descrito no TR 006 [3], a generalidade dos revestimentos ensaiados obteve resultados que permitiram associar-lhe o nível de resistência mais elevado. Este ensaio revelou-se, portanto, inadequado para clarificar as diferenças de desempenho entre os revestimentos em relação a este tipo de solicitação mecânica, tendo-se recorrido para esse efeito ao ensaio descrito na norma NP EN 12691 [40].

A campanha de ensaios realizada não incluiu a avaliação dos efeitos do envelhecimento, da exposição a condições climatéricas extremas e da aderência ao suporte no comportamento mecânico dos revestimentos. Tendo isto em conta, apresentam-se seguidamente os principais resultados a que se chegou:

- os sistemas cimentícios, acrílicos ou à base de poliuretano têm resistência ao punçoamento dinâmico claramente superior aos sistemas com base em silicone líquida ou borracha líquida; para 2 demãos sem utilização de armadura, os sistemas cimentício, acrílico ou à base de poliuretano resistiram, no ensaio de punçoamento dinâmico, a uma altura de queda máxima de 0,70 m; nas mesmas condições, os sistemas à base de silicone líquida ou borracha líquida resistiram, respectivamente, a 0,05 m e 0,15 m;
- há grande disparidade de desempenho entre os sistemas das diversas naturezas em relação à resistência ao punçoamento estático; destacam-se, pelo desempenho superior a este tipo de acção mecânica, os sistemas cimentícios ou à base de poliuretano, que resistiram a cargas entre 200 e 250 N; os restantes sistemas ensaiados resistiram no máximo a uma carga de 70 N;

- a resistência dos revestimentos a cargas pontuais não pode ser inferida a partir de propriedades como a rigidez ou a deformabilidade, sendo também dependente de outras propriedades intrínsecas do material;
- a utilização de armadura conduziu, como seria de esperar, a um melhor desempenho dos revestimentos em relação a cargas pontuais (estáticas e dinâmicas);
- a aplicação de uma demão adicional conduziu a um aumento significativo da resistência a cargas pontuais, mas apenas às dinâmicas;
- todos os revestimentos ensaiados permaneceram flexíveis à temperatura de -5° C.

Como referido, as propriedades determinadas pelos ensaios de tracção não permitem inferir o desempenho dos revestimentos em relação ao punçoamento e, portanto, o simples manuseamento de amostras não permite avaliar a resistência a esta acção mecânica, como aparentemente se poderia esperar. No entanto, é importante clarificar que, quando sujeitos a esforços de tracção, os diversos tipos de revestimento mostraram comportamentos bastante distintos.

Para revestimentos armados, o comportamento do sistema é condicionado pelo comportamento da armadura empregue, ao qual se assemelha.

No que diz respeito a revestimentos não-armados, uma comparação relativa entre eles revelou dois tipos de comportamentos distintos. Os revestimentos acrílico, com base em poliuretano ou silicone caracterizam-se pela elevada deformabilidade, embora o revestimento com base em poliuretano seja bastante mais rígido. Comparativamente a estes, os restantes sistemas mostraram possuir uma capacidade de deformação significativamente mais limitada. O revestimento à base de borracha líquida tem a menor resistência a este tipo de solicitação mecânica e o revestimento com base em poliuretano é o mais resistente.

Segundo o ETAG 005, ao tipo de cobertura adequado a cada sistema está associada uma categoria de resistência a cargas de serviço, que se revelou estar condicionada essencialmente pela resistência a cargas pontuais estáticas. Com base nos resultados obtidos e de acordo com este Guia, indica-se o tipo de cobertura recomendado para cada sistema:

- a elevada resistência ao punçoamento dinâmico e estático sugere que os revestimentos cimentícios, em particular quando armados, ou à base de poliuretano, sejam indicados para coberturas acessíveis e transitáveis;
- os resultados obtidos para os sistemas à base de silicone líquida, quando armados, ou para os sistemas acrílicos fibrosos indiciam que estes deverão ser instalados apenas sobre coberturas não-acessíveis;
- a elevada sensibilidade a cargas pontuais dos restantes revestimentos ensaiados, acrílicos ou à base de borracha líquida, sugere que estes não sejam apropriados para nenhum dos tipos de cobertura estabelecidos no ETAG 005, mesmo quando armados.

5.3. Desenvolvimentos futuros

Uma vez que a campanha de ensaios foi confinada a um período limitado de tempo e sujeita à disponibilidade de recursos humanos e materiais, sugere-se agora estudos de matérias que completem ou complementem o trabalho desenvolvido.

Para comprovar ou corrigir a categoria de resistência a cargas pontuais aqui atribuída aos diversos revestimentos, poderá ser efectuada uma campanha de ensaios de punçoamento que tenha em consideração o efeito do envelhecimento e das condições climáticas extremas sobre a resistência a este tipo de solicitação mecânica. Os requisitos para simular estes efeitos encontram-se nas tabelas 3.1 e 3.2.

Sugere-se ainda a aplicação dos revestimentos sobre amostras dos suportes correntes na construção e a posterior avaliação da sua resistência a cargas pontuais. O método que permite detectar a perfuração de um revestimento aderido ao suporte encontra-se descrito nas normas relativas aos ensaios de punçoamento [3] [4].

Para evitar um dos problemas descritos em 3.11, recomenda-se que uma das iniciativas futuras possa ser a concepção de um ensaio que permita determinar com clareza a perfuração de revestimentos caracterizados por elevada deformabilidade.

Será ainda interessante determinar a aptidão dos diversos sistemas a aplicações em que estejam sujeitos a água estagnada, concebendo ou recorrendo a um ensaio adequado.

Uma vez que dos ensaios de tracção realizados não se pode inferir o comportamento dos revestimentos quando sujeitos ciclicamente a esta solicitação mecânica, sobre fissuras vivas, será importante determiná-lo de acordo com o documento normativo adequado [29]. Dada a elevada importância desta característica mecânica dos revestimentos para a sua eficácia quando aplicados em obra, poderá ainda determinar-se, para os sistemas armados, qual a orientação da armadura que confere ao revestimento a maior resistência ao movimento de fadiga. Este estudo deverá ser particularmente importante para os sistemas que utilizem armaduras em rede, cujas propriedades mecânicas diferem substancialmente entre as direcções principais da malha e direcções oblíquas a estas.

Referências bibliográficas

- [1] GRANDÃO LOPES, Jorge M. - Revestimentos de impermeabilização de coberturas em terraço. Informação técnica edifícios, ITE 34. Lisboa, LNEC, 1994.
- [2] European organization for technical approvals (EOTA) - ETAG 005 - Guideline for European technical approval of liquid applied roof waterproofing kits. Brussels, 2004.
- [3] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 006 - Determination of the resistance to dynamic indentation. Brussels, 2004.
- [4] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 007 - Determination of the resistance to static indentation. Brussels, 2004.
- [5] Comité Européen de normalisation (CEN) - Flexible sheets for waterproofing - Part 1 - bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of tensile properties, EN 12311-1. Brussels, 1999.
- [6] Comité Européen de normalisation (CEN) - Flexible sheets for waterproofing - Part 1 - bitumen sheets for roof waterproofing - Determination of flexibility at low temperature, EN 1109. Brussels, 1999.
- [7] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 003 - Determination of the watertightness. Brussels, 2004.
- [8] MATTER, Tony - Energy efficiency: more than a simple black-and-white issue. Interface, technical journal, Vol. XXVI, No. 11. Raleigh, North Carolina, December 2008, pp. 25-30.
- [9] MITCHELL, Paul M. - History of polymer modified and cold process roofing. Interface, technical journal, Vol. XX, No. 10. Raleigh, North Carolina, November 2002, pp. 5-14.
- [10] D'ANNUNZIO, John A. - Liquid applied and cold applied roofing and waterproofing systems in the United States: an independent overview of their performance characteristics, material analysis and solutions for proper application. 12th international roofing and waterproofing conference. Orlando, Florida, September 2002, CD-ROM.
- [11] FRICKLAS, Dick - Single-ply roofing - Half a century of experience, but what have we learned?. Interface, technical journal, Vol. XXV, No. 7. Raleigh, North Carolina, August 2007, pp. 35-44.
- [12] BAKER, M. C. - New roofing systems. Canadian Building Digest 49. Ottawa, Ontario, January 1964.
- [13] ALLENSTEIN, Paul - Global roofing trends going green: cold-liquid-applied membranes offer earth-friendly product. Interface, technical journal, Vol. XXV, No. 9. Raleigh, North Carolina, October 2007, pp. 32-36.

- [14] LIU, Karen - Green, reflective and photovoltaic roofs. *Construction Canada*, Vol. 48, No. 5. Richmond Hill, ON, Canada, September 2006, pp. 44-54.
- [15] KIRN, William A. - Cool roofing jargon. *Interface*, technical journal, Vol. XXII, No. 8. Raleigh, North Carolina, September 2004, pp. 27-30.
- [16] Cool roofing materials database. <http://eetd.lbl.gov/coolroofs/>. Consultado em 26/03/2009.
- [17] KIRN, William A. - Cool roof coatings to reduce energy demand and temperature in an urban environment. *Interface*, technical journal, Vol. XXIV, No. 6. Raleigh, North Carolina, July 2006, pp. 23-30.
- [18] LEONARD, Jim - Reflective roof coatings retain their radiative properties. *Interface*, technical journal, Vol. XXV, No. 8. Raleigh, North Carolina, September 2007, pp. 15-18.
- [19] Matesica - Selant ref.^a 429 - Primário cimentício bicomponente para sistemas de impermeabilização de superfícies. Ficha técnica. Abóboda, Setembro de 2007.
- [20] MOORE, Frank O. - Modified bitumen durability linked to polymer protection. *Interface*, technical journal, Vol. XX, No. 10. Raleigh, North Carolina, November 2002, pp. 23-26.
- [21] European Liquid Waterproofing Association (ELWA) - Guidance note no. 2 - generic types of liquid waterproofing systems. Preston, 2008.
- [22] Teprocil - Teprosecal 250 - Membrana elástica impermeabilizante à base de poliuretano. Ficha técnica. Porto, 2005.
- [23] BODI, Magdalena - Waterborne plastic coatings. Apresentação Alberdingk Boley. Krefeld, Germany, 2007.
- [24] Matesica - Cilastic ref.^a 475 - Revestimento cimentício elástico a dois componentes para impermeabilização e protecção de superfícies. Ficha técnica. Abóboda, Setembro de 2007.
- [25] Matesica - Gumasil ref.^a 499 - Revestimento elástico para impermeabilização de terraços e coberturas. Ficha técnica. Abóboda, Setembro de 2007.
- [26] Matesica - Gumasil ref.^a 498 - Revestimento fibroso e elástico para impermeabilização de terraços e coberturas. Ficha técnica. Abóboda, Setembro de 2007.
- [27] Henkel - Sista Rubson silicone líquida SL 3000 - Revestimento estanque universal, tecnologia exclusiva SilicoTec. Ficha técnica. Bobadela, Abril de 2008.
- [28] Henkel - Sista Rubson borracha líquida LR 2000 - Isolamento estanque à base de borracha butílica. Ficha técnica. Bobadela, Outubro de 2004.
- [29] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 008 - Determination of the resistance to fatigue movement. Brussels, 2004.
- [30] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 010 - Exposure procedure for artificial weathering. Brussels, 2004.

- [31] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 011 - Exposure procedure for accelerated ageing by heat. Brussels, 2004.
- [32] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 012 - Exposure procedure for accelerated ageing by hot water. Brussels, 2004.
- [33] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 009 - Determination of the resistance to sliding. Brussels, 2004.
- [34] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 013 - Determination of crack-bridging capability. Brussels, 2004.
- [35] European organization for technical approvals (EOTA) - TR 004 - Determination of the resistance to delamination. Brussels, 2004.
- [36] Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja - ETA N° 05/0097. Madrid, 2005.
- [37] Instituto de ciencias de la construcción Eduardo Torroja - ETA N° 06/0263. Madrid, 2006.
- [38] Comité Européen de normalisation (CEN) - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Determination of resistance to impact, NP EN 12691. Brussels, 2004.
- [39] Union Européenne pour l'Agrément technique dans la construction (UEAtc) - Directives UEAtc pour l'agrément des systèmes isolants supports d'étanchéité des toitures plates et inclinées. Brussels, 1981, 15 p..
- [40] Comité Européen de normalisation (CEN) - Flexible sheets for waterproofing - Bitumen, plastic and rubber sheets for roof waterproofing - Determination of resistance to impact, NP EN 12691. Brussels, 2008.
- [41] Instituto de meteorologia, IP Portugal - Normais climatológicas [1971-2000]. http://www.meteo.pt/pt/oclima/normais/index.html?page=normais_lis.xml. Consultado em 11/08/2009.
- [42] Deutsches institut für bautechnik - ETA N° 08/0299. Berlin, 2008.

Anexo I

Determinação da espessura média dos revestimentos

Determinação da espessura média

Sistemas cimentícios bicomponente

Provete	Espessura (mm)						
	1	2	3	4	5		
CIM.2.NA.ES#1	2,14	2,45	2,32	2,00	2,26		
CIM.2.NA.ES#2	2,16	2,50	2,27	2,04	2,45		
CIM.2.NA.ES#3	2,64	2,67	2,63	2,34	2,78		
CIM.2.NA.PD#1	2,08	2,29	2,45	2,04	2,21		
CIM.2.NA.PD#2	2,25	2,29	2,20	2,00	2,20		
CIM.2.NA.PD#3	2,65	2,49	2,30	2,65	2,60		
CIM.2.NA.PD#4	2,48	2,57	2,16	2,46	2,33		
CIM.2.NA.PD#5	2,24	2,12	2,45	2,56	2,52		
CIM.2.NA.PE#1	2,21	2,28	1,98	2,19	2,17		
CIM.2.NA.PE#2	2,34	2,18	1,95	2,28	2,19		
CIM.2.NA.PE#3	1,97	2,27	2,20	2,09	2,07		
CIM.2.NA.TR#1	2,04	2,49	2,58				
CIM.2.NA.TR#2	2,57	2,54	2,17				
CIM.2.NA.TR#3	1,98	2,11	2,41				
CIM.2.NA.TR#4	1,99	2,19	2,45				
CIM.2.NA.TR#5	2,41	2,32	2,41				
				Média:	2,32		
				Desvio padrão:	0,20		
				Coeficiente de variação:	0,09		
CIM.2.AR.ES#1	2,50	2,48	2,35	2,48	2,59		
CIM.2.AR.ES#2	2,24	2,38	2,20	2,08	2,47		
CIM.2.AR.ES#3	2,93	2,45	2,22	2,28	2,36		
CIM.2.AR.PD#1	2,50	2,35	2,64	2,81	2,50		
CIM.2.AR.PD#2	2,88	2,65	2,45	2,48	2,55		
CIM.2.AR.PD#3	2,57	2,69	2,43	2,20	2,23		
CIM.2.AR.PD#4	2,84	2,31	1,98	2,03	1,92		
CIM.2.AR.PD#5	2,41	2,70	2,24	2,39	2,66		
CIM.2.AR.PE#1	1,99	2,01	2,84	2,32	1,98		
CIM.2.AR.PE#2	2,69	2,74	1,94	2,17	2,36		
CIM.2.AR.PE#3	2,21	2,20	2,16	2,36	2,40		
CIM.2.AR.TL#1	2,22	2,11	2,19				
CIM.2.AR.TL#2	2,27	2,03	2,26				
CIM.2.AR.TL#3	2,29	2,50	2,52				
CIM.2.AR.TL#4	2,46	2,54	2,53				
CIM.2.AR.TL#5	2,35	2,56	2,60				
CIM.2.AR.TT#1	2,52	2,42	2,28				
CIM.2.AR.TT#2	2,55	2,64	2,57				
CIM.2.AR.TT#3	2,59	2,54	2,65				
CIM.2.AR.TT#4	2,84	2,66	2,80				
CIM.2.AR.TT#5	2,65	2,49	2,80				
						Média:	2,43
						Desvio padrão:	0,24
						Coeficiente de variação:	0,10

CIM.3.AR.ES#1	3,17	3,66	4,31	3,13	3,77		
CIM.3.AR.ES#2	4,01	3,72	3,97	4,05	3,89		
CIM.3.AR.ES#3	3,98	3,90	4,20	4,08	4,02		
CIM.3.AR.PD#1	4,18	4,15	4,16	3,94	3,91		
CIM.3.AR.PD#2	3,97	3,27	3,48	4,34	3,44		
CIM.3.AR.PD#3	3,92	3,49	3,18	3,87	3,42		
CIM.3.AR.PD#4	3,61	3,99	3,45	3,26	3,44		
CIM.3.AR.PD#5	3,71	3,20	3,29	3,41	3,87		
CIM.3.AR.PE#1	3,66	3,69	3,08	3,07	3,21		
CIM.3.AR.PE#2	4,03	4,20	3,66	3,66	4,11		
CIM.3.AR.PE#3	3,33	3,79	3,81	3,71	3,37		
CIM.3.AR.TL#1	3,29	3,12	3,31				
CIM.3.AR.TL#2	3,51	3,46	3,79				
CIM.3.AR.TL#3	2,99	3,28	3,45				
CIM.3.AR.TL#4	3,25	3,10	3,08				
CIM.3.AR.TL#5	3,51	3,57	3,87				
CIM.3.AR.TT#1	3,62	3,79	3,51				
CIM.3.AR.TT#2	3,44	3,71	3,52				
CIM.3.AR.TT#3	3,50	3,87	3,44				
CIM.3.AR.TT#4	3,37	3,81	3,44				
CIM.3.AR.TT#5	3,27	3,52	3,37				
						Média:	3,62
						Desvio padrão:	0,34
						Coeficiente de variação:	0,09

Determinação da espessura média

Sistemas acrílicos

Provete	Espessura (mm)				
	1	2	3	4	5
ACR.2.NA.ES#1	1,47	1,57	1,48	1,53	1,62
ACR.2.NA.ES#2	1,50	1,51	1,52	1,60	1,50
ACR.2.NA.ES#3	1,56	1,48	1,52	1,44	1,58
ACR.2.NA.PD#1	1,59	1,53	1,41	1,39	1,36
ACR.2.NA.PD#2	1,70	1,83	1,82	1,69	1,74
ACR.2.NA.PD#3	1,78	1,54	1,63	1,86	1,54
ACR.2.NA.PD#4	1,65	1,65	1,49	1,55	1,70
ACR.2.NA.PD#5	1,43	1,44	1,59	1,62	1,54
ACR.2.NA.PE#1	1,25	1,26	1,24	1,35	1,17
ACR.2.NA.PE#2	1,25	1,55	1,52	1,26	1,43
ACR.2.NA.PE#3	1,42	1,55	1,59	1,43	1,43
ACR.2.NA.TR#1	1,49	1,48	1,45		
ACR.2.NA.TR#2	1,33	1,45	1,38		
ACR.2.NA.TR#3	1,53	1,53	1,48		
ACR.2.NA.TR#4	1,05	1,21	1,33		
ACR.2.NA.TR#5	1,68	1,41	1,45		
Média:				1,50	
Desvio padrão:				0,16	
Coefficiente de variação:				0,10	
ACR.2.AR.ES#1	1,36	1,44	1,45	1,35	1,38
ACR.2.AR.ES#2	1,42	1,44	1,31	1,31	1,46
ACR.2.AR.ES#3	1,13	1,19	1,36	1,31	1,37
ACR.2.AR.PD#1	1,31	1,22	1,41	1,39	1,43
ACR.2.AR.PD#2	1,43	1,49	1,33	1,39	1,37
ACR.2.AR.PD#3	1,31	1,27	1,36	1,32	1,32
ACR.2.AR.PD#4	1,00	1,17	1,18	1,08	1,18
ACR.2.AR.PD#5	1,05	1,24	1,07	1,01	1,03
ACR.2.AR.PE#1	1,37	1,41	1,38	1,45	1,36
ACR.2.AR.PE#2	1,43	1,40	1,44	1,26	1,60
ACR.2.AR.PE#3	1,43	1,38	1,24	1,44	1,48
ACR.2.AR.TL#1	0,92	0,94	1,00		
ACR.2.AR.TL#2	0,98	1,05	1,05		
ACR.2.AR.TL#3	0,97	0,93	1,07		
ACR.2.AR.TL#4	0,87	0,97	0,97		
ACR.2.AR.TL#5	0,93	1,04	1,00		
ACR.2.AR.TT#1	1,09	1,10	1,18		
ACR.2.AR.TT#2	1,07	1,20	1,20		
ACR.2.AR.TT#3	1,21	1,19	1,19		
ACR.2.AR.TT#4	1,07	1,19	1,19		
ACR.2.AR.TT#5	1,15	1,26	1,23		
Média:				1,23	
Desvio padrão:				0,17	
Coefficiente de variação:				0,14	

ACR.3.AR.ES#1	1,69	1,48	1,51	1,72	1,53
ACR.3.AR.ES#2	1,78	1,65	1,85	1,86	1,66
ACR.3.AR.ES#3	1,81	1,86	1,92	1,80	1,80
ACR.3.AR.PD#1	1,78	1,83	1,79	1,81	1,76
ACR.3.AR.PD#2	1,64	1,70	1,88	1,70	1,63
ACR.3.AR.PD#3	1,85	2,03	1,71	1,83	2,03
ACR.3.AR.PD#4	2,00	1,85	1,87	2,05	2,03
ACR.3.AR.PD#5	1,64	1,48	1,58	1,70	1,55
ACR.3.AR.PE#1	1,71	1,62	1,72	1,88	1,80
ACR.3.AR.PE#2	1,71	1,76	1,82	1,83	1,76
ACR.3.AR.PE#3	1,76	1,82	1,92	1,80	1,93
ACR.3.AR.TL#1	1,89	2,00	1,87		
ACR.3.AR.TL#2	1,94	1,94	1,77		
ACR.3.AR.TL#3	1,58	1,78	1,79		
ACR.3.AR.TL#4	1,78	1,87	1,89		
ACR.3.AR.TL#5	2,04	1,96	1,91		
ACR.3.AR.TT#1	1,84	1,95	1,69		
ACR.3.AR.TT#2	2,08	1,89	1,77		
ACR.3.AR.TT#3	1,71	1,84	1,77		
ACR.3.AR.TT#4	1,90	1,94	1,75		
ACR.3.AR.TT#5	1,90	1,85	1,74		
				Média:	1,80
				Desvio padrão:	0,13
				Coeficiente de variação:	0,07

Determinação da espessura média

Sistemas acrílicos fibrosos

Provete	Espessura (mm)				
	1	2	3	4	5
ACF.2.NA.ES#1	1,50	1,34	1,13	1,39	1,42
ACF.2.NA.ES#2	1,30	1,37	1,67	1,35	1,36
ACF.2.NA.ES#3	1,44	1,33	1,09	0,97	1,23
ACF.2.NA.PD#1	1,05	0,98	0,89	1,06	0,92
ACF.2.NA.PD#2	1,02	0,96	1,06	1,16	0,92
ACF.2.NA.PD#3	1,12	0,86	0,99	1,17	1,03
ACF.2.NA.PD#4	1,37	1,36	1,56	1,49	1,45
ACF.2.NA.PD#5	1,36	1,15	1,11	1,31	1,22
ACF.2.NA.PE#1	1,31	0,96	1,05	1,33	1,18
ACF.2.NA.PE#2	1,40	1,24	1,15	1,24	1,31
ACF.2.NA.PE#3	1,13	1,18	1,12	1,35	1,35
ACF.2.NA.TR#1	1,05	0,96	0,82		
ACF.2.NA.TR#2	1,24	1,13	1,26		
ACF.2.NA.TR#3	1,13	1,06	0,93		
ACF.2.NA.TR#4	1,45	1,25	1,20		
ACF.2.NA.TR#5	1,37	1,06	1,07		
Média:					1,21
Desvio padrão:					0,19
Coefficiente de variação:					0,16
ACF.3.NA.ES#1	1,64	1,93	2,24	2,21	2,02
ACF.3.NA.ES#2	1,95	1,46	1,69	1,78	1,84
ACF.3.NA.ES#3	1,98	2,09	2,20	2,36	2,25
ACF.3.NA.PD#1	1,93	2,05	1,68	1,61	1,76
ACF.3.NA.PD#2	1,53	1,95	1,94	1,65	1,70
ACF.3.NA.PD#3	2,38	2,13	2,06	2,28	2,30
ACF.3.NA.PD#4	2,19	2,16	2,30	2,39	2,38
ACF.3.NA.PD#5	2,06	1,94	1,76	1,86	1,82
ACF.3.NA.PE#1	1,52	1,63	1,78	1,68	1,62
ACF.3.NA.PE#2	1,69	1,45	1,93	1,72	1,67
ACF.3.NA.PE#3	1,55	1,79	1,83	1,50	1,53
ACF.3.NA.TR#1	1,94	1,94	2,08		
ACF.3.NA.TR#2	1,96	1,82	1,91		
ACF.3.NA.TR#3	1,98	2,17	2,32		
ACF.3.NA.TR#4	1,86	1,78	2,09		
ACF.3.NA.TR#5	1,69	1,98	2,03		
Média:					1,91
Desvio padrão:					0,25
Coefficiente de variação:					0,13

Determinação da espessura média

Sistema cimentício bicomponente semiaderido

Provete	Espessura (mm)				
	1	2	3	4	5
SAD.2.AR.ES#1	1,62	1,65	1,61	1,60	1,62
SAD.2.AR.ES#2	1,67	1,83	1,56	1,60	1,66
SAD.2.AR.ES#3	1,66	1,47	1,59	1,68	1,81
SAD.2.AR.PD#1	1,50	1,66	1,67	1,61	1,60
SAD.2.AR.PD#2	1,68	1,58	1,52	1,55	1,57
SAD.2.AR.PD#3	1,48	1,55	1,51	1,47	1,63
SAD.2.AR.PD#4	1,73	1,79	1,69	1,71	1,69
SAD.2.AR.PD#5	1,81	1,94	1,84	1,89	1,90
SAD.2.AR.PE#1	1,33	1,40	1,68	1,66	1,66
SAD.2.AR.PE#2	1,66	1,53	1,60	1,52	1,64
SAD.2.AR.PE#3	1,45	1,39	1,51	1,48	1,57
SAD.2.AR.TL#1	1,66	1,48	1,52		
SAD.2.AR.TL#2	1,56	1,68	1,56		
SAD.2.AR.TL#3	1,75	1,58	1,68		
SAD.2.AR.TL#4	1,56	1,50	1,60		
SAD.2.AR.TL#5	1,55	1,69	1,60		
				Média:	1,62
				Desvio padrão:	0,12
				Coefficiente de variação:	0,08

Determinação da espessura média

Sistemas à base de silicone líquida

Provete	Espessura (mm)						
	1	2	3	4	5		
SIL.2.NA.ES#1	1,33	1,35	1,34	1,30	1,19		
SIL.2.NA.ES#2	1,43	1,71	1,34	1,44	1,59		
SIL.2.NA.ES#3	1,26	1,49	1,57	1,21	1,44		
SIL.2.NA.PD#1	1,51	1,52	1,81	1,79	1,59		
SIL.2.NA.PD#2	1,34	1,33	1,34	1,25	1,26		
SIL.2.NA.PD#3	1,37	1,34	1,65	1,74	1,62		
SIL.2.NA.PD#4	1,32	1,37	1,45	1,31	1,36		
SIL.2.NA.PD#5	1,36	1,46	1,31	1,33	1,59		
SIL.2.NA.PE#1	1,88	1,73	1,53	1,73	1,56		
SIL.2.NA.PE#2	1,33	1,31	1,13	1,34	1,32		
SIL.2.NA.PE#3	1,21	1,19	1,11	1,28	1,18		
SIL.2.NA.TR#1	1,51	1,33	1,33				
SIL.2.NA.TR#2	1,51	1,36	1,23				
SIL.2.NA.TR#3	1,81	1,34	1,57				
SIL.2.NA.TR#4	1,45	1,40	1,30				
SIL.2.NA.TR#5	1,32	1,23	1,66				
Média:					1,44		
Desvio padrão:					0,19		
Coefficiente de variação:					0,13		
SIL.2.AR.ES#1	1,77	1,44	1,45	1,60	1,58		
SIL.2.AR.ES#2	1,32	1,52	1,47	1,53	1,43		
SIL.2.AR.ES#3	1,49	1,45	1,52	1,52	1,69		
SIL.2.AR.PD#1	1,44	1,41	1,54	1,49	1,52		
SIL.2.AR.PD#2	1,40	1,44	1,47	1,45	1,53		
SIL.2.AR.PD#3	1,37	1,53	1,65	1,37	1,62		
SIL.2.AR.PD#4	1,46	1,68	1,51	1,45	1,65		
SIL.2.AR.PD#5	1,55	1,52	1,59	1,58	1,65		
SIL.2.AR.PE#1	1,48	1,43	1,78	1,66	1,50		
SIL.2.AR.PE#2	1,54	1,37	1,53	1,35	1,62		
SIL.2.AR.PE#3	1,56	1,51	1,48	1,52	1,50		
SIL.2.AR.TL#1	1,60	1,78	1,58				
SIL.2.AR.TL#2	1,60	1,58	1,71				
SIL.2.AR.TL#3	1,58	1,65	1,39				
SIL.2.AR.TL#4	1,43	1,43	1,59				
SIL.2.AR.TL#5	1,21	1,31	1,51				
SIL.2.AR.TT#1	1,54	1,55	1,35				
SIL.2.AR.TT#2	1,65	1,63	1,49				
SIL.2.AR.TT#3	1,46	1,42	1,40				
SIL.2.AR.TT#4	1,50	1,51	1,46				
SIL.2.AR.TT#5	1,47	1,56	1,48				
Média:						1,52	
Desvio padrão:						0,11	
Coefficiente de variação:						0,07	

SIL.3.AR.ES#1	2,30	2,41	2,39	2,24	2,53
SIL.3.AR.ES#2	2,44	2,29	2,25	2,05	2,42
SIL.3.AR.ES#3	2,40	2,66	2,57	2,56	2,80
SIL.3.AR.PD#1	2,27	2,25	2,09	2,48	2,14
SIL.3.AR.PD#2	2,56	2,43	2,61	2,49	2,61
SIL.3.AR.PD#3	2,42	2,48	2,56	2,20	2,68
SIL.3.AR.PD#4	2,58	2,54	2,23	2,35	2,40
SIL.3.AR.PD#5	2,28	2,45	2,47	2,53	2,67
SIL.3.AR.PE#1	2,30	2,29	2,07	2,41	2,55
SIL.3.AR.PE#2	2,25	1,97	2,06	1,90	2,27
SIL.3.AR.PE#3	2,35	2,30	2,22	1,98	2,29
SIL.3.AR.TL#1	2,24	2,19	2,38		
SIL.3.AR.TL#2	2,17	2,98	2,54		
SIL.3.AR.TL#3	2,70	3,13	2,68		
SIL.3.AR.TL#4	2,38	2,25	2,74		
SIL.3.AR.TL#5	2,52	2,66	2,08		
SIL.3.AR.TT#1	2,22	2,25	2,20		
SIL.3.AR.TT#2	2,52	2,5	2,53		
SIL.3.AR.TT#3	2,11	2,37	2,42		
SIL.3.AR.TT#4	2,19	2,13	2,36		
SIL.3.AR.TT#5	2,38	2,33	2,23		
				Média:	2,38
				Desvio padrão:	0,22
				Coefficiente de variação:	0,09

Determinação da espessura média

Sistemas à base de borracha líquida

Provete	Espessura (mm)				
	1	2	3	4	5
BOR.2.NA.ES#1	0,89	0,87	1,06	0,92	0,90
BOR.2.NA.ES#2	0,88	0,97	0,87	0,85	0,77
BOR.2.NA.ES#3	1,03	0,84	0,90	0,79	0,93
BOR.2.NA.PD#1	0,80	0,82	0,88	0,81	0,87
BOR.2.NA.PD#2	0,74	0,74	0,64	0,58	0,58
BOR.2.NA.PD#3	0,65	0,50	0,80	0,52	0,97
BOR.2.NA.PD#4	0,46	0,67	0,63	0,67	0,69
BOR.2.NA.PD#5	0,51	0,51	0,78	0,76	0,77
BOR.2.NA.PE#1	0,36	0,59	0,75	0,75	0,58
BOR.2.NA.PE#2	0,65	0,53	0,67	0,70	0,83
BOR.2.NA.PE#3	0,56	0,77	0,69	0,68	0,46
BOR.2.NA.TR#1	0,47	0,47	0,6		
BOR.2.NA.TR#2	0,52	0,57	0,52		
BOR.2.NA.TR#3	0,73	0,77	0,59		
BOR.2.NA.TR#4	0,97	0,85	1,11		
BOR.2.NA.TR#5	0,69	0,72	0,78		
Média:					0,72
Desvio padrão:					0,16
Coefficiente de variação:					0,23
BOR.2.AR.ES#1	0,61	0,56	0,60	0,58	0,60
BOR.2.AR.ES#2	0,88	0,61	0,66	0,67	0,62
BOR.2.AR.ES#3	0,71	0,77	0,84	0,67	0,63
Média:					0,67
Desvio padrão:					0,09
Coefficiente de variação:					0,14

BOR.3.AR.ES#1	0,84	0,86	0,91	1,05	0,94
BOR.3.AR.ES#2	0,95	0,95	0,80	0,86	0,89
BOR.3.AR.ES#3	0,78	0,91	0,92	0,93	0,83
BOR.3.AR.PD#1	0,99	0,88	1,12	1,06	1,11
BOR.3.AR.PD#2	1,21	1,25	1,17	1,08	1,10
BOR.3.AR.PD#3	1,01	1,10	1,11	1,18	1,11
BOR.3.AR.PD#4	1,07	0,88	0,96	0,93	1,00
BOR.3.AR.PD#5	1,13	1,20	1,06	1,07	1,12
BOR.3.AR.PE#1	0,83	1,00	0,90	1,13	1,02
BOR.3.AR.PE#2	0,85	0,90	0,84	0,79	0,89
BOR.3.AR.PE#3	0,89	0,86	0,81	1,03	0,84
BOR.3.AR.TL#1	1,11	1,04	0,96		
BOR.3.AR.TL#2	1,10	1,17	1,22		
BOR.3.AR.TL#3	1,22	1,07	1,02		
BOR.3.AR.TL#4	1,08	0,93	0,90		
BOR.3.AR.TL#5	1,15	0,95	1,07		
				Média:	1,00
				Desvio padrão:	0,12
				Coefficiente de variação:	0,12

Determinação da espessura média

Sistema à base de poliuretano

Provete	Espessura (mm)				
	1	2	3	4	5
POL.2.NA.ES#1	1,65	1,47	1,36	1,51	1,43
POL.2.NA.ES#2	1,27	1,26	1,32	1,27	1,29
POL.2.NA.ES#3	1,34	1,50	1,47	1,37	1,39
POL.2.NA.PD#1	1,16	1,31	1,35	1,12	1,28
POL.2.NA.PD#2	1,28	1,26	1,10	1,10	1,22
POL.2.NA.PD#3	1,39	1,37	1,34	1,51	1,43
POL.2.NA.PD#4	1,32	1,33	1,24	1,23	1,29
POL.2.NA.PD#5	1,58	1,41	1,36	1,46	1,46
POL.2.NA.PE#1	1,34	1,28	1,24	1,26	1,28
POL.2.NA.PE#2	1,35	1,31	1,21	1,24	1,28
POL.2.NA.PE#3	1,48	1,65	1,35	1,30	1,42
POL.2.NA.TR#1	1,74	1,66	1,54		
POL.2.NA.TR#2	1,31	1,35	1,42		
POL.2.NA.TR#3	1,34	1,32	1,27		
POL.2.NA.TR#4	1,80	1,66	1,59		
POL.2.NA.TR#5	1,73	1,68	1,55		
				Média:	1,37
				Desvio padrão:	0,15
				Coefficiente de variação:	0,11

Anexo II

Resultados dos ensaios de punçamento dinâmico

Ensaio de punção dinâmica

Norma NP EN 12691:2008:

- cinco provetes de dimensões mínimas 150 mm x 150 mm;
- punção com extremidade esférica de 12,7 mm de diâmetro;
- a resistência ao choque é expressa pela maior altura de queda do punção para a qual, no mínimo, quatro de cinco provetes mantiveram a estanqueidade.

Norma TR 006 da EOTA:

- três provetes de dimensões 200 mm x 200 mm;
- punção cilíndrico de diâmetro variável;
- a resistência ao choque é expressa pelo menor diâmetro do punção para o qual os três provetes mantiveram a estanqueidade.

Sistemas cimentícios

Norma NP EN 12691:2008											
Provete	Espessura média (mm)	Altura de queda (m)									Resistência ao choque (m)
		0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	
CIM.2.NA.PD#1	2,21	S	S	N							0,70
CIM.2.NA.PD#2	2,19	S	S	N							
CIM.2.NA.PD#3	2,54	S	N	S							
CIM.2.NA.PD#4	2,40	S	S	S							
CIM.2.NA.PD#5	2,38	S	S	S							
CIM.2.AR.PD#1	2,56					S	S				1,00
CIM.2.AR.PD#2	2,60					S	S				
CIM.2.AR.PD#3	2,42					S	N				
CIM.2.AR.PD#4	2,22					N	N				
CIM.2.AR.PD#5	2,48					S	S				
CIM.3.AR.PD#1	4,07									S	2,00
CIM.3.AR.PD#2	3,70									S	
CIM.3.AR.PD#3	3,58									S	
CIM.3.AR.PD#4	3,55									S	
CIM.3.AR.PD#5	3,50									S	

Norma TR 006 do ETAG						
Provete	Espessura média (mm)	Diâmetro do punção (mm)				Resistência ao choque (mm)
		30	20	10	6	
CIM.2.NA.PD#1	2,21				S	6
CIM.2.NA.PD#2	2,19				S	
CIM.2.NA.PD#3	2,54				S	
CIM.2.AR.PD#1	2,56				S	6
CIM.2.AR.PD#2	2,60				S	
CIM.2.AR.PD#3	2,42				S	
CIM.3.AR.PD#1	4,07				S	6
CIM.3.AR.PD#2	3,70				S	
CIM.3.AR.PD#3	3,58				S	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao choque
 N – o provete não resistiu ao choque

Ensaio de punçoamento dinâmico

Norma NP EN 12691:2008:

- cinco provetes de dimensões mínimas 150 mm x 150 mm;
- punção com extremidade esférica de 12,7 mm de diâmetro;
- a resistência ao choque é expressa pela maior altura de queda do punção para a qual, no mínimo, quatro de cinco provetes mantiveram a estanqueidade.

Norma TR 006 da EOTA:

- três provetes de dimensões 200 mm x 200 mm;
- punção cilíndrico de diâmetro variável;
- a resistência ao choque é expressa pelo menor diâmetro do punção para o qual os três provetes mantiveram a estanqueidade.

Sistemas acrílicos

Norma NP EN 12691:2008											
Provete	Espessura média (mm)	Altura de queda (m)									Resistência ao choque (m)
		0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	
ACR.2.NA.PD#1	1,46		S	S	N	N					0,70
ACR.2.NA.PD#2	1,76		S	S	S	S					
ACR.2.NA.PD#3	1,67		S	S	S	S					
ACR.2.NA.PD#4	1,61		S	S	S	N					
ACR.2.NA.PD#5	1,52		S	N	S	N					
ACR.2.AR.PD#1	1,35			S	S	N					0,60
ACR.2.AR.PD#2	1,40			S	S	S					
ACR.2.AR.PD#3	1,32			S	S	S					
ACR.2.AR.PD#4	1,12			S	N	N					
ACR.2.AR.PD#5	1,08			S	N	N					
ACR.3.AR.PD#1	1,79						S	N	N		0,90
ACR.3.AR.PD#2	1,71						S	N	S		
ACR.3.AR.PD#3	1,89						S	S	N		
ACR.3.AR.PD#4	1,96						S	S	S		
ACR.3.AR.PD#5	1,59						S	S	N		

Norma TR 006 do ETAG						
Provete	Espessura média (mm)	Diâmetro do punção (mm)				Resistência ao choque (mm)
		30	20	10	6	
ACR.2.NA.PD#1	1,46				S	6
ACR.2.NA.PD#2	1,76				S	
ACR.2.NA.PD#3	1,67				S	
ACR.2.AR.PD#1	1,35				S	6
ACR.2.AR.PD#2	1,40				S	
ACR.2.AR.PD#3	1,32				S	
ACR.3.AR.PD#1	1,79				S	6
ACR.3.AR.PD#2	1,71				S	
ACR.3.AR.PD#3	1,89				S	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao choque
 N – o provete não resistiu ao choque

Ensaio de punção dinâmica

Norma NP EN 12691:2008:

- cinco provetes de dimensões mínimas 150 mm x 150 mm;
- punção com extremidade esférica de 12,7 mm de diâmetro;
- a resistência ao choque é expressa pela maior altura de queda do punção para a qual, no mínimo, quatro de cinco provetes mantiveram a estanqueidade.

Norma TR 006 da EOTA:

- três provetes de dimensões 200 mm x 200 mm;
- punção cilíndrico de diâmetro variável;
- a resistência ao choque é expressa pelo menor diâmetro do punção para o qual os três provetes mantiveram a estanqueidade.

Sistemas acrílicos fibrosos

Norma NP EN 12691:2008											
Provete	Espessura média (mm)	Altura de queda (m)									Resistência ao choque (m)
		0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
ACF.2.NA.PD#1	0,98	S	N		N	N					0,35
ACF.2.NA.PD#2	1,02	S	S		N	N					
ACF.2.NA.PD#3	1,03	S	N		N	N					
ACF.2.NA.PD#4	1,45	S	S		N	S					
ACF.2.NA.PD#5	1,23	S	S		N	N					
ACF.3.NA.PD#1	1,81				S		S	S	S	N	0,90
ACF.3.NA.PD#2	1,75				S		S	S	N	S	
ACF.3.NA.PD#3	2,23				S		S	S	S	S	
ACF.3.NA.PD#4	2,28				S		S	S	S	S	
ACF.3.NA.PD#5	1,89				S		S	S	S	N	

Norma TR 006 do ETAG						
Provete	Espessura média (mm)	Diâmetro do punção (mm)				Resistência ao choque (mm)
		30	20	10	6	
ACF.2.NA.PD#1	0,98				S	6
ACF.2.NA.PD#2	1,02				S	
ACF.2.NA.PD#3	1,03				S	
ACF.3.NA.PD#1	1,81				S	6
ACF.3.NA.PD#2	1,75				S	
ACF.3.NA.PD#3	2,23				S	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao choque
 N – o provete não resistiu ao choque

Ensaio de punçoamento dinâmico

Norma NP EN 12691:2008:

- cinco provetes de dimensões mínimas 150 mm x 150 mm;
- punção com extremidade esférica de 12,7 mm de diâmetro;
- a resistência ao choque é expressa pela maior altura de queda do punção para a qual, no mínimo, quatro de cinco provetes mantiveram a estanqueidade.

Norma TR 006 da EOTA:

- três provetes de dimensões 200 mm x 200 mm;
- punção cilíndrico de diâmetro variável;
- a resistência ao choque é expressa pelo menor diâmetro do punção para o qual os três provetes mantiveram a estanqueidade.

Sistema cimentício bicomponente semiaderido

Norma NP EN 12691:2008

Provete	Espessura média (mm)	Altura de queda (m)									Resistência ao choque (m)
		0,35	0,40	0,45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	
SAD.2.AR.PD#1	1,61				S	S					0,50
SAD.2.AR.PD#2	1,58				S	N					
SAD.2.AR.PD#3	1,53				S	N					
SAD.2.AR.PD#4	1,72				S	S					
SAD.2.AR.PD#5	1,88				S	S					

Norma TR 006 do ETAG

Provete	Espessura média (mm)	Diâmetro do punção (mm)				Resistência ao choque (mm)
		30	20	10	6	
SAD.2.AR.PD#1	1,61				S	6
SAD.2.AR.PD#2	1,58				S	
SAD.2.AR.PD#3	1,53				S	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao choque
 N – o provete não resistiu ao choque

Ensaio de punção dinâmica

Norma NP EN 12691:2008:

- cinco provetes de dimensões mínimas 150 mm x 150 mm;
- punção com extremidade esférica de 12,7 mm de diâmetro;
- a resistência ao choque é expressa pela maior altura de queda do punção para a qual, no mínimo, quatro de cinco provetes mantiveram a estanqueidade.

Norma TR 006 da EOTA:

- três provetes de dimensões 200 mm x 200 mm;
- punção cilíndrico de diâmetro variável;
- a resistência ao choque é expressa pelo menor diâmetro do punção para o qual os três provetes mantiveram a estanqueidade.

Sistemas à base de silicone líquida

Norma NP EN 12691:2008

Provete	Espessura média (mm)	Altura de queda (m)									Resistência ao choque (m)
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
SIL.2.NA.PD#1	1,64	S	N								0,05
SIL.2.NA.PD#2	1,30	S	N								
SIL.2.NA.PD#3	1,54	S	N								
SIL.2.NA.PD#4	1,36	S	N								
SIL.2.NA.PD#5	1,41	S	N								
SIL.2.AR.PD#1	1,48		S	N	N						0,10
SIL.2.AR.PD#2	1,46		S	N	N						
SIL.2.AR.PD#3	1,51		S	N	N						
SIL.2.AR.PD#4	1,55		S	N	N						
SIL.2.AR.PD#5	1,58		S	N	N						
SIL.3.AR.PD#1	2,25		S	N							0,10
SIL.3.AR.PD#2	2,54		S	S							
SIL.3.AR.PD#3	2,47		S	S							
SIL.3.AR.PD#4	2,42		S	N							
SIL.3.AR.PD#5	2,48		S	S							

Norma TR 006 do ETAG

Provete	Espessura média (mm)	Diâmetro do punção (mm)				Resistência ao choque (mm)
		30	20	10	6	
SIL.2.NA.PD#1	1,64			S	N	10
SIL.2.NA.PD#2	1,30			S	N	
SIL.2.NA.PD#3	1,54			S	N	
SIL.2.AR.PD#1	1,48			S	N	10
SIL.2.AR.PD#2	1,46			S	N	
SIL.2.AR.PD#3	1,51			S	N	
SIL.3.AR.PD#1	2,25			S	N	10
SIL.3.AR.PD#2	2,54			S	N	
SIL.3.AR.PD#3	2,47			S	N	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao choque
 N – o provete não resistiu ao choque

Ensaio de punçoamento dinâmico

Norma NP EN 12691:2008:

- cinco provetes de dimensões mínimas 150 mm x 150 mm;
- punção com extremidade esférica de 12,7 mm de diâmetro;
- a resistência ao choque é expressa pela maior altura de queda do punção para a qual, no mínimo, quatro de cinco provetes mantiveram a estanqueidade.

Norma TR 006 da EOTA:

- três provetes de dimensões 200 mm x 200 mm;
- punção cilíndrico de diâmetro variável;
- a resistência ao choque é expressa pelo menor diâmetro do punção para o qual os três provetes mantiveram a estanqueidade.

Sistemas à base de borracha líquida

Norma NP EN 12691:2008

Provete	Espessura média (mm)	Altura de queda (m)									Resistência ao choque (m)
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	
BOR.2.NA.PD#1	0,84			S	N		N				0,15
BOR.2.NA.PD#2	0,66			S	N		N				
BOR.2.NA.PD#3	0,69			S	N		N				
BOR.2.NA.PD#4	0,62			S	N		N				
BOR.2.NA.PD#5	0,67			S	N		N				
BOR.3.AR.PD#1	1,03				S	S	S	N			0,30
BOR.3.AR.PD#2	1,16				S	S	S	S			
BOR.3.AR.PD#3	1,10				S	S	S	S			
BOR.3.AR.PD#4	0,97				S	N	N	N			
BOR.3.AR.PD#5	1,12				S	S	S	N			

Norma TR 006 do ETAG

Provete	Espessura média (mm)	Diâmetro do punção (mm)				Resistência ao choque (mm)
		30	20	10	6	
BOR.2.NA.PD#1	0,84				S	6
BOR.2.NA.PD#2	0,66				S	
BOR.2.NA.PD#3	0,69				S	
BOR.3.AR.PD#1	1,03				S	6
BOR.3.AR.PD#2	1,16				S	
BOR.3.AR.PD#3	1,10				S	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao choque
 N – o provete não resistiu ao choque

Ensaio de punção dinâmica

Norma NP EN 12691:2008:

- cinco provetes de dimensões mínimas 150 mm x 150 mm;
- punção com extremidade esférica de 12,7 mm de diâmetro;
- a resistência ao choque é expressa pela maior altura de queda do punção para a qual, no mínimo, quatro de cinco provetes mantiveram a estanqueidade.

Norma TR 006 da EOTA:

- três provetes de dimensões 200 mm x 200 mm;
- punção cilíndrico de diâmetro variável;
- a resistência ao choque é expressa pelo menor diâmetro do punção para o qual os três provetes mantiveram a estanqueidade.

Sistema à base de poliuretano

Norma NP EN 12691:2008

Provete	Espessura média (mm)	Altura de queda (m)									Resistência ao choque (m)
		0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	
POL.2.NA.PD#1	1,24			S	N	N	N				0,70
POL.2.NA.PD#2	1,19			N	N	N	N				
POL.2.NA.PD#3	1,41			S	S	N	N				
POL.2.NA.PD#4	1,28			S	S	N	N				
POL.2.NA.PD#5	1,45			S	N	N	N				

Norma TR 006 do ETAG

Provete	Espessura média (mm)	Diâmetro do punção (mm)				Resistência ao choque (mm)
		30	20	10	6	
POL.2.NA.PD#1	1,24				S	6
POL.2.NA.PD#2	1,19				S	
POL.2.NA.PD#3	1,41				S	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao choque
 N – o provete não resistiu ao choque

Anexo III

Resultados dos ensaios de punção estático

Ensaio de punção estático

Norma TR 007 da EOTA:

- três provetes de dimensões mínimas 200 mm x 200 mm;
- punção com extremidade hemisférica de 10 mm de diâmetro;
- a resistência ao punção estático é expressa pela menor carga para a qual nenhum dos três provetes foi perfurado.

Sistemas cimentícios bicomponente

Provete	Espessura média (mm)	Carga (N)				Resistência ao punção estático (N)
		70	150	200	250	
CIM.2.NA.PE#1	2,17			S	N	200
CIM.2.NA.PE#2	2,19			S	N	
CIM.2.NA.PE#3	2,12			S	S	
CIM.2.AR.PE#1	2,23	S	S	S	S	250
CIM.2.AR.PE#2	2,38	S	S	S	S	
CIM.2.AR.PE#3	2,27	S	S	S	S	
CIM.3.AR.PE#1	3,34				S	250
CIM.3.AR.PE#2	3,93				S	
CIM.3.AR.PE#3	3,60				S	

Sistemas acrílicos

Provete	Espessura média (mm)	Carga (N)				Resistência ao punção estático (N)
		70	150	200	250	
ACR.2.NA.PE#1	1,25	N				-
ACR.2.NA.PE#2	1,40	N				
ACR.2.NA.PE#3	1,48	N				
ACR.2.AR.PE#1	1,39	N				-
ACR.2.AR.PE#2	1,43	S				
ACR.2.AR.PE#3	1,39	N				
ACR.3.AR.PE#1	1,75	S				-
ACR.3.AR.PE#2	1,78	N				
ACR.3.AR.PE#3	1,85	S				

Legenda:

- S – o provete resistiu ao punção
 N – o provete não resistiu ao punção

Ensaio de punçoamento estático

Norma TR 007 da EOTA:

- três provetes de dimensões mínimas 200 mm x 200 mm;
- punção com extremidade hemisférica de 10 mm de diâmetro;
- a resistência ao punçoamento estático é expressa pela menor carga para a qual nenhum dos três provetes foi perfurado.

Sistemas acrílicos fibrosos

Provete	Espessura média (mm)	Carga (N)				Resistência ao punçoamento estático (N)
		70	150	200	250	
ACF.2.NA.PE#1	1,17	S	N			70
ACF.2.NA.PE#2	1,27	S	N			
ACF.2.NA.PE#3	1,23	S	N			
ACF.3.NA.PE#1	1,65	S	N			70
ACF.3.NA.PE#2	1,69	S	N			
ACF.3.NA.PE#3	1,64	S	N			

Sistema cimentício bicomponente semiaderido

Provete	Espessura média (mm)	Carga (N)				Resistência ao punçoamento estático (N)
		70	150	200	250	
SAD.2.AR.PE#1	1,55	S		S	S	250
SAD.2.AR.PE#2	1,59	S		S	S	
SAD.2.AR.PE#3	1,48	S		S	S	

Sistemas à base de silicone líquida

Provete	Espessura média (mm)	Carga (N)				Resistência ao punçoamento estático (N)
		70	150	200	250	
SIL.2.NA.PE#1	1,69	N				-
SIL.2.NA.PE#2	1,29	N				
SIL.2.NA.PE#3	1,19	N				
SIL.2.AR.PE#1	1,57	S	N			70
SIL.2.AR.PE#2	1,48	S	N			
SIL.2.AR.PE#3	1,51	S	N			
SIL.3.AR.PE#1	2,32	S	N			70
SIL.3.AR.PE#2	2,09	S	N			
SIL.3.AR.PE#3	2,23	S	N			

Legenda:

- S – o provete resistiu ao punçoamento
 N – o provete não resistiu ao punçoamento

Ensaio de punção estático

Norma TR 007 da EOTA:

- três provetes de dimensões mínimas 200 mm x 200 mm;
- punção com extremidade hemisférica de 10 mm de diâmetro;
- a resistência ao punção estático é expressa pela menor carga para a qual nenhum dos três provetes foi perfurado.

Sistemas à base de borracha líquida

Provete	Espessura média (mm)	Carga (N)				Resistência ao punção estático (N)
		70	150	200	250	
BOR.2.NA.PE#1	0,61	N				-
BOR.2.NA.PE#2	0,68	N				
BOR.2.NA.PE#3	0,63	N				
BOR.3.AR.PE#1	0,98	N				-
BOR.3.AR.PE#2	0,85	N				
BOR.3.AR.PE#3	0,89	N				

Sistema à base de poliuretano

Provete	Espessura média (mm)	Carga (N)				Resistência ao punção estático (N)
		70	150	200	250	
POL.2.NA.PE#1	1,28		S	S	S	250
POL.2.NA.PE#2	1,28		S	S	S	
POL.2.NA.PE#3	1,44		S	S	S	

Legenda:

- S – o provete resistiu ao punção
 N – o provete não resistiu ao punção

Anexo IV

Resultados dos ensaios de tracção

Ensaio de tracção

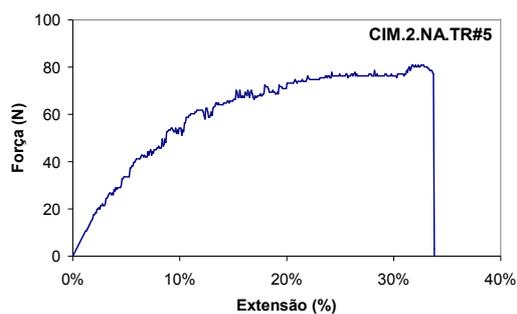
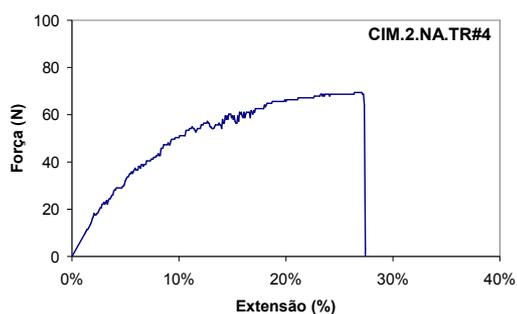
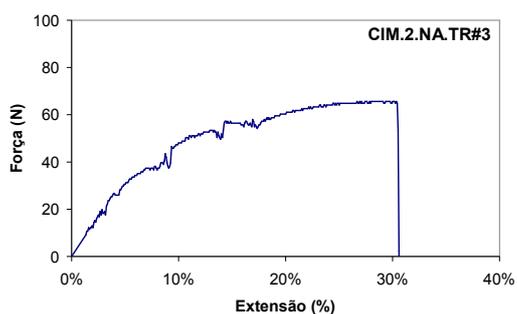
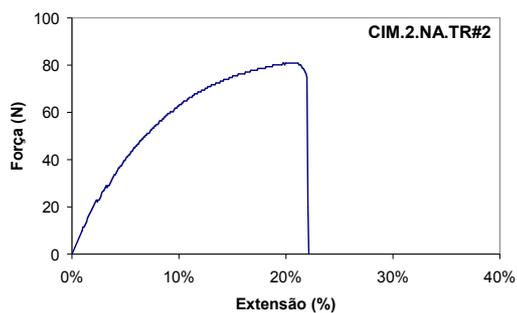
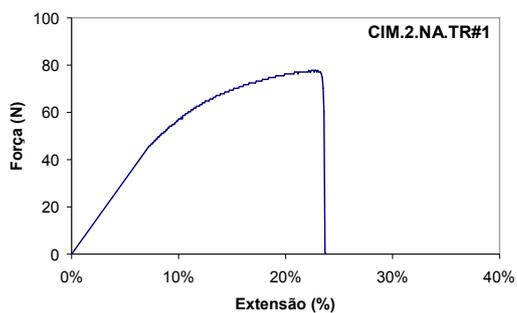
Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

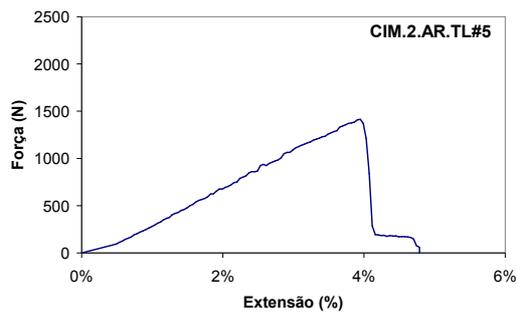
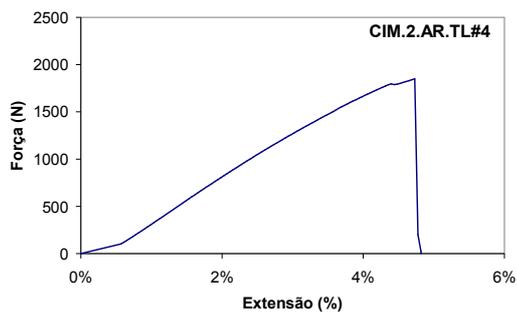
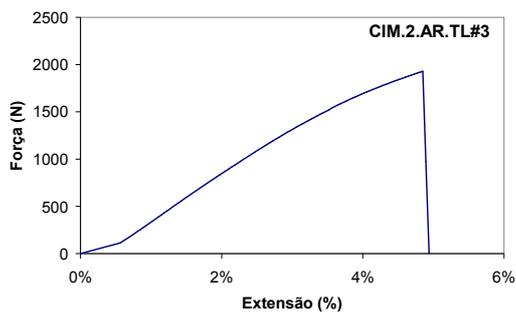
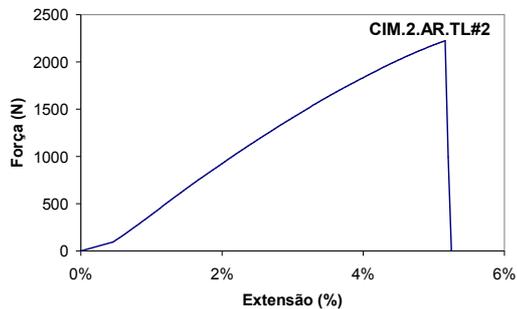
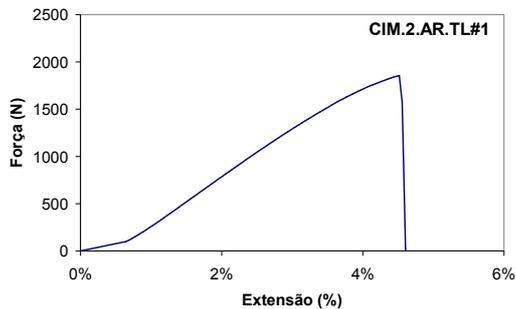
Sistemas cimentícios bicomponente

Provete	Espessura média (mm)	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
			(mm)	(%)
CIM.2.NA.TR#1	2,37	77,82	44,36	22,18%
CIM.2.NA.TR#2	2,43	80,87	39,43	19,72%
CIM.2.NA.TR#3	2,17	65,61	53,37	26,68%
CIM.2.NA.TR#4	2,21	69,43	52,83	26,42%
CIM.2.NA.TR#5	2,38	80,87	63,42	31,71%
Média:		75	50,68	25%
Desvio padrão:		7	9,23	5%
CIM.2.AR.TL#1	2,17	1856,23	9,03	4,52%
CIM.2.AR.TL#2	2,19	2223,97	10,32	5,16%
CIM.2.AR.TL#3	2,44	1928,71	9,70	4,85%
CIM.2.AR.TL#4	2,51	1849,37	9,46	4,73%
CIM.2.AR.TL#5	2,50	1414,49	7,90	3,95%
Média:		1855	9,03	5%
Desvio padrão:		290	0,90	0%
CIM.3.AR.TL#1	3,24	2250,67	10,18	5,09%
CIM.3.AR.TL#2	3,59	1968,38	8,93	4,46%
CIM.3.AR.TL#3	3,24	2034,00	9,38	4,69%
CIM.3.AR.TL#4	3,14	2339,17	10,15	5,07%
CIM.3.AR.TL#5	3,65	2143,86	10,13	5,06%
Média:		2145	9,75	5%
Desvio padrão:		152	0,57	0%
CIM.3.AR.TT#1	3,64	1815,03	9,66	4,83%
CIM.3.AR.TT#2	3,56	2150,73	9,55	4,77%
CIM.3.AR.TT#3	3,60	2095,79	9,80	4,90%
CIM.3.AR.TT#4	3,54	1954,65	8,65	4,33%
CIM.3.AR.TT#5	3,39	2188,87	9,98	4,99%
Média:		2040	9,53	5%
Desvio padrão:		154	0,51	0%

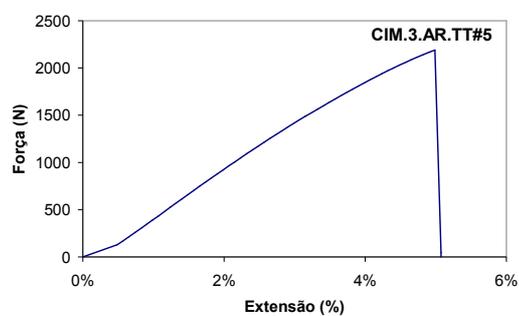
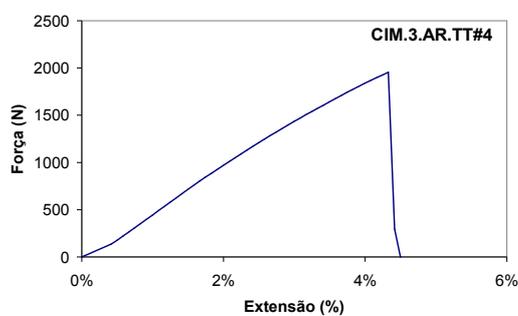
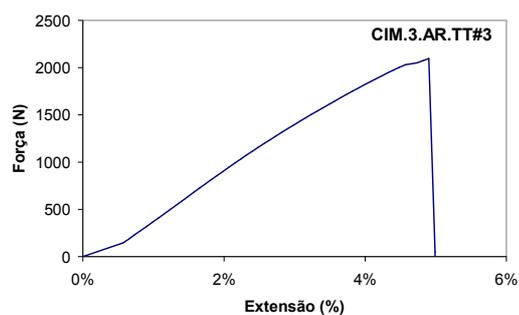
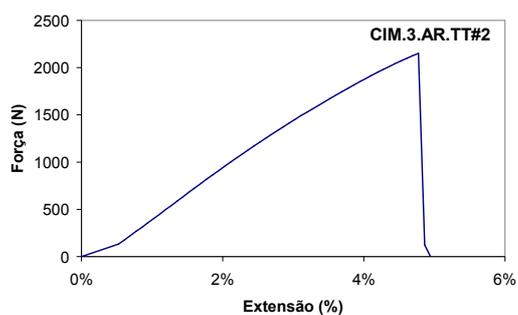
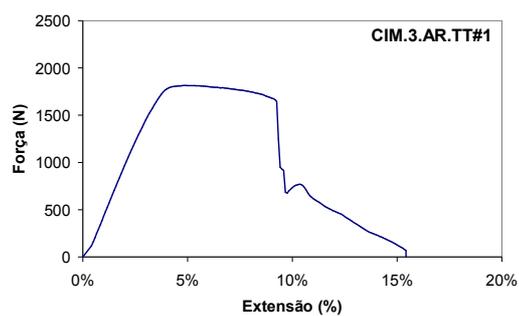
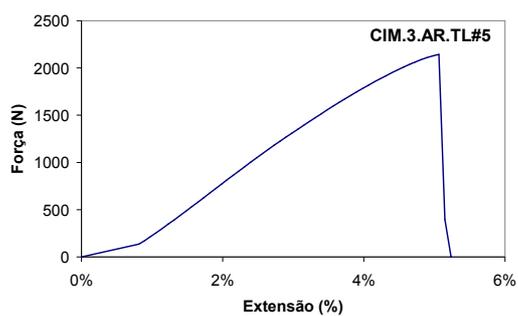
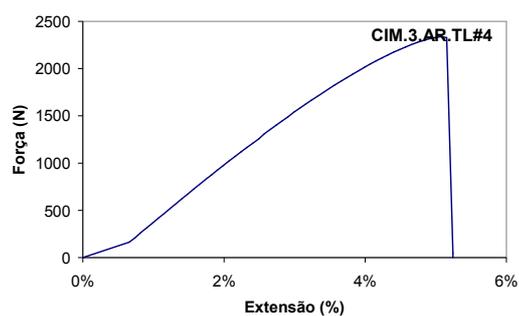
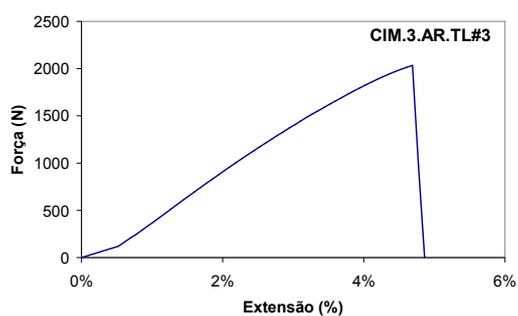
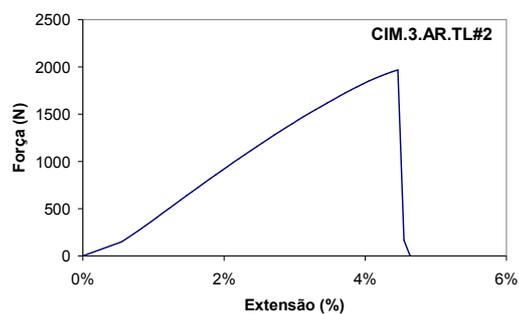
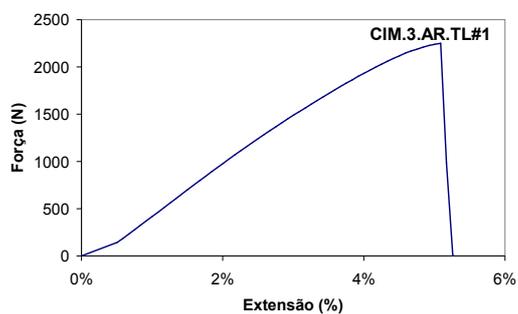
Sistema cimentício não-armado com 2 demãos



Sistema cimentício armado com 2 demãos



Sistema cimentício armado com 3 demãos



Ensaio de tracção

Norma EN 12311-1:

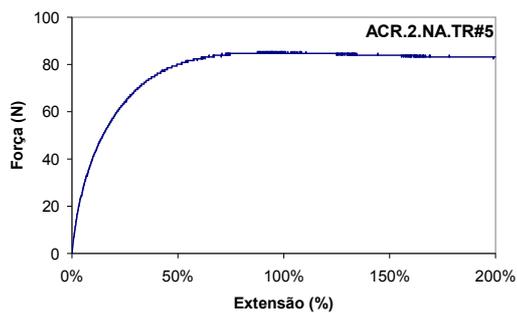
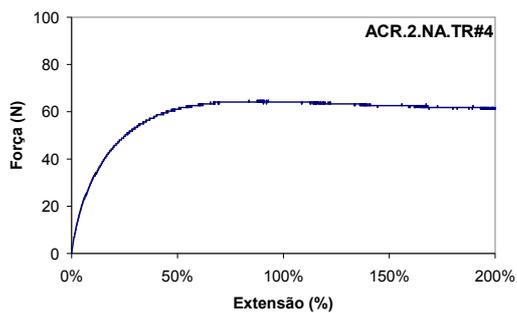
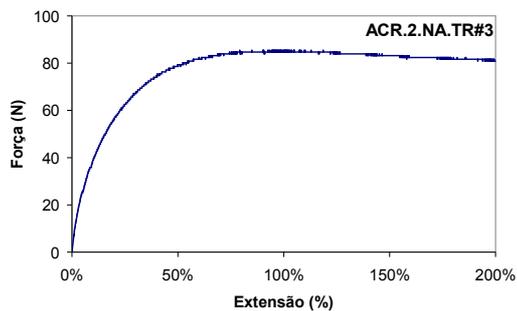
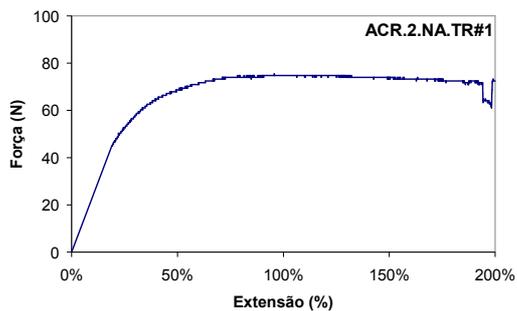
- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

Sistemas acrílicos

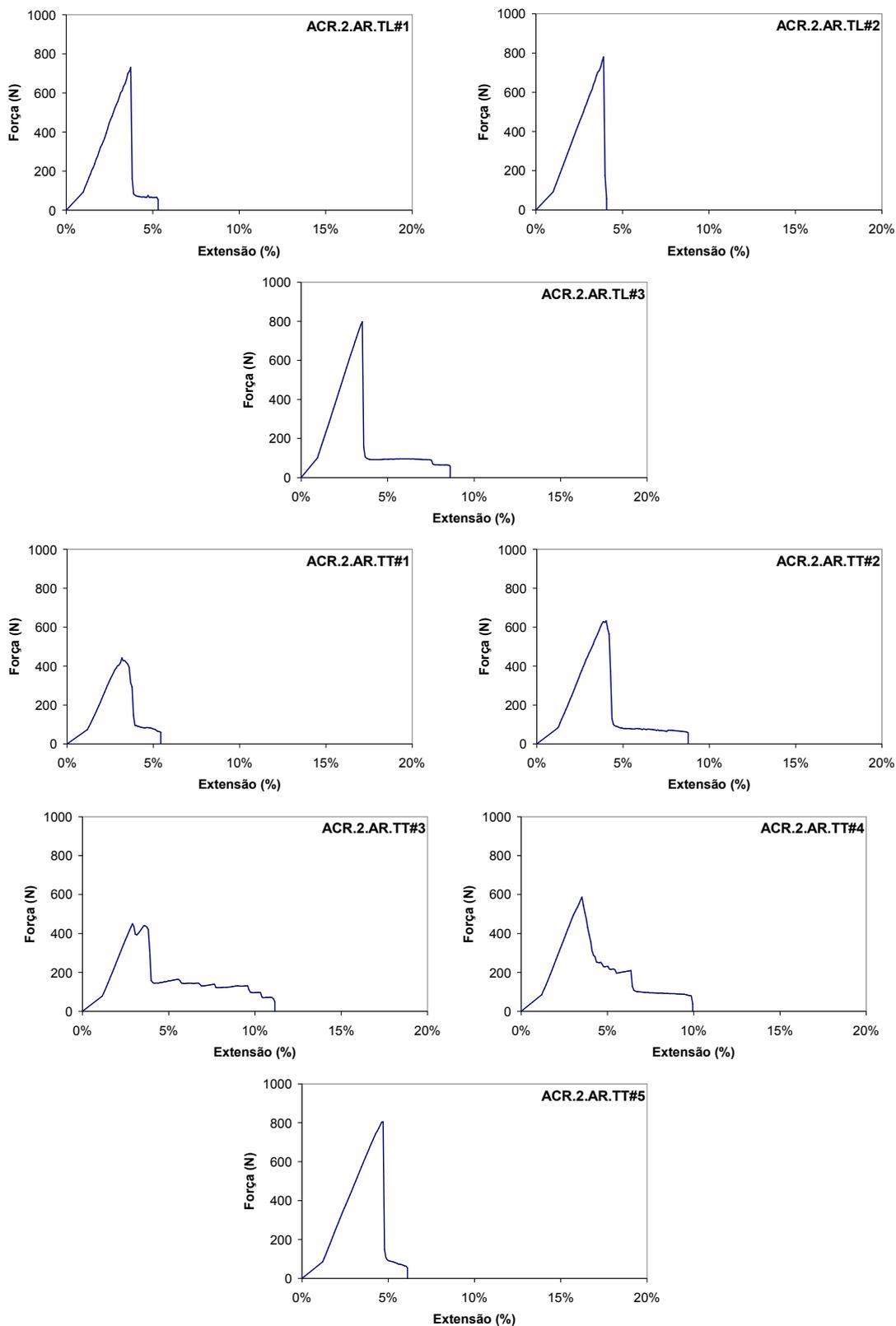
Provete	Espessura média (mm)	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
			(mm)	(%)
ACR.2.NA.TR#1	1,47	75,53	191,45	95,72%
ACR.2.NA.TR#2	1,39	74,01	377,81	188,91%
ACR.2.NA.TR#3	1,51	85,45	158,44	79,22%
ACR.2.NA.TR#4	1,20	64,85	167,52	83,76%
ACR.2.NA.TR#5	1,51	85,45	175,28	87,64%
Média:		80*	173,17*	87%*
Desvio padrão:		10*	13,99*	7%*
ACR.2.AR.TL#1	0,95	787,40	7,19	3,60%
ACR.2.AR.TL#2	1,03	874,30	7,69	3,84%
ACR.2.AR.TL#3	0,99	730,90	7,46	3,73%
ACR.2.AR.TL#4	0,94	780,49	7,82	3,91%
ACR.2.AR.TL#5	0,99	797,27	7,07	3,53%
Média:		795	7,45	4%
Desvio padrão:		52	0,32	0%
ACR.2.AR.TT#1	1,12	441,74	6,36	3,18%
ACR.2.AR.TT#2	1,16	632,48	8,04	4,02%
ACR.2.AR.TT#3	1,20	450,13	5,79	2,90%
ACR.2.AR.TT#4	1,15	586,70	7,05	3,53%
ACR.2.AR.TT#5	1,21	804,90	9,40	4,70%
Média:		585	7,33	4%
Desvio padrão:		149	1,43	1%
ACR.3.AR.TL#1	1,83	1003,27	10,50	5,25%
ACR.3.AR.TL#2	1,91	860,60	9,27	4,63%
ACR.3.AR.TL#3	1,77	926,21	9,69	4,84%
ACR.3.AR.TL#4	1,86	983,43	10,11	5,05%
ACR.3.AR.TL#5	1,83	910,19	9,79	4,89%
Média:		935	9,87	5%
Desvio padrão:		57	0,46	0%
ACR.3.AR.TT#1	1,92	435,64	4,84	2,42%
ACR.3.AR.TT#2	1,88	473,02	5,26	2,63%
ACR.3.AR.TT#3	1,72	613,40	6,06	3,03%
ACR.3.AR.TT#4	1,85	676,73	6,59	3,30%
ACR.3.AR.TT#5	1,97	719,45	6,88	3,44%
Média:		585	5,93	3%
Desvio padrão:		125	0,87	0%

* para o cálculo não contribuiu o valor registado para o provete ACR.2.NA.TR#2

Sistema acrílico não-armado com 2 demãos

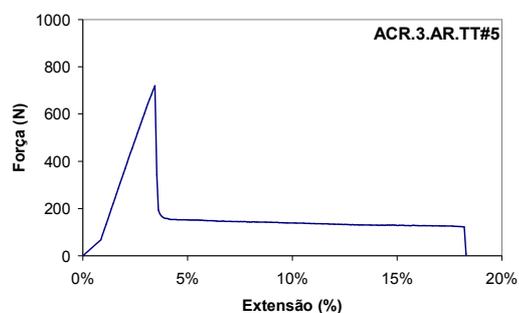
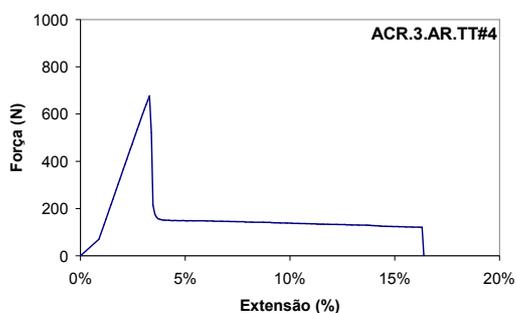
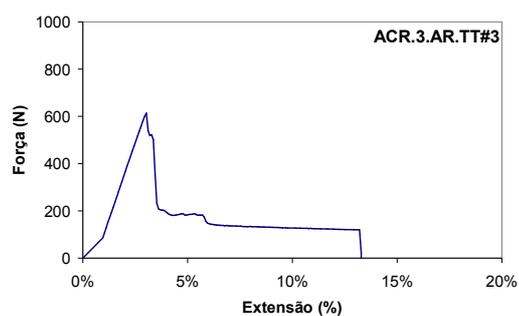
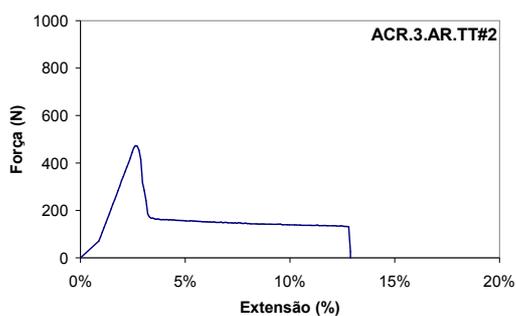
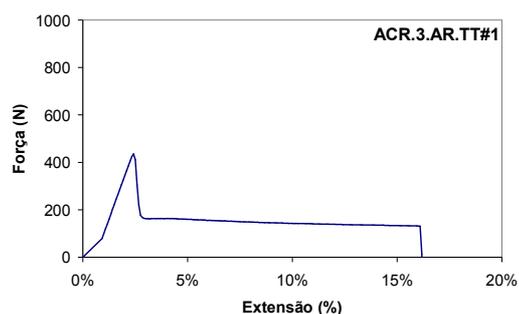
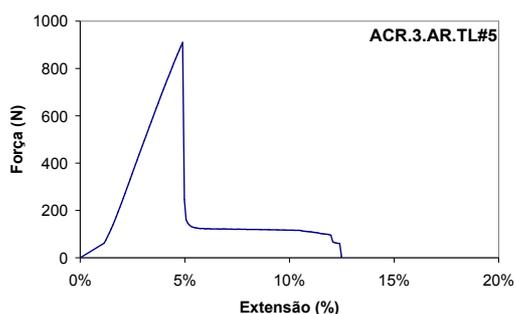
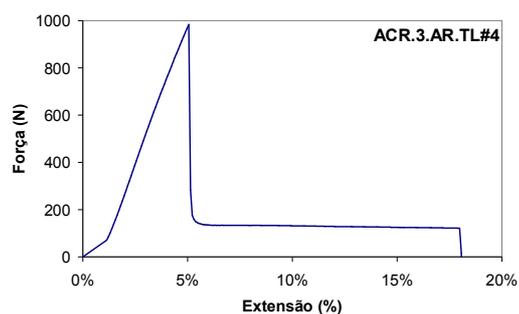
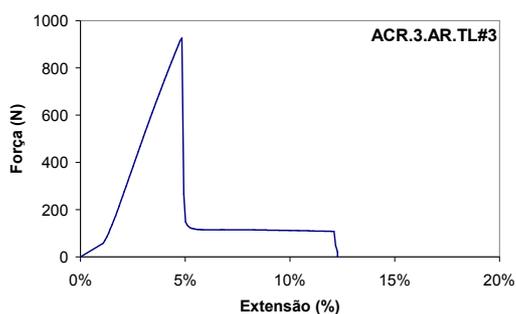
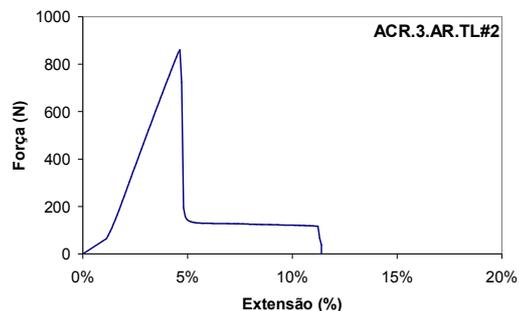
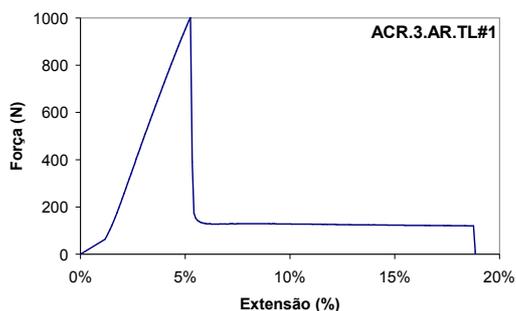


Sistema acrílico armado com 2 demãos



Nota: Não foi possível obter os gráficos dos provetes ACR.2.AR.TL#4 e ACR.2.AR.TL#5.

Sistema acrílico armado com 3 demãos



Ensaio de tracção

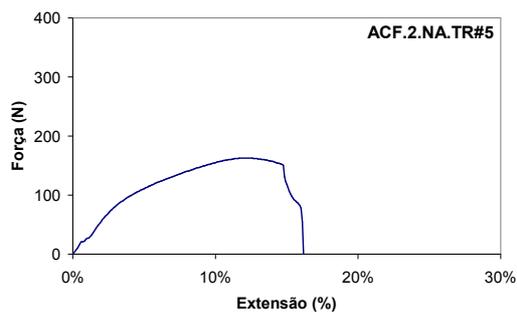
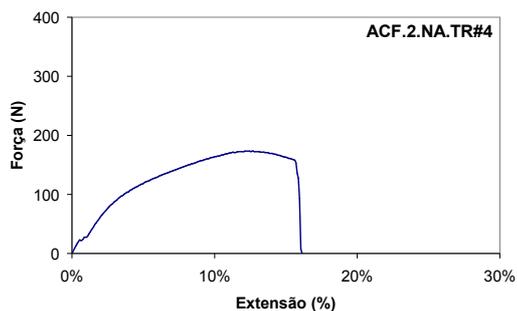
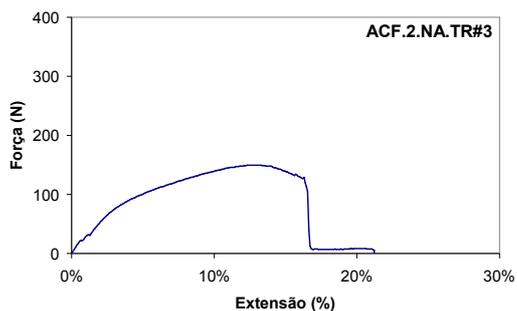
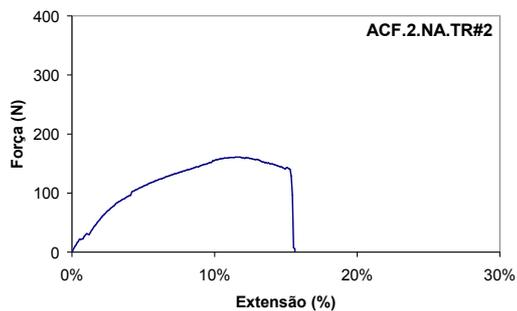
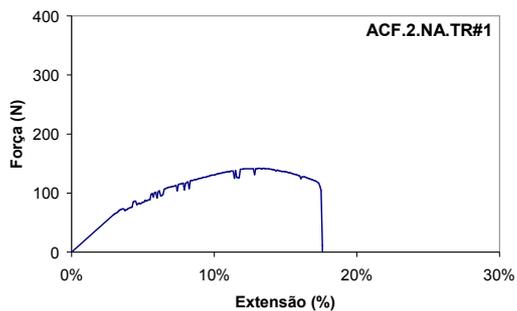
Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

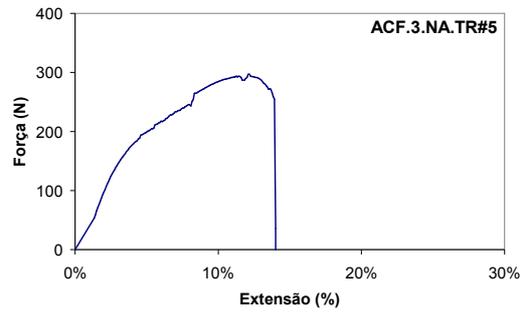
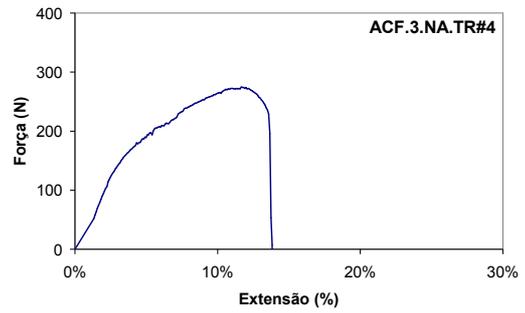
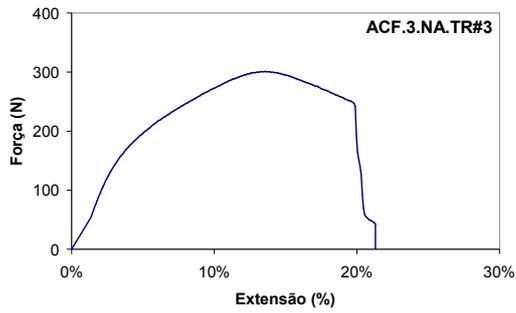
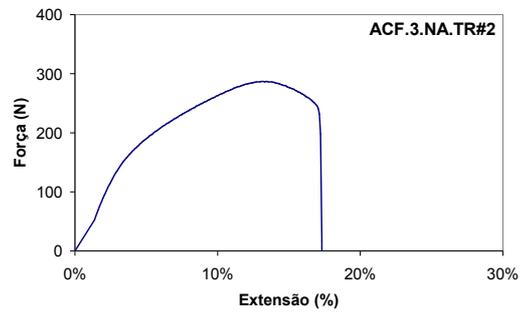
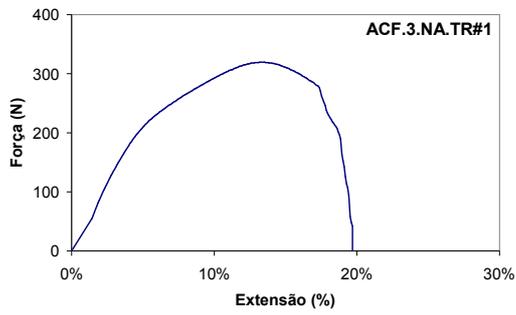
Sistemas acrílicos fibrosos

Provete	Espessura média (mm)	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
			(mm)	(%)
ACF.2.NA.TR#1	0,94	141,91	26,15	13,07%
ACF.2.NA.TR#2	1,21	160,98	22,91	11,46%
ACF.2.NA.TR#3	1,04	149,54	24,59	12,30%
ACF.2.NA.TR#4	1,30	173,19	24,24	12,12%
ACF.2.NA.TR#5	1,17	162,51	23,34	11,67%
Média:		160	24,25	12%
Desvio padrão:		12	1,26	1%
ACF.3.NA.TR#1	1,99	319,67	26,38	13,19%
ACF.3.NA.TR#2	1,90	286,87	26,10	13,05%
ACF.3.NA.TR#3	2,16	301,36	27,10	13,55%
ACF.3.NA.TR#4	1,91	274,66	23,32	11,66%
ACF.3.NA.TR#5	1,90	296,78	24,18	12,09%
Média:		295	25,41	13%
Desvio padrão:		17	1,59	1%

Sistema acrílico fibroso não-armado com 2 demãos



Sistema acrílico fibroso não-armado com 3 demãos



Ensaio de tracção

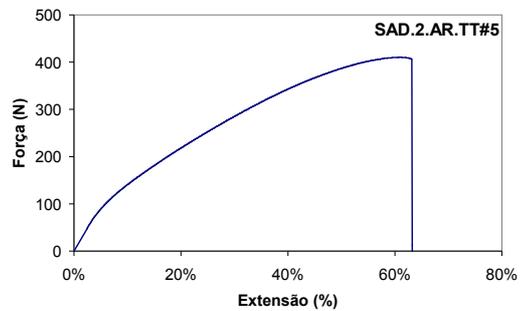
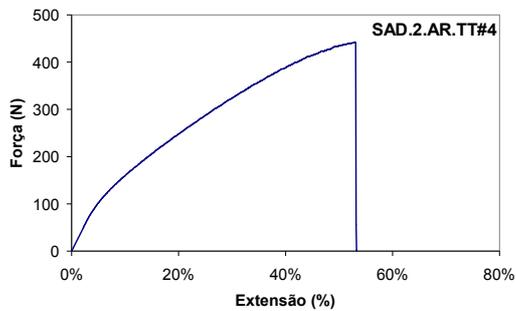
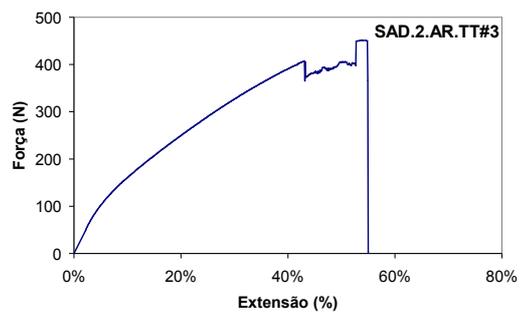
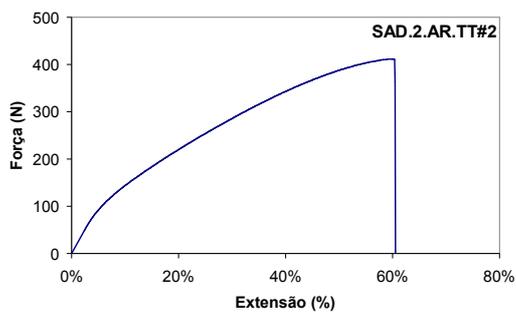
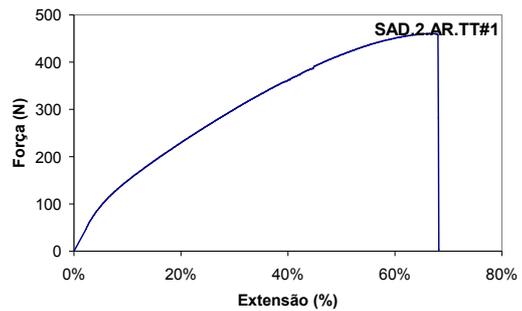
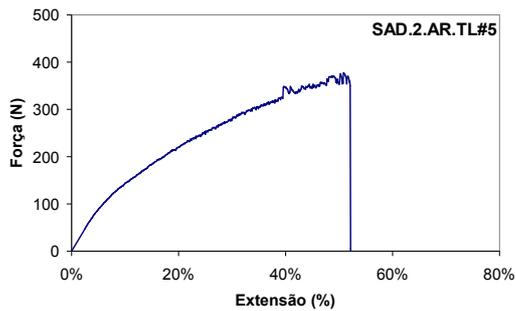
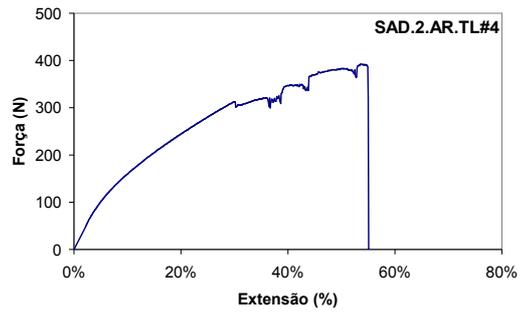
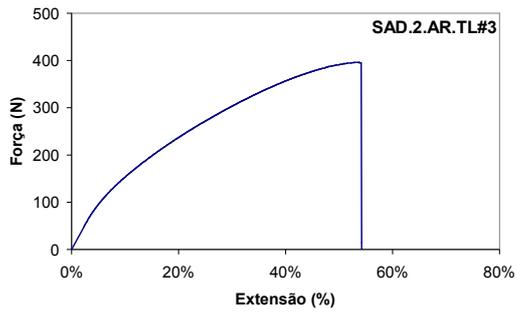
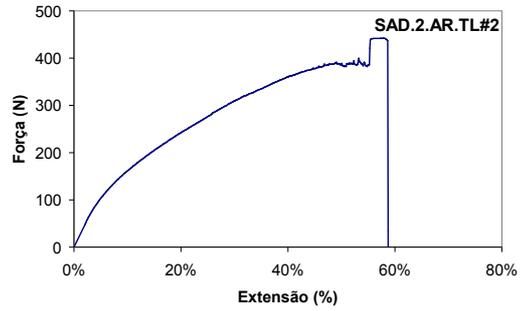
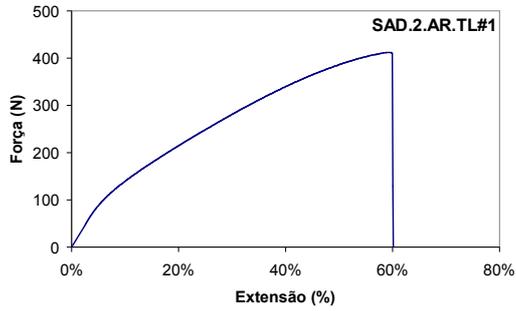
Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

Sistema cimentício bicomponente semiaderido

Provete	Espessura média (mm)	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
			(mm)	(%)
SAD.2.AR.TL#1	1,55	386,05	99,92	49,96%
SAD.2.AR.TL#2	1,60	391,39	98,13	49,06%
SAD.2.AR.TL#3	1,67	390,63	99,12	49,56%
SAD.2.AR.TL#4	1,55	383,00	99,84	49,92%
SAD.2.AR.TL#5	1,61	370,79	97,32	48,66%
Média:		385	98,87	49%
Desvio padrão:		8	1,12	1%
SAD.2.AR.TT#1	1,80	415,80	99,89	49,95%
SAD.2.AR.TT#2	1,62	387,57	99,76	49,88%
SAD.2.AR.TT#3	1,63	407,41	86,18	43,09%
SAD.2.AR.TT#4	1,56	434,88	99,86	49,93%
SAD.2.AR.TT#5	1,51	386,81	99,95	49,97%
Média:		405	97,13	49%
Desvio padrão:		20	6,12	3%

Sistema cimentício bicomponente semiaderido armado com 2 demãos



Ensaio de tracção

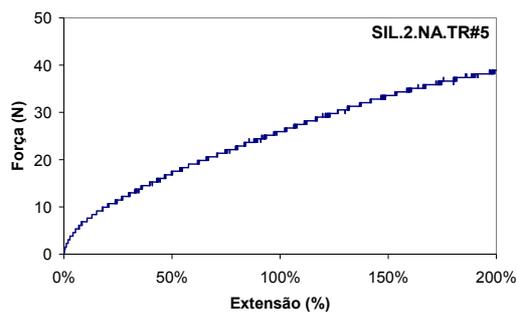
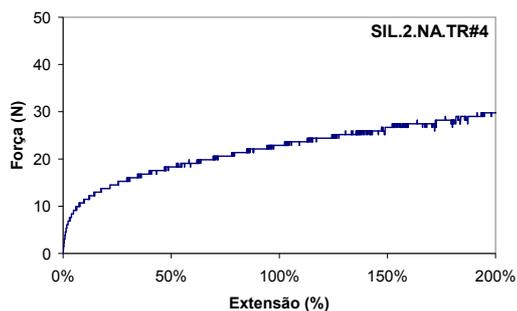
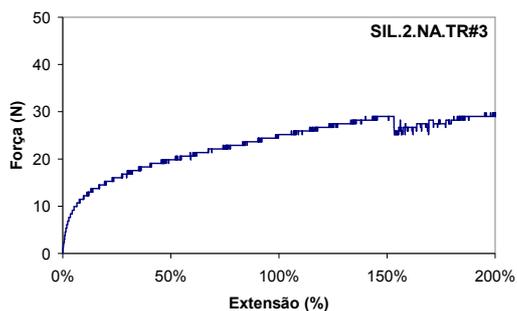
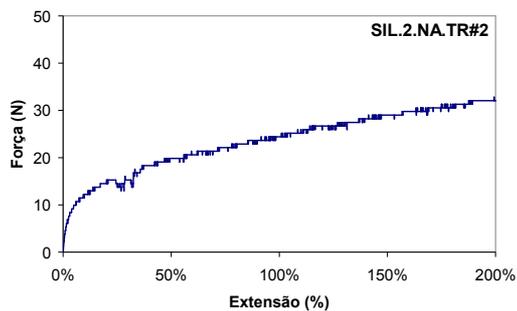
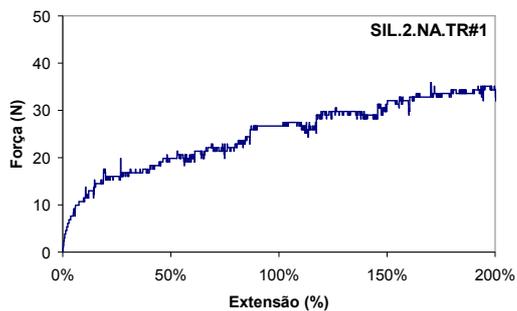
Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

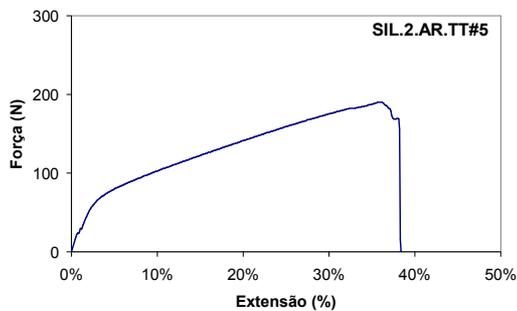
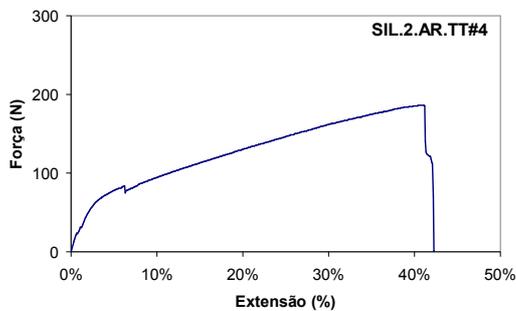
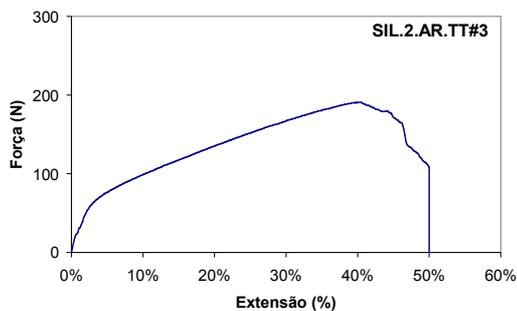
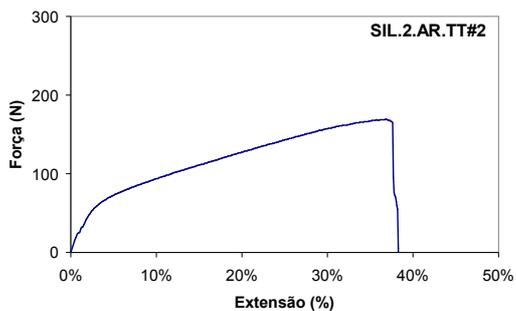
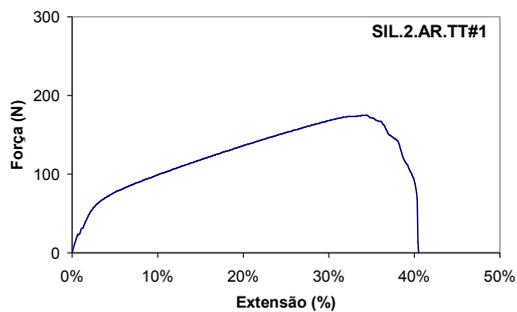
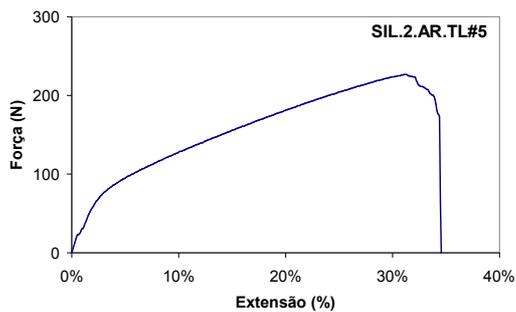
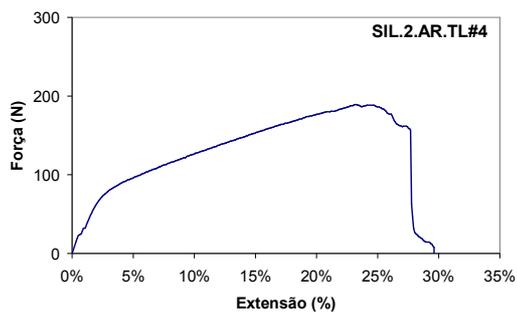
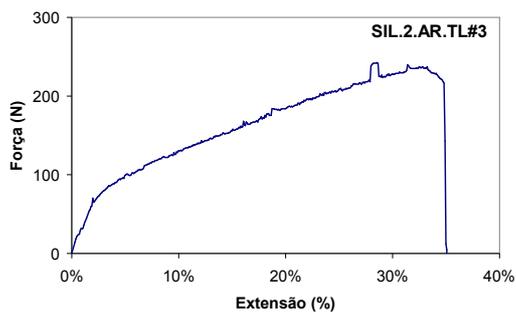
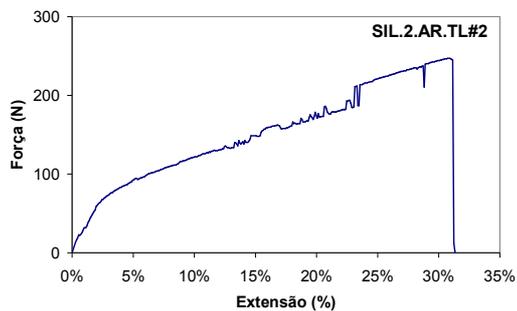
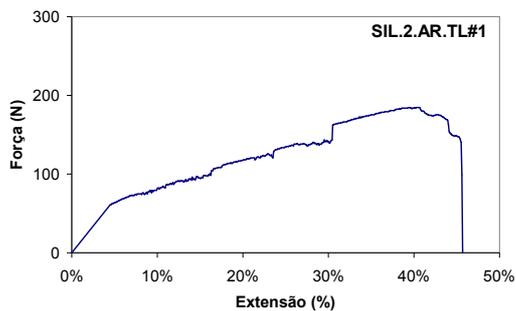
Sistemas à base de silicone líquida

Provete	Espessura média (mm)	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
			(mm)	(%)
SIL.2.NA.TR#1	1,39	35,86	340,47	170,23%
SIL.2.NA.TR#2	1,37	32,81	398,66	199,33%
SIL.2.NA.TR#3	1,57	29,75	390,39	195,19%
SIL.2.NA.TR#4	1,38	30,52	416,06	208,03%
SIL.2.NA.TR#5	1,40	39,67	410,71	205,36%
Média:		35	391,26	196%
Desvio padrão:		4	30,12	15%
SIL.2.AR.TL#1	1,65	184,63	78,70	39,35%
SIL.2.AR.TL#2	1,63	247,19	61,45	30,73%
SIL.2.AR.TL#3	1,54	242,61	57,12	28,56%
SIL.2.AR.TL#4	1,48	189,21	46,21	23,11%
SIL.2.AR.TL#5	1,34	226,59	62,11	31,05%
Média:		220	61,12	31%
Desvio padrão:		29	11,71	6%
SIL.2.AR.TT#1	1,48	174,71	67,66	33,83%
SIL.2.AR.TT#2	1,59	169,37	73,57	36,78%
SIL.2.AR.TT#3	1,43	190,73	79,21	39,61%
SIL.2.AR.TT#4	1,49	186,16	80,86	40,43%
SIL.2.AR.TT#5	1,50	189,97	71,26	35,63%
Média:		180	74,51	37%
Desvio padrão:		10	5,50	3%
SIL.3.AR.TL#1	2,27	243,38	71,65	35,82%
SIL.3.AR.TL#2	2,56	287,63	73,11	36,55%
SIL.3.AR.TL#3	2,84	290,68	79,80	39,90%
SIL.3.AR.TL#4	2,46	254,06	68,07	34,04%
SIL.3.AR.TL#5	2,42	272,37	74,40	37,20%
Média:		270	73,41	37%
Desvio padrão:		21	4,28	2%
SIL.3.AR.TT#1	2,22	189,21	86,25	43,13%
SIL.3.AR.TT#2	2,52	207,52	84,90	42,45%
SIL.3.AR.TT#3	2,30	198,36	74,69	37,34%
SIL.3.AR.TT#4	2,23	194,55	76,97	38,48%
SIL.3.AR.TT#5	2,31	197,60	76,81	38,41%
Média:		195	79,92	40%
Desvio padrão:		7	5,26	3%

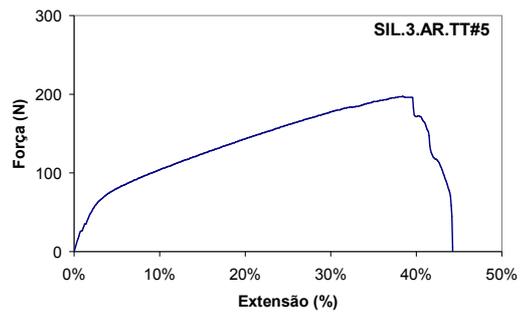
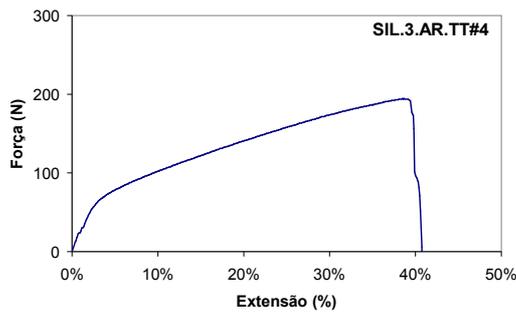
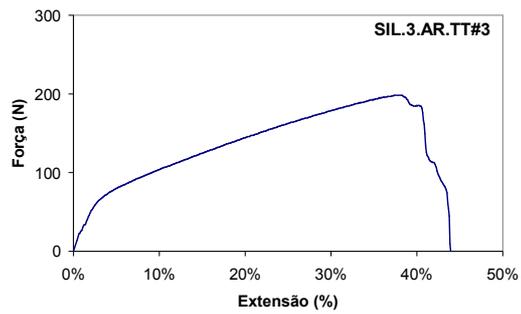
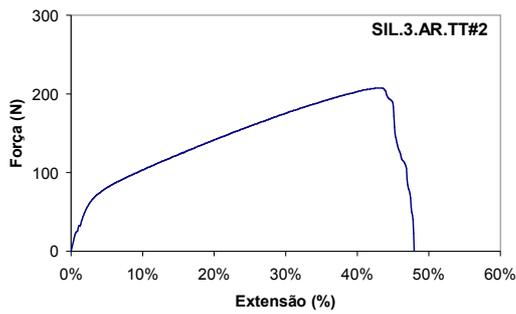
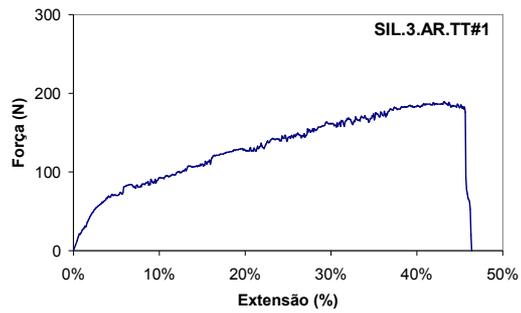
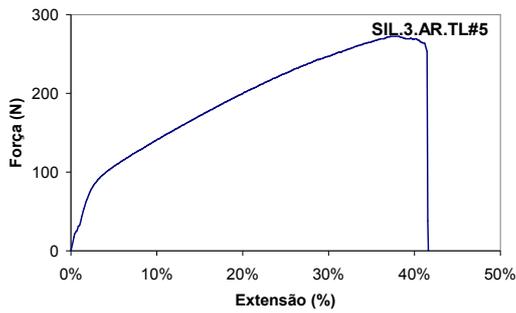
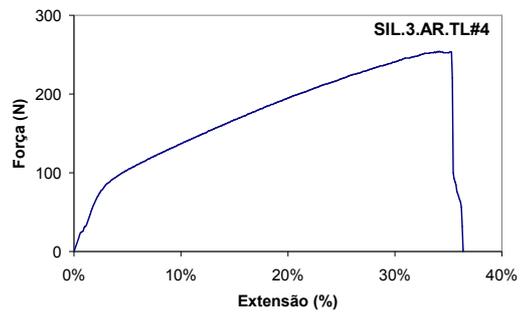
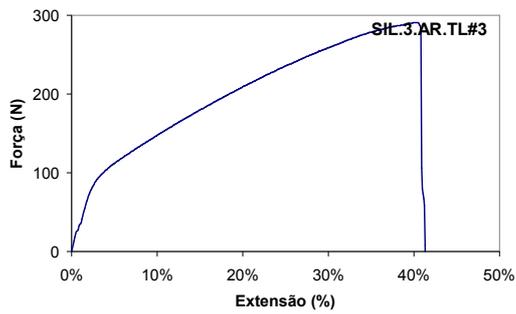
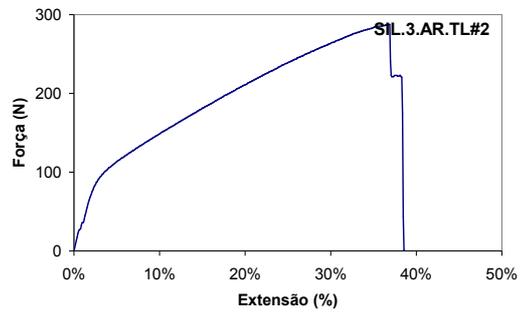
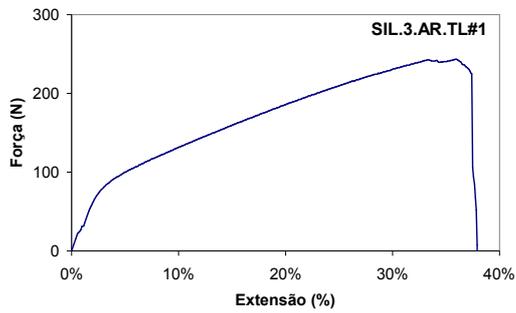
Sistema à base de silicone líquida não-armado com 2 demãos



Sistema à base de silicone líquida armado com 2 demãos



Sistema à base de silicone líquida armado com 3 demãos



Ensaio de tracção

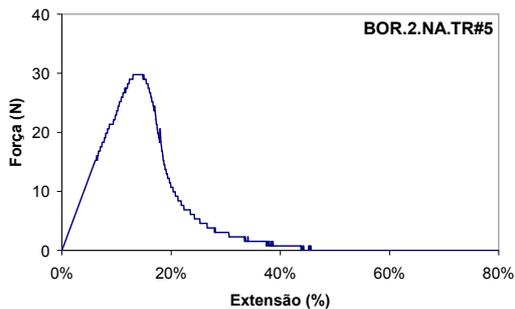
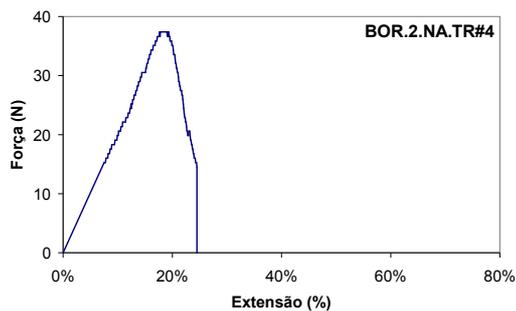
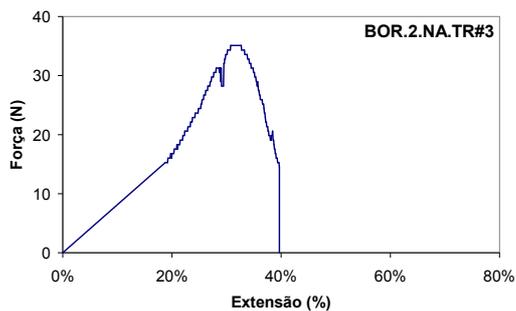
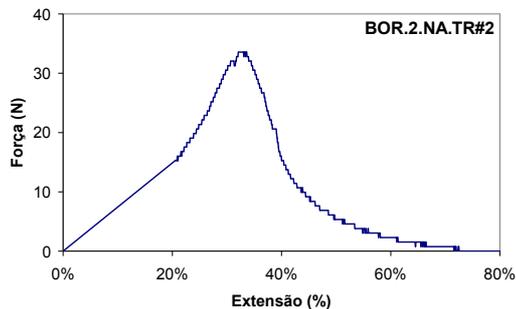
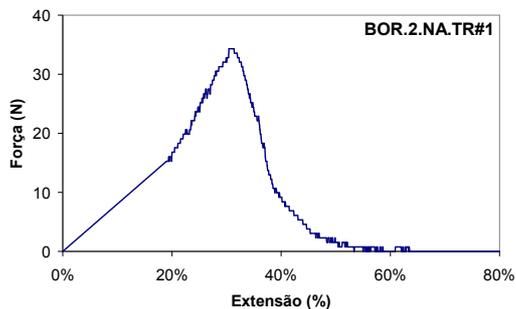
Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

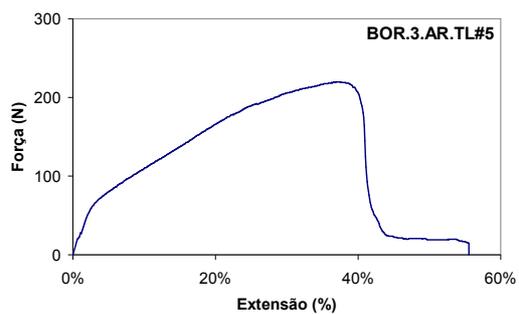
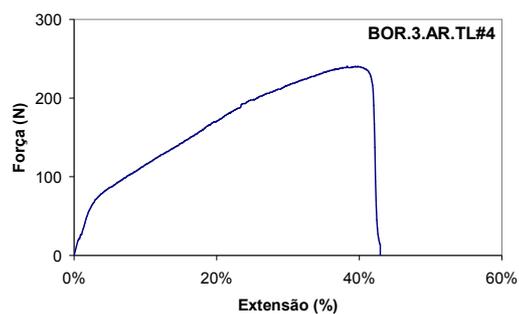
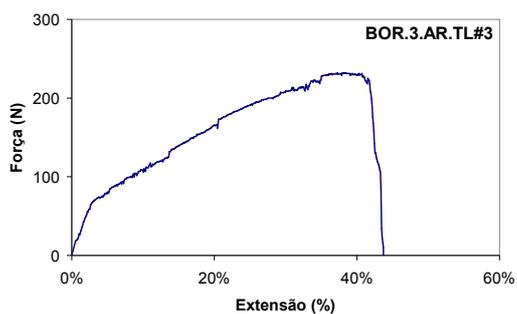
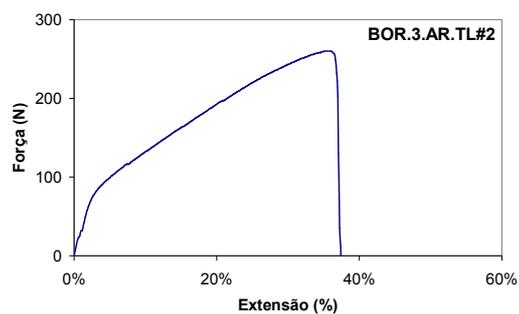
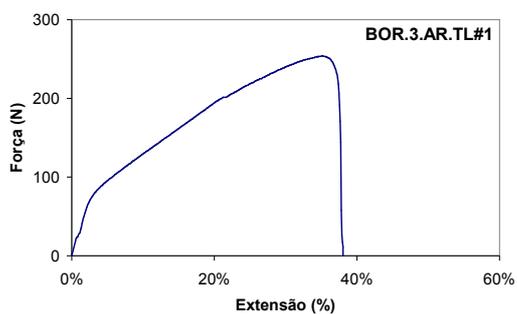
Sistemas à base de borracha líquida

Provete	Espessura média (mm)	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
			(mm)	(%)
BOR.2.NA.TR#1	0,51	34,33	60,87	30,44%
BOR.2.NA.TR#2	0,54	33,57	64,21	32,10%
BOR.2.NA.TR#3	0,70	35,10	61,54	30,77%
BOR.2.NA.TR#4	0,98	37,38	35,36	17,68%
BOR.2.NA.TR#5	0,73	29,75	26,10	13,05%
Média:		35	49,61	25%
Desvio padrão:		3	17,59	9%
BOR.3.AR.TL#1	1,04	254,06	70,11	35,05%
BOR.3.AR.TL#2	1,16	260,16	70,15	35,07%
BOR.3.AR.TL#3	1,10	231,93	74,58	37,29%
BOR.3.AR.TL#4	0,97	240,33	76,55	38,27%
BOR.3.AR.TL#5	1,06	219,73	73,22	36,61%
Média:		240	72,92	36%
Desvio padrão:		16	2,81	1%

Sistema à base de borracha líquida não-armado com 2 demãos



Sistema à base de borracha líquida armado com 3 demãos



Ensaio de tracção

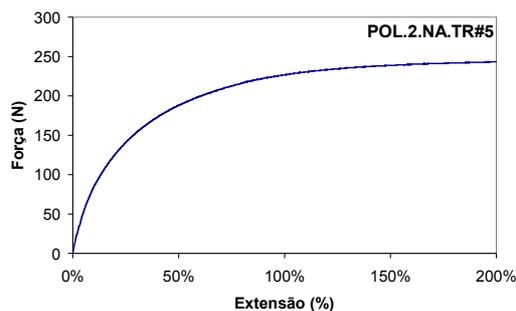
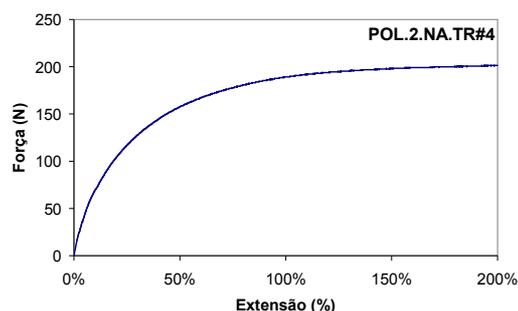
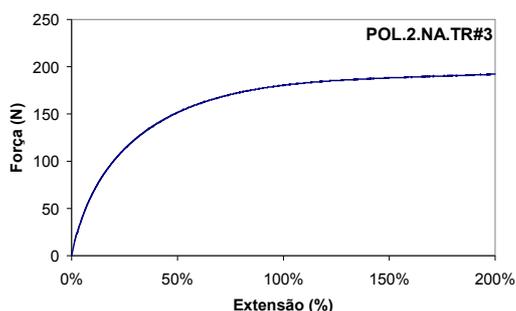
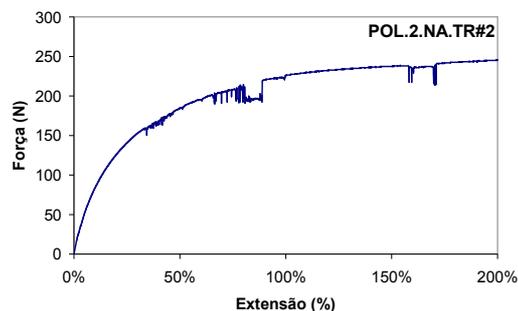
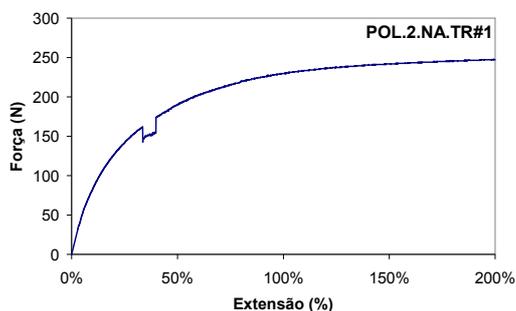
Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

Sistema à base de poliuretano

Provete	Espessura média (mm)	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
			(mm)	(%)
POL.2.NA.TR#1	1,65	247,96	398,41	199,21%
POL.2.NA.TR#2	1,36	245,67	398,75	199,38%
POL.2.NA.TR#3	1,31	192,26	386,14	193,07%
POL.2.NA.TR#4	1,68	201,42	385,17	192,58%
POL.2.NA.TR#5	1,65	243,38	389,40	194,70%
Média:		225	391,57	196%
Desvio padrão:		27	6,59	3%

Sistema à base de poliuretano não-armado com 2 demãos



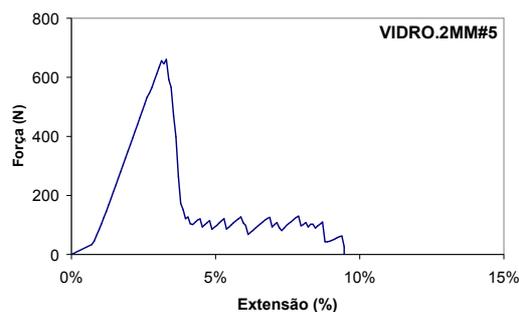
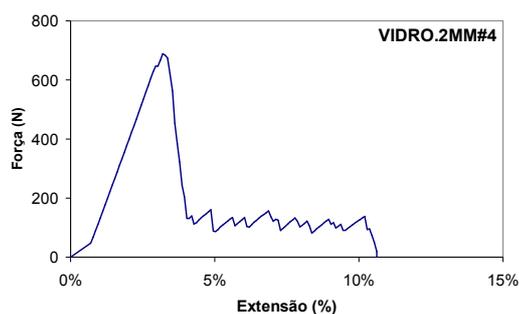
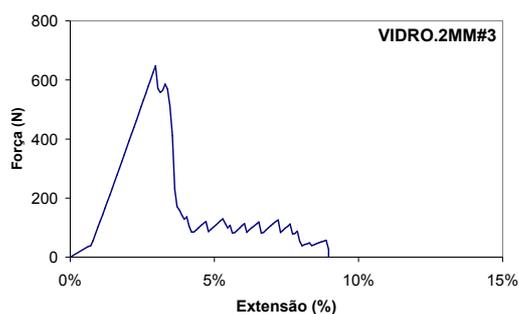
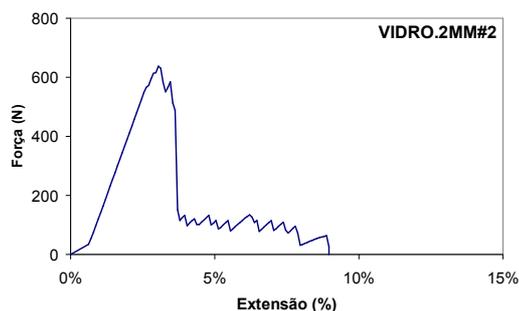
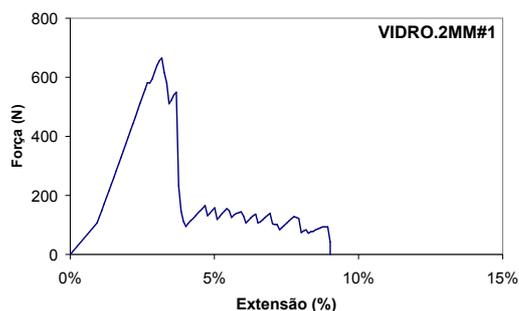
Ensaio de tracção

Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

Rede de fibra de vidro (malha de 2 mm; 60 g/m²)

Provete	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
		(mm)	(%)
VIDRO2MM#1	665,28	6,35	3,18%
VIDRO2MM#2	637,82	6,08	3,04%
VIDRO2MM#3	647,74	5,91	2,96%
VIDRO2MM#4	688,93	6,40	3,20%
VIDRO2MM#5	660,71	6,58	3,29%
Média:	660	6,27	3%
Desvio padrão:	19	0,27	0%



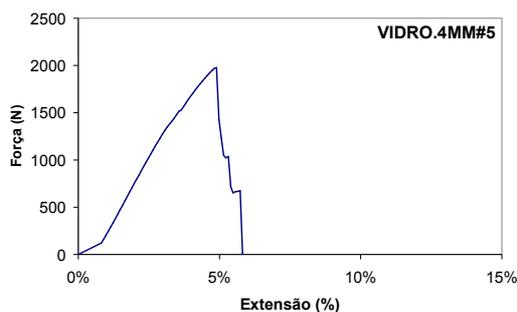
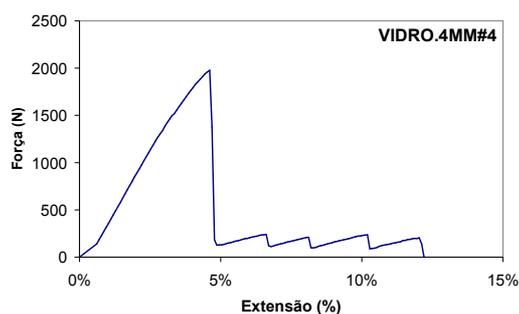
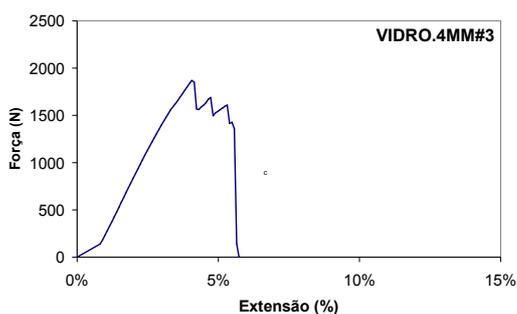
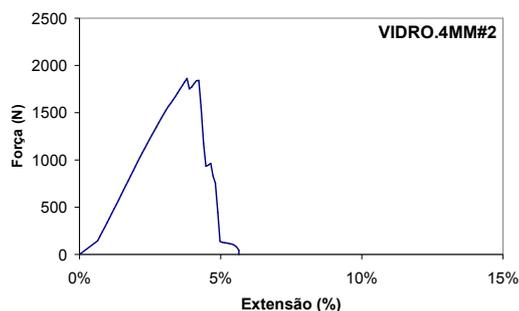
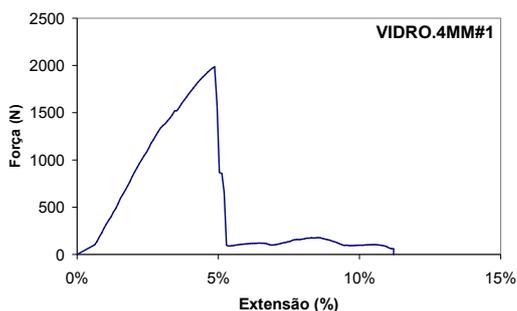
Ensaio de tracção

Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

Rede de fibra de vidro (malha de 4 mm; 200 g/m²)

Provete	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
		(mm)	(%)
VIDRO4MM#1	1985,93	9,74	4,87%
VIDRO4MM#2	1863,10	7,62	3,81%
VIDRO4MM#3	1869,20	8,12	4,06%
VIDRO4MM#4	1976,78	9,22	4,61%
VIDRO4MM#5	1976,78	9,79	4,89%
Média:	1935	8,90	4%
Desvio padrão:	62	0,98	0%



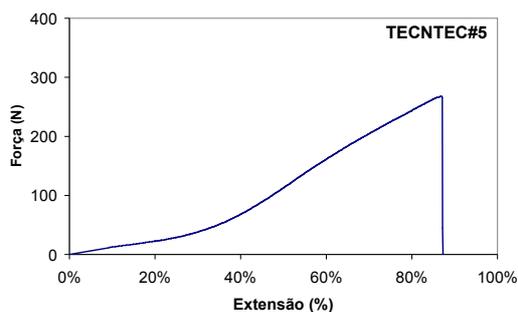
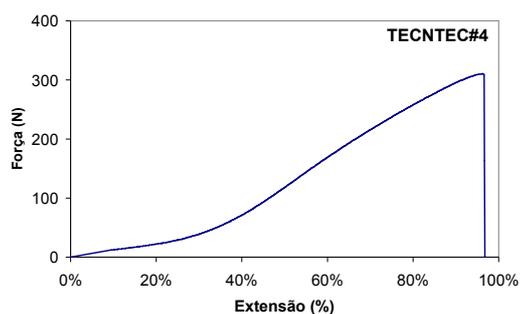
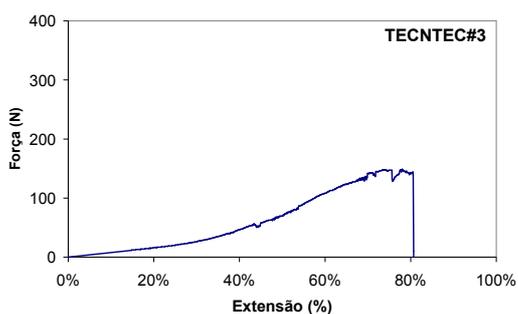
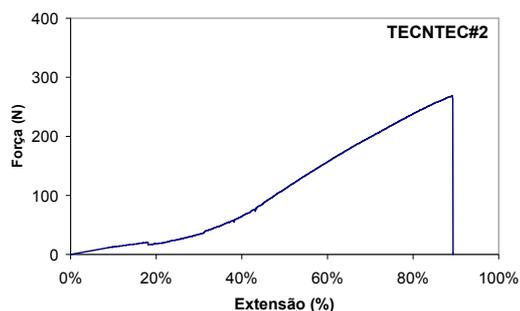
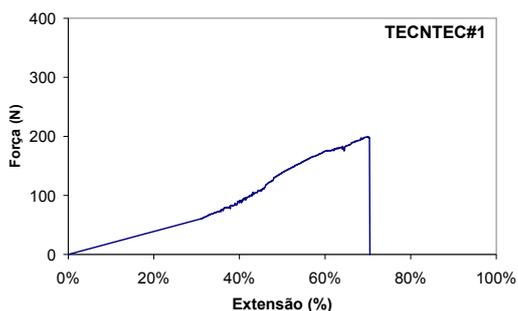
Ensaio de tracção

Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

Tecido não-tecido (90 g/m²)

Provete	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
		(mm)	(%)
TECNTEC#1	138,09	99,73	49,86%
TECNTEC#2	110,63	99,97	49,99%
TECNTEC#3	69,43	98,81	49,40%
TECNTEC#4	117,49	99,81	49,90%
TECNTEC#5	112,92	99,98	49,99%
Média:	110	99,66	50%
Desvio padrão:	25	0,49	0%



Ensaio de tracção

Norma EN 12311-1:

- provetes de dimensões 300 mm x 50 mm;
- sistemas não-armados: 5 provetes;
- sistemas armados: 5 provetes na direcção longitudinal da armadura e 5 provetes na direcção transversal da armadura;
- velocidade de separação das garras de 100 mm/minuto.

Malha apertada de poliéster (50 g/m²)

Provete	Força máxima (N/50 mm)	Extensão na força máxima	
		(mm)	(%)
POLIESTER#1	175,48	49,87	24,93%
POLIESTER#2	146,48	42,28	21,14%
POLIESTER#3	127,41	42,09	21,05%
POLIESTER#4	151,82	43,23	21,62%
POLIESTER#5	146,48	41,97	20,99%
Média:	150	43,89	22%
Desvio padrão:	17	3,38	2%

