

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE SISTEMAS BETUMINOSOS DE IMPERMEABILIZAÇÃO DE COBERTURAS FIXADOS MECANICAMENTE

Jorge Grandão Lopes*
glopes@lnec.pt

Raul Ribeiro da Silva†
rjnribeirodasilva@gmail.com

Luís José Almeida‡
ljalmeida420@hotmail.com

João Ramôa Correia‡
jcorreia@civil.ist.utl.pt

João Paulo Gomes Ferreira‡
joaof@civil.ist.utl.pt

Resumo

Pretende-se, com a presente comunicação, apresentar os resultados de ensaios de sucção do vento realizados sobre sistemas betuminosos de impermeabilização de coberturas fixados mecanicamente, com base nos quais se define o respectivo campo de aplicação.

Palavras-chave: cobertura, impermeabilização, fixação mecânica, ensaio de sucção do vento.

1 Introdução

Os sistemas de impermeabilização de coberturas em terraço mais utilizados em Portugal são constituídos por membranas betuminosas (em geral, com base em betumes-polímeros) totalmente aderidas ao suporte ou independentes do mesmo. No entanto, nos últimos anos, os sistemas fixados mecanicamente têm tido uma utilização crescente, nomeadamente no domínio da reabilitação de coberturas.

Actualmente, a melhor forma de se avaliar o desempenho dos sistemas de impermeabilização deste tipo é através de ensaios específicos [1], que incluem ensaios simplificados e de sucção do vento. O objectivo principal da campanha de ensaios [2] descrita nesta comunicação foi determinar, através do ensaio de sucção do vento, a capacidade resistente e o campo de aplicação de vários sistemas fixados mecanicamente utilizando os componentes correntemente utilizados em Portugal.

* Investigador Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

† Aluno do Mestrado Integrado em Engenharia Civil do IST.

‡ Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura do IST.

2 Campanha experimental

Todos os sistemas de impermeabilização fixados mecanicamente ensaiados são constituídos por membranas de betume-polímero APP. No quadro 1 apresentam-se as principais características dessas membranas.

Quadro 1: Principais características das membranas.

| Membrana | Largura das juntas (mm) | Armadura | Massa/m ² (kg/m ²) | Acabamentos superficiais |
|----------|-------------------------|---|---|---|
| A | 80 | Feltro de poliéster de 150 g/m ² | 4.0 | Filme de polietileno na face inferior e granulado verde de ardósia na face superior |
| B | 90 | Feltro de poliéster de 150 g/m ² | 5.0 | Filme de polietileno na face inferior e granulado verde de ardósia na face superior |
| C | 80 | Feltro de poliéster de 180 g/m ² | 5.0 | Filme de polietileno na face inferior e granulado azul de ardósia na face superior |
| D | 80 | Feltro de poliéster de 150 g/m ² | 4.0 | Filme de polietileno em ambas as faces |

Como suporte dos sistemas formados por aquelas membranas utilizaram-se painéis de lã de rocha com 40, 60 e 100 mm de espessura nominal e com comprimentos e larguras nominais de 1,200 mm e 1,000 mm, respectivamente; a massa volúmica média dos painéis, determinada em ensaio, foi de 166, 176 e 190 kg/m³, respectivamente, para as espessuras indicadas. Com a escolha de painéis de lã de rocha numa gama de três espessuras pretendeu-se também avaliar o efeito que este parâmetro eventualmente teria no desempenho do sistema de impermeabilização.

Com as membranas (em peças de 1.00 m de largura) e os painéis isolantes acima descritos construíram-se as maquetas indicadas no quadro 2.

Quadro 2: Identificação das maquetas ensaiadas.

| Espessura do isolamento térmico (mm) | Membranas dos sistemas | | |
|--------------------------------------|------------------------|-----------|-----------|
| | A | B | C + D |
| 40 | | Maqueta 4 | |
| 60 | Maqueta 1 | Maqueta 3 | Maqueta 2 |
| 100 | | Maqueta 5 | |

Como estrutura resistente utilizaram-se chapas nervuradas de aço galvanizado com as seguintes dimensões: 2,500 mm de comprimento, 1,000 mm de largura, 0.70 mm de espessura nominal, nervuras com 40 mm de altura e 250 mm de espaçamento, e largura dos banzos superior e inferior de 95 mm e 30 mm, respectiva-

mente. Nas juntas de sobreposição longitudinais, as chapas foram solidarizadas com parafusos.

Para fixar o sistema de impermeabilização à estrutura resistente foram utilizados parafusos com 4.7 mm de diâmetro e comprimentos variáveis consoante a espessura dos painéis de isolamento térmico: 60, 80 e 120 mm, respectivamente, para os painéis de 40, 60 e 100 mm. A distribuição das forças de aperto transmitidas aos parafusos foi feita através de anilhas (ou plaquetas) de aço galvanizado.

Para a realização dos ensaios foram preparadas ~~as cinco~~ 5 maquetas já referidas, com ~~de~~ cerca de 2,500 mm × 2,500 m, cada uma delas com as seguintes camadas: (i) chapas de aço nervuradas fixas, nas cavas alternadas das nervuras, a barrotos de madeira afastados entre si de 2,000 mm; (ii) painéis de lã de rocha fixos pontualmente com parafusos e anilhas aproximadamente quadradas com 65 mm de lado; (iii) membrana fixa mecanicamente com parafusos e anilhas à chapa metálica; e (iv) ~~membrana~~ maqueta 2 foi soldada uma segunda membrana à anterior por meio de ~~ca~~ chama de maçarico. ~~(sistemas de dupla camada).~~

A execução das maquetas foi feita de acordo com o descrito no Guia EOTA aplicável a este tipo de sistemas [3]. Assim, a junta de sobreposição mais solicitada foi posicionada a meio da maqueta, com os parafusos colocados nessa junta afastados entre si de 250 mm. Dada a largura das membranas de impermeabilização, foi necessário realizar mais duas fiadas de fixações, colocadas cada uma delas a 900 mm da fiada central. No caso do sistema de camada dupla, a segunda membrana do sistema foi totalmente aderida à primeira, sendo ~~uma~~ das ~~peças~~ colocada de modo centrado com a junta de sobreposição principal das membranas subjacentes.

Formatted: Highlight

3 Resultados obtidos e discussão

3.1 Condições de realização dos ensaios

Face à geometria da maqueta, e tendo em conta o preconizado no já referido Guia EOTA [3] quanto à metodologia de ensaio, o programa das pressões (sucções) do vento sobre o sistema de impermeabilização foi o indicado no quadro 3. Foi utilizado um equipamento de ensaio do ~~Dutch~~ Instituto holandês BDA KEUR.

Quadro 3: Excerto do programa de cargas.

| Cargas (N) | Pressões (kPa) | | | | | | | | |
|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | % da pressão | | | | | | | | |
| | 40% | 60% | 80% | 90% | 100% | 90% | 80% | 60% | 40% |
| | Nº de ciclos correspondente à % de pressão aplicada | | | | | | | | |
| | 500 | 200 | 5 | 2 | 1 | 2 | 5 | 200 | 500 |
| 300 | 0.53 | 0.80 | 1.07 | 1.20 | 1.33 | 1.20 | 1.07 | 0.80 | 0.53 |

| | | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 300 | 0.53 | 0.80 | 1.07 | 1.20 | 1.33 | 1.20 | 1.07 | 0.80 | 0.53 |
| 300 | 0.53 | 0.80 | 1.07 | 1.20 | 1.33 | 1.20 | 1.07 | 0.80 | 0.53 |
| 300 | 0.53 | 0.80 | 1.07 | 1.20 | 1.33 | 1.20 | 1.07 | 0.80 | 0.53 |
| 400 | 0.71 | 1.07 | 1.42 | 1.60 | 1.78 | 1.60 | 1.42 | 1.07 | 0.71 |
| 500 | 0.89 | 1.33 | 1.78 | 2.00 | 2.22 | 2.00 | 1.78 | 1.33 | 0.89 |

3.2 Resultados obtidos

No quadro 4, para além das condições ambientais em que se realizaram os ensaios (o Guia EOTA preconiza uma temperatura de $25\pm 5^\circ\text{C}$), ~~que não foi cumprida na maqueta 5~~, registam-se também as cargas que conduziram à rotura do sistema (e o grupo de ciclos respectivos). O modo de rotura observado em todos os sistemas foi a pelagem pela junta de sobreposição central do sistema (figura 1, à esquerda).

Formatted: Indent: First line: 0,8 cm

Quadro 4: Resultados e condições do ensaio.

| Maqueta | Situação de rotura | | Condições ambientais durante o ensaio | |
|---------|--------------------------|-----------------|---|------------------------------------|
| | Carga (N) | Grupo de ciclos | Amplitude da temperatura ($^\circ\text{C}$) | Amplitude da humidade relativa (%) |
| 1 | 500 | 5 (S.A.) | 15.5 – 22.1 | 45.7 – 86.3 |
| 2 | 300 (4º carregamento) | 5 (S.A.) | 16.4 – 23.1 | 44.2 – 54.8 |
| 3 | 300 (4º carregamento) | 200 (S.A.) | 16.1 – 26.4 | 47.9 – 62.7 |
| 4 | 300 (1º carregamento) | 500 (S.D.) | 24.4 – 25.5 | 38.8 – 41.8 |
| 5 | 300 (1º carregamento) | 200 (S.A.) | 32.2 – 33.4 | 21.9 – 24.3 |

S.A. – Sequência de aplicação ascendente; S.D. – Sequência de aplicação descendente

De acordo com o Guia da EOTA [3], a carga admissível, W_{adm} , é a correspondente ao valor anterior àquele em que ocorre a rotura. No quadro 5 apresenta-se uma síntese dos parâmetros que interessam à determinação dessa carga admissível.

Quadro 5: Determinação do valor W_{adm} .

| Maqueta | P_w (N/m^2) | A_i (m^2) | W_{teste} (N) | C_d | C_a | W_{adm} (N) |
|---------|---------------------------------|------------------------|-----------------|-------|-------|---------------|
| 1 | 1.78×10^3 | 0.23 | 409.4 | 0.9 | 1 | 245.64 |
| 2 | 1.33×10^3 | 0.23 | 305.9 | 0.9 | 1 | 183.54 |
| 3 | 1.33×10^3 | 0.23 | 305.9 | 0.9 | 1 | 183.54 |
| 4 | N/A | 0.23 | N/A | 0.9 | 1 | N/A |
| 5 | N/A | 0.23 | N/A | 0.9 | 1 | N/A |

N/A – Não atribuível; P_w – pressão máxima retirada do programa de cargas (quadro 4);

A_i – área de influência de cada fixação da junta de sobreposição central (250 mm \times 900 mm);

$W_{teste} = P_w \times A_i$; C_d – factor estatístico; C_a – coeficiente geométrico; $W_{adm} = W_{teste} \times C_d \times C_a / 1.5$

3.3 Discussão dos resultados

Face à reduzida resistência à pelagem das juntas de sobreposição dos sistemas formados por membranas de betume-polímero APP, o modo de rotura mais esperado costuma ser, de facto, o mencionado atrás. Assim, na tentativa de que as juntas de sobreposição funcionem o mais possível ao corte, ao invés da pelagem, sugere-se que o posicionamento das fixações seja o mais afastado possível do bordo da membrana inferior, como se indica esquematicamente na figura 1.

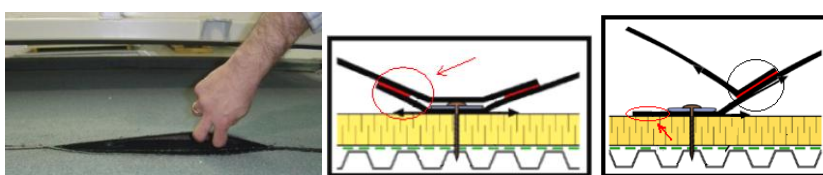


Figura 1: Rotura por pelagem (à esquerda); exemplo de funcionamento ao corte (ao centro) e à pelagem (à direita), adaptado de [6].

A observação das zonas de sobreposição onde ocorreu a rotura dos sistemas das maquetas 1 a 4 permite concluir que a dessolidarização das juntas ocorreu tanto na interface membrana-membrana como na interface betume-armadura. É de notar que este último modo de rotura não estará tão relacionado com o processo de execução das juntas, mas antes com o processo de fabrico da membrana.

A rotura do sistema da maqueta 5 para valores bastante baixos de carga (vd. quadro 5) é explicável pelas temperaturas relativamente elevadas que se verificaram na nave de ensaios durante o ensaio; como é sabido, a resistência à pelagem deste tipo de membranas é bastante afectada por este parâmetro climático. A não atribuição de uma carga admissível, W_{adm} , para este sistema e para o da maqueta 4, deveu-se ao facto da rotura ter ocorrido durante o primeiro ciclo de cargas (300 N), sendo portanto naturalmente nulo o valor de carga anterior a este ciclo. No entanto, na maqueta 4 a rotura ocorreu já no final do primeiro ciclo de carregamento, o que mostra naturalmente uma maior capacidade resistente do respectivo sistema em relação ao sistema da maqueta 5.

4 Campo de aplicação dos sistemas ensaiados

A partir dos valores de W_{adm} obtidos, e tendo em conta os valores da acção do vento em coberturas previstos na regulamentação [4,5], procurou-se definir o campo de aplicação dos sistemas ensaiados para duas tipologias diferentes de edifícios: ~~um edifício habitacional~~ e um edifício industrial/comercial e um edifício habitacional.

Para cada um dos tipos de edifícios referidos, fixaram-se as dimensões em planta (~~150 m × 75 m~~ e 25 m × 15 m e 150 m × 75 m, respectivamente), tendo-

se analisado a influência dos seguintes parâmetros na aplicabilidade dos sistemas testados: altura do edifício (10-20 m e 30-40 m nas tipologias industrial/comercial e residencial, respectivamente); altura das platibandas (0, 0.5, 0.9 e 1.2 m); tipos de aberturas; zonamento territorial (A e B) e rugosidade aerodinâmica do solo (I e II).

Os resultados obtidos no estudo realizado mostraram que, independentemente da localização no território e da rugosidade aerodinâmica do solo, nenhum dos sistemas é aplicável a edifícios com altura igual ou superior a 20 m. Por outro lado, dos sistemas ensaiados, apenas o que corresponde à maqueta 1 é passível de ser aplicado em coberturas de edifícios de tipologia industrial/comercial, localizados nas zonas A ou B (mas apenas com rugosidade do solo do tipo I), e com alturas máximas variáveis entre 11 m e 19 m, em função do tipo de aberturas e fachadas dominantes.

5 Conclusões

Dos resultados obtidos na campanha experimental, com base nos quais foi definido o campo de aplicação de sistemas de impermeabilização fixados mecanicamente ensaiados, são de salientar os seguintes aspectos:

1. A espessura do isolamento térmico não parece afectar de forma perceptível a resistência, pelo menos para a gama de espessuras testada;

2. Nas membranas de betume-polímero APP a rotura dá-se em geral por pelagem das juntas de sobreposição e, por isso, os tipos e a gramagem das armaduras, a espessura ou massa das membranas, [as características das fixações](#) e o número de membranas aplicadas não constituem parâmetros que influenciam de modo perceptível a resistência dos sistemas;

3. A utilização de sistemas de camada dupla, apesar de fornecer uma maior resistência às agressões a que a membrana possa ser sujeita, não contribui para aumentar a resistência à acção do vento;

4. As membranas de betume-polímero APP são bastante sensíveis ao efeito do calor, pelo que a ocorrência de ventos fortes em simultâneo com temperaturas do ar elevadas constituirá um risco acrescido ao desempenho destes sistemas.

6 Bibliografia

- [1] Lopes, J. Grandão. *Critérios simplificados para a avaliação de sistemas de impermeabilização de coberturas fixados mecanicamente*. 3º Congresso Nacional CONSTRUÇÃO 2007, Coimbra, Dezembro de 2007.
- [2] Silva, R.R. *O efeito da sucção do vento em coberturas em terraço. Aplicação experimental ao caso de sistemas de impermeabilização fixados mecanicamente*. Dissertação de Mestrado em Eng. Civil. [Lisboa: IST](#), 2008.

- [3] European Organisation for Technical Approvals (EOTA). *Guideline for European technical approval of systems of mechanically fastened flexible roof waterproof membranes*.; ~~Brussels:ETAG-06~~, EOTA, ~~Brussels~~, 2000. [ETAG 006](#).
- [4] D.L. n° 235/83 de 31 de Maio. *R.S.A.*; ~~Lisboa~~: INCM, ~~Lisboa~~, 1983.
- [5] CEN. *ENV 1991-1-4:2005 Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions – wind actions*, Brussels; ~~CEN~~, 2005.
- [6] Baskaran, A.; Smith, T.L. *A guide for the wind design of mechanically attached flexible membrane roofs*. ~~Ottawa~~: NRCC ~~(Canada)~~, IRC, 2005.