PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE FISSURAS ENTRE O SUBSTRATO E O SISTEMA DE IMPERMEABILIZAÇÃO ADERIDO

BRAUN, Julie Anne dos Santos (1); SANTOS, Felipe Pereira (2) MONTE, Renata

(1) Mestranda, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, julie.braun@usp.br;

(2) Mestrando, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, felipe.pereira.santos@usp.br

(3) Doutora, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, renata.monte@usp.br

Resumo: *Os sistemas de impermeabilização implantados em edificações visam proporcionar estanqueidade aos substratos sujeitos a ação de fluídos. Porém, uma das mais frequentes falhas é a perda da sua característica de suportar as fissuras transmitidas pelo substrato sobre o qual ele é aderido. Este trabalho visa propor uma metodologia de ensaio para quantificar a capacidade de diferentes sistemas de impermeabilização aderidos de suportar as fissuras do substrato. O método proposto compara as aberturas de fissura no substrato e na superfície da impermeabilização, sendo a última medida com análise de imagem digital 2D (DIC). Os substratos utilizados são cubos de concreto com fibras para que a abertura de fissura ocorresse de maneira controlada. Nesses substratos foram aplicadas membranas impermeabilizantes com capacidades de deformação, declaradas pelo fabricante, distintas. Os resultados permitiram quantificar uma diferença entre a abertura de fissura no substrato e nas membranas, indicando a composta por copolímeros acrílicos (cinza) mais resistente a fissuração que a composta por acrilatos puros (branca). Esses resultados estão consistentes com a característica de alongamento destes materiais, pois a de base copolímeros acrílicos tem maior capacidade de deformação que a de base acrilatos puros.*

Palavras-chave: Sistemas de impermeabilização, *Membranas impermeabilizantes, Capacidade de deformação, Crack Bridging, Análise de Imagem Digital (DIC).*

Área do Conhecimento: *Construção Civil – Materiais e Componentes de Construção, Qualidade e desempenho de produtos e sistema construtivos.*

1 INTRODUÇÃO

Os substratos sobre os quais são aplicados os sistemas de impermeabilização nas edificações são em sua maioria em concreto ou alvenaria (estrutural ou vedação). Estes elementos são regularmente sujeitos a fissuração diante dos efeitos do gradiente térmico e da baixa resistência à tração dos materiais componentes, principalmente dos concretos (ABNT NBR 6118, 2018). O surgimento destas fissuras é uma das maiores causas para a entrada de água (JAERGERMANN, C.; PUTERMAN, M, 1987), impactando na durabilidade dos componentes construtivos, pois facilita o acesso de agentes agressivos (DELUCCHI, M. et AL, 2002).

Diante disso, percebe-se que os sistemas que estejam aderidos às estruturas devem ser capazes de suportar os efeitos da movimentação que provoca fissuras no substrato. Para os sistemas de impermeabilização aderidos, o conhecimento da capacidade de resistir a essa fissuração pode ser utilizado como instrumento para a especificação do material mais adequado para determinada aplicação, bem como a necessidade de utilização de reforço para adequar seu comportamento. A ausência de metodologias para avaliar quantitativamente o comportamento de sistemas de impermeabilização resulta em dificuldade de estabelecer parâmetros de desempenho para seleção e controle desses sistemas.

Internacionalmente, um método de ensaio denominado *Crack-bridging* vem sendo adotado para medir a capacidade de um sistema de impermeabilização acomodar a fissuração do substrato. O termo *crack-bridging* é definido na norma americana ASTM C1305/C1305M como “a capacidade de uma membrana impermeabilizante manter a sua integridade quando uma fissura pré-existente no substrato é transmitida para ela”. Neste ensaio, a transferência de fissura proveniente de tensões do substrato para a camada

subsequente aderida a ele é avaliada considerando a primeira abertura de fissura visível através da membrana. O método da norma ASTM 1305/C1305M avalia sistemas de impermeabilização expostos a temperaturas negativas, condição frequente na América do Norte. Além disso, o resultado do ensaio é expresso de forma qualitativa com análise visual de fissura passante ou não para a camada de material impermeabilizante.

Nesse contexto, o trabalho propõe avaliar uma metodologia experimental que forneça subsídios quantitativos para comparar o comportamento de sistemas de impermeabilização aderidos quanto a capacidade de suportar as fissuras provenientes do substrato.

2 METODOLOGIA

No trabalho foi avaliado um método de ensaio para quantificar a capacidade de sistemas de impermeabilização aderidos de suportar fissuras provenientes do substrato. No estudo experimental foram avaliadas duas membranas impermeabilizantes de base acrílica. O substrato utilizado foi de concreto com fibras para que a abertura de fissura fosse controlada e este recebeu um entalhe no topo por onde o esforço mecânico para abrir a fissura foi aplicado. A abertura de fissura do substrato foi medida na região do entalhe em uma das faces por meio de um transdutor LVDT (*Linear Variable Differential Transformer Devices*) instalado com a utilização de massa adesiva de base epóxi. Na face oposta, onde foi aplicada a membrana, as deformações e abertura de fissura foram acompanhadas por análise de imagem em software de correlação de imagem digital (*Digital Image Correlation- DIC*). Para a utilização desta metodologia, foi realizada a preparação da face com pintura da base em branco e aplicação de um padrão de pontos em preto de tamanho proporcional à resolução da câmera utilizada. Com isto, cada ponto representou entre 4 a 8 pixels da imagem. A captação das imagens foi realizada com uma câmera digital com lentes de distância focal 55 mm, resolução de 2 megapixels e captação de 2 imagens por segundo. No pós-processamento das imagens, o comportamento de deformação foi avaliado com intervalos de tempo (Δt) de 3 segundos.

2.1 Materiais

O substrato de concreto com fibras de aço possui formato cúbico com arestas de 150 mm. A opção de adição das fibras foi para que a abertura de fissura ocorresse de forma controlada. Os sistemas impermeabilizantes adotados foram uma membrana acrílica a base de copolímeros acrílicos sem cimento, e membrana de acrilatos puros. A primeira é indicada para “estruturas em contato constante ou eventual com água” (ABNT NBR 15885, 2010) como áreas frias, juntas de fachada, reservatórios e varanda podendo receber revestimento sobre ela, enquanto a segunda é destinada as “superfícies que devem ficar expostas às intempéries” (ABNT NBR 13321, 2008) como lajes, marquises, canaletas e alvenaria externa, pois é resistente aos raios UV e ao tráfego eventual para manutenção. O Quadro 1 apresenta as características das membranas informadas pelo fabricante.

Quadro 1 - Características das membranas utilizadas

Características	Membrana de copolímeros acrílicos sem cimento (NBR 15885)	Membrana de acrilatos puros (NBR 13321)
Cor	cinza	branca
Densidade (g/cm³)	1,45	1,40
Alongamento na ruptura (%)	225	200
Secagem ao toque (h)	2	4
Consumo (kg/m²)	1,0	0,5 (primeira demão)
		0,7 (segunda demão)
Espessura total seca (mm)	0,50 a 1,00	0,50 a 1,00
Estado para aplicação	Líquida monocomponente	Líquida monocomponente

Fonte: Ficha Técnica MC Bauchemie (Adaptado)

2.2 Preparação dos corpos de prova

Os substratos de concreto receberam um entalhe no topo, produzido com o uso de uma serra circular de bancada. Em uma face lateral, ortogonal ao entalhe, foram aplicadas as camadas da membrana. A aplicação dos materiais seguiu as instruções indicadas no manual técnico do fabricante e permaneceram a temperatura ambiente durante 28 dias para cura. A Figura 1a ilustra o substrato com a membrana de acrilatos puros (branca) aplicada e a Figura 1b o substrato com a membrada de copolímeros acrílicos.

Figura 1 – a) substrato com a membrana de acrilatos puros aplicada; b) substrato com a membrana de copolímeros acrílicos aplicada



(a) Fonte: os autores (2019)



(b) Fonte: os autores (2019)

Na membrana cinza, para possibilitar que suas deformações e aberturas de fissura fossem medidas na superfície através da correlação por imagem foi necessária a aplicação de uma fina camada de tinta branca do tipo spray. Finalizada essa etapa, foi utilizado um carimbo de dimensões 150 mm x 150 mm para marcação da malha de pontos sobre cada membrana.

2.3 Procedimento de ensaio

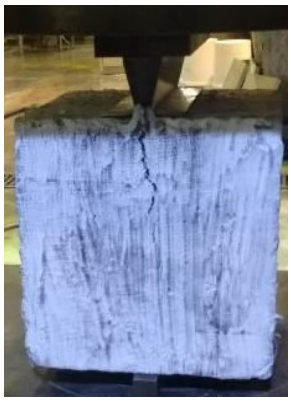
Os substratos foram posicionados em uma máquina de ensaios universal, com a utilização de uma cunha metálica para aplicação do esforço contínuo de abertura no entalhe. Os ensaios foram realizados com velocidade de deslocamento vertical constante de 0,5 mm/min.

Um transdutor de deslocamento linear (LVDT) foi fixado na face oposta à da membrana a fim de medir a abertura de fissura do substrato (Figura 2a). A captação das imagens nas faces onde as membranas foram aplicadas foi realizada por uma câmera com resolução de 2MP e processamento de 2 imagens por segundo.

Figura 2- a) Face do substrato sem a membrana com LVDT; b) Face do substrato com a membrana filmada durante o ensaio



(a) Fonte: Os autores (2019)

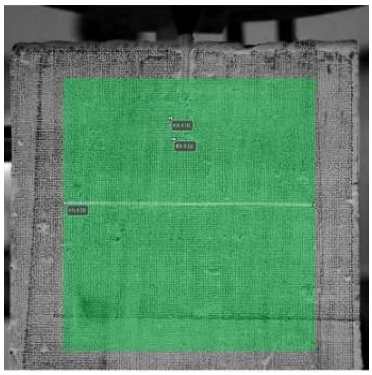


(b) Fonte: Os autores (2019)

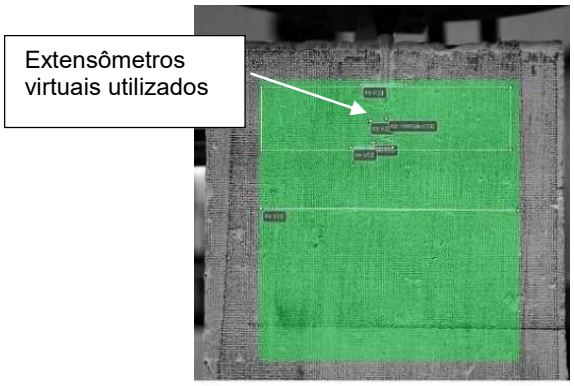
Através das ferramentas no software de correlação de imagem VIC 2D inseriu-se extensômetros virtuais na superfície impermeabilizada. Estes sensores registram deslocamentos de pontos na imagem medindo suas deformações durante o ensaio (CASTILLO, E. et all, 2019).

Inicialmente, três extensômetros virtuais foram inseridos na superfície das membranas (Figura 3a). Porém, após análise dos valores de deformação obtidos percebeu-se que a disposição geométrica destes extensômetros não proporcionava uma comparação adequada com a fissuração do substrato medida na outra face por meio do LVDT. Diante disso, no software de análise foram inseridos outros dois extensômetros em posições que possibilitassem quantificar as deformações na camada de impermeabilização na mesma região da medida do LVDT (Figura 3b).

Figura 3 – a) Malha selecionada no software com três extensômetros virtuais; b) Malha selecionada no substrato com cinco extensômetros virtuais



(a) Fonte: os autores (2019)



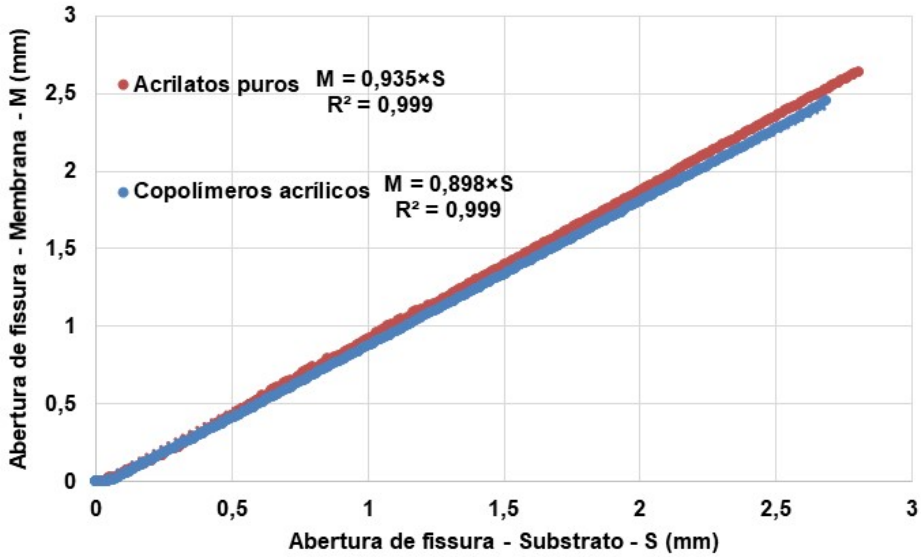
(b) Fonte: os autores (2019)

Os extensômetros virtuais mais próximos da região da fissura, indicados na Figura 3b, foram adotados para a comparação com o LVDT que realizava medida da abertura de fissura do substrato.

3 RESULTADOS E ANÁLISES

Com os dados obtidos no estudo experimental foi possível correlacionar as medidas de abertura de fissura medidas no LVDT posicionado no substrato e a abertura de fissura medida pelo extensômetro virtual da superfície da membrana aderida, conforme mostra o gráfico da Figura 4.

Figura 4 - Correlação entre as aberturas de fissura medidas na membrana e no substrato



Fonte: Os autores (2019)

A comparação entre os extensômetros real (LVDT) e virtual (DIC) apresentada na Figura 4 permitiu avaliar o comportamento das membranas frente a fissuração do substrato. Primeiramente, pode ser verificado que ambas as membranas fissuraram, mas resultaram aberturas de fissura ligeiramente inferiores

que as apresentadas pelo substrato. As equações das retas indicam que a membrana composta por acrilatos puros resultou fissura de abertura 6,5% menor que a do substrato, enquanto a membrana de copolímeros acrílicos sem cimento foi cerca de 10% menor. Esses resultados são coerentes com a característica de alongamento na ruptura das membranas, que são de 200% e 225%, respectivamente (Quadro 1).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia por correlação de imagens possibilita a fácil identificação do surgimento de fissuras e seu monitoramento com maior precisão no pós-processamento. Através de sua aplicação constatou-se que é possível avaliar a deformação de um sistema de impermeabilização aderido. Ainda que as membranas utilizadas nesse estudo tivessem pequena diferença em termos de capacidade de deformação, o método possibilitou diferenciar os comportamentos.

Os parâmetros obtidos nessa caracterização poderão auxiliar os projetistas de impermeabilização no momento de especificação dos materiais por possibilitar selecionar os mais adequados as solicitações do substrato. Além disso, o ensaio proposto pode auxiliar na definição de critérios quantitativos de desempenho de sistemas de impermeabilização aderidos que pode ser adotado pela norma de desempenho.

Na continuidade da pesquisa outros materiais utilizados em sistemas de impermeabilização mais rígidos ou mais deformáveis serão avaliados, inclusive aqueles que requerem materiais estruturantes, como fibras e telas. Além disso, uma amostragem maior será utilizada para proporcionar maior confiabilidade nos dados obtidos. Será avaliado também a mesma metodologia nas duas faces do corpo de prova, tanto a impermeabilizada quanto a de concreto, para verificação da diferença entre as duas formas de medição.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-6118: Projeto de Estrutura de Concreto- Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-15885. Membrana de polímero acrílico com ou sem cimento para impermeabilização. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR- 13321. Membrana acrílica para impermeabilização. Rio de Janeiro, 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) C1305/C1305M-16. Standard Test Method for Crack Bridging Ability of Liquid-Applied Waterproofing Membrane. United States.

BAUCHEMIE, MC. DF 9- Membrana a base de copolímeros acrílicos sem cimento para impermeabilização de áreas frias e varandas. Disponível em: <https://www.mc-bauchemie.com.br/assets/downloads/products/br/fichas_tecnicas/DF%209.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2019.

BAUCHEMIE, MC. DF8- Membrana altamente flexível de acrilatos puros. Disponível em: < https://www.mc-bauchemie.com.br/assets/downloads/products/br/fichas_tecnicas/DF%208.pdf >. Acesso em: 15 jan. 2019.

CASTILLO, E. et al. Digital image correlation (DIC) for measurement of strains and displacements in coarse, low volume-fraction FRP composites used in civil infrastructure. Composite Structures, Vol. 212, 2019, pp. 43–57.

DELUCCHI, M. et al. Study of the crack-bridging ability of organic coatings for concrete: analysis of the mechanical behavior of unsupported and supported films. Progress in Organic Coatings, Vol. 44, 2002, pp. 261–269.

JAERGERMANN, C.; PUTERMAN, M. The Evaluation of the Crack-bridging ability of exposed roof coatings. Materials and Structures/Matériaux et Constructions, Vol. 20, 1987, pp. 403-407.

SOLUTIONS, Correlated. VIC-2D v6 Full-Field Deformation Measurement System. Disponível em: <https://www.correlatedsolutions.com/wp-content/uploads/2013/10/VIC-2D-Datasheet.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2019.