

XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

CONDIÇÕES DE CONTORNO LATERAL DOS CORPOS DE PROVA SUBMETIDOS AO ENSAIO DE AÇÃO DE CALOR E CHOQUE TÉRMICO¹

FONTENELLE, João Heitzmann (1); MITIDIERI Filho, Cláudio Vicente (2)

(1) IPT, e-mail: jhfonte@ipt.br; (2) IPT, e-mail: claumit@ipt.br

RESUMO

O ensaio de ação de calor e choque térmico é um método utilizado para a avaliação de um dos critérios de desempenho de durabilidade de sistemas de vedações verticais externas (SVVE), conforme definido na ABNT NBR 15.575-4 (2013). O objetivo deste ensaio é avaliar a integridade da parede de fachada e seus revestimentos após sucessivos ciclos de exposição à ação de calor e choque térmico. Caso as bordas laterais dos corpos de prova dos SVVE sejam vinculadas, com restrição aos deslocamentos, podem ser introduzidas tensões sobre o corpo da vedação, maiores que no caso de não haver restrição de movimentação lateral. Apesar desta constatação, verifica-se que de acordo como é realizada esta contenção, pode-se não reproduzir adequadamente a situação proporcionada pela continuidade da parede verificada em situação de uso. O objetivo deste artigo é discutir as formas de vinculação do corpo de prova no ensaio de ação de calor e choque térmico, considerando uma "simulação" das condições de uso em laboratório. Para atingir este objetivo, foram feitas prospecções das reações que a continuidade do corpo de prova proporcionaria em sua borda, considerando-se o efeito de expansão e de retração para cada eixo de movimentação.

Palavras-chave: Choque térmico. Durabilidade. Avaliação de sistemas de vedação vertical externa (SVVE). Norma de desempenho.

ABSTRACT

The heat and thermal shock test is a method for evaluation of the durability performance of façade systems as defined by the NBR 15575-4 (2013). The purpose of this test is to evaluate the façade and its finishes integrity after successive exposures to heat and thermal shock. In case the side edges of the wall specimens are immovable with restriction to horizontal displacements, stresses may be introduced on the partition wall body higher than in case of no side restriction. In spite of this, depending on how this restriction works, it is possible that the responses do not reproduce adequately the situation of the reactions of the wall continuity. The purpose of this paper is to evaluate the requirements and the connecting ways of the specimens, in the heat and thermal shock test, considering a "simulation" of the conditions of use in the laboratory. To achieve this goal, analyses of the reactions that the continuity of the specimen would provide on its edge were made. The effect of expansion and retraction for each direction axis was made separately.

Keywords: Thermal chock test. Durability. Façade system evaluation. Performance Standard.

¹ FONTENELLE, João Heitzmann; MITIDIERI Filho, Cláudio Vicente. Condições de contorno lateral dos corpos de prova submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O ensaio de ação de calor e choque térmico é um método utilizado para a avaliação de um dos critérios de desempenho de durabilidade de sistemas de vedações verticais externos (SVVE), conforme definido na ABNT NBR 15.575-4, Edificações habitacionais: desempenho, parte 4, publicada em 2013.

O objetivo deste ensaio é avaliar a integridade da parede de fachada e seus revestimentos após sucessivas exposições à ação de calor e variações bruscas de temperatura, denominadas de choque térmico. Estas mudanças de temperatura proporcionam alterações do teor de umidade, que conjuntamente, geram variações volumétricas nos materiais que constituem as vedações externas, de acordo com os índices de variação térmica e higroscópica desses materiais, e das restrições impostas pelas vinculações com a estrutura da edificação.

1.1 Os métodos para o ensaio de ação de calor e choque térmico

Os métodos de ensaio para a avaliação da resistência à ação de calor e choque térmico em vedações verticais podem ser encontrados em diversas normas técnicas, tanto nacionais quanto internacionais, tais como AS/NZS 2908-2: Cellulose-cement products Part 2 – Flat sheets, (Standards Australia International, 2000); ASTM C1185-08: Standard Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards, (ASTM, 2008); ETAG 004: Guideline for European technical aproval of External Thermal Isulation Composite Systems with rendering (EOTA, 2008); ISO 8336: Fibre-cement flat sheets – Product specification and test metholds, (ISO, 2009); ABNT NBR 15.498: Placas de fibrocimento sem amianto, Requisitos e métodos de ensaio (ABNT, 2014); ABNT NBR 15575-4: Desempenho Parte 4: Requisitos para sistema de vedações verticais internas e externas – SVVIE (ABNR, 2013).

O princípio geral que embasa os métodos de ensaio de choque térmico é constituído pela repetição de um número determinado de ciclos, estruturados basicamente por:

- Elevação gradual da temperatura superficial até um nível pré-determinado, denominado de temperatura na fase aquecida;
- Manutenção sob essa condição de aquecimento (nível pré-determinado) por um período de tempo;
- Resfriamento da superfície por fluxo de água, simulando uma chuva, até atingir o parâmetro definido, seja por tempo ou pela temperatura da superfície.

A diferença entre os métodos de ensaio está em uma maior ou menor especificação das variáveis, ou dos parâmetros considerados para controle dessas variáveis. Por exemplo, podem-se mencionar normas que definem a vazão de água de aspersão, como a ETAG 004, ou a ASTM C 1185-08, e outras que não definem esta vazão, como a própria ANBT NBR 15.575-4

(2013). Há diferenças entre métodos para medição de temperatura, ou seja, existem métodos que recomendam a medida de temperatura superficial diretamente da superfície do corpo de prova, como a ETAG 004 e a ANBT NBR 15.575, e normas que recomendam o emprego de um painel negro de referência, com verificado na ASTM C 1185-08 e na ABNT NBR 15.498 (2014). Ainda há diferenças, entre normas técnicas, do processo de controle da variável para a fase de resfriamento do corpo de prova. Algumas especificam o tempo de aspersão de água, como a ASTM C 1185-08 e a ETAG 004 (2008), enquanto outras especificam a temperatura que a superfície deve atingir para o término desta fase, como a ANBT NBR 15.575-4 (2013). Quanto ao número de ciclos, encontram-se valores que partem de 10 ciclos (ABNT NBR 15.575-4) até 80 ciclos (ETAG 004), com temperaturas que variam de 60°C (ASTM C 1185-08) a 80°C (ABNT NBR 15.575-4).

Em nenhuma das normas mencionadas foram verificadas referências explícitas que abordem a adoção de um dispositivo específico para contenção lateral dos corpos de prova, simulando a continuidade da parede. Existem referências genéricas, tal como verificada na ASTM C1185 (ASTM, 2008), que menciona que a montagem de uma estrutura de teste deve ser feita de acordo com as recomendações do fabricante e que simule a rigidez de uma instalação em canteiro. Entretanto, encontram-se na literatura artigos recentes que descrevem divergências entre os resultados obtidos no ensaio acelerado em laboratório e o verificado pelo acompanhamento de um envelhecimento natural, justificando o estudo de tais dispositivos para a contenção lateral, e explicitando as eventuais influências nos resultados.

Em Oliveira et al (2014), descreve-se a comparação de alguns ensaios realizados com e sem contenção lateral, comparando os resultados obtidos com o envelhecimento verificado em um protótipo exposto em situação de uso. O sistema construtivo avaliado é constituído por *steel frame* com placas cimentícias na face externa. Apesar de ainda não haver uma definição clara do tipo de contenção lateral, os autores concluem que a realização do ensaio com alguma restrição a expansão demonstrou maior similaridade com a degradação verificada em situação de envelhecimento natural.

Em Lorenzi (2015) verifica-se a proposta de aplicar o confinamento das extremidades do corpo de prova, como procedimento para simular a situação de contorno mais semelhante às condições reais de uso. A autora propõe uma contenção feita por um quadro de apoio, tal como um pórtico metálico, ajustável nas laterais e na parte superior de modo a restringir uma possível expansão de seus limites.

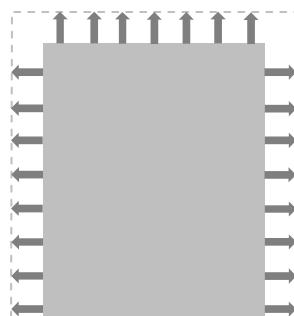
Ressalta-se ainda que a norma de desempenho ABNT NBR 15.575 procurou definir um método de ensaio geral, destinado à avaliação de sistemas construtivos com características distintas, seja de materiais, massa específica, espessura, e existência ou não de juntas entre componentes que constituem a vedação vertical. Nas outras normas técnicas verificadas na literatura, os métodos para ensaio da ação de calor e choque térmico são específicos

para determinados sistemas construtivos, com características similares de massa, espessura e dilatação térmica, tais como a ASTM C1185-08: Standard Methods for Sampling and Testing Non-Asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and Clapboards, (ASTM, 2008) para ensaios de sistemas de fechamentos com placas cimentícias, ou a ETAG 004: Guideline for European technical aproval of External Thermal Isulation Composite Systems with rendering (EOTA, 2008) para sistema em *External Thermal Insulation Composite System - ETICS*.

É bem provável que para alguns sistemas, com movimentações relativamente pequenas por efeito da variação de umidade e temperatura, a contenção não seja um fator essencial. Entretanto, para outros sistemas, supõe-se que o corpo de prova possa apresentar comportamento diferente se vinculado ou não lateralmente, ou seja, a contenção da variação dimensional pode resultar em uma maior relevância no resultado final do ensaio, particularmente se os valores dos coeficientes de variação por efeito de umidade e temperatura forem elevados.

Uma análise do fenômeno físico da expansão proporcionado pela variação de temperatura pode justificar a adoção de contenção lateral. Sem contenção lateral, os limites do corpo de prova podem se expandir para além da dimensão verificada em temperatura ambiente (figura 1), ou contrair para aquém da dimensão verificada em uma situação de equilíbrio. Entretanto, a expansão ou contração são limitadas pela existência da continuidade da parede, além de proporcionar uma situação com maiores tensões do que as verificadas na situação sem limitação das deformações dos limites do corpo de prova.

Figura 1 – Esquematização da variação do perímetro de um corpo de prova sem contenção superior e lateral



Fonte: Fontenelle (2016)

Contudo, a adoção de dispositivos rígidos de contenção lateral e de vínculos entre estes dispositivos e a borda lateral do corpo de prova podem também proporcionar distorções do resultado verificado em situação de uso.

Além da expansão por dilatação térmica, deve-se levar em conta que a maioria dos sistemas construtivos adotados são constituídos por materiais porosos e, portanto, estão sujeitos a expansões e retracções por variação de

umidade. Em alguns casos, dependendo do material com que é constituído, este fenômeno de variação dimensional por umidade pode ser de magnitude superior ao verificado por variação de temperatura do material, além de ocorrerem em situações contraditórias, ou seja, o aumento de temperatura leva à expansão por dilatação térmica, que pode levar à retração por perda de umidade.

Deste modo, pode ocorrer em alguns casos a retração do corpo de prova durante a fase de aquecimento, como a variação dimensional registrada por Fontenelle (2012) durante ciclo de choque térmico em sistema construtivo constituído por placas cimentícias. Nestes casos, a adoção de contenção apenas para a situação de expansão do corpo de prova pode não ser suficiente, sendo necessária a adoção simultânea de um mecanismo que permita a contenção da retração.

A aplicação de dispositivos rígidos de contenção pode afetar a amplitude do deslocamento da parede, decorrente da variação diferencial da expansão entre as superfícies interna e externa do corpo de prova. Essa diferença de expansão entre as faces, que pode proporcionar o deslocamento horizontal (flecha horizontal) do SVVE, seria contida pelo vínculo com o dispositivo de contenção lateral, posicionados a uma distância menor que a verificada entre dispositivos de enrijecimento em situação de uso, reduzindo o valor da fecha em comparação com uma situação de maior distanciamento desses dispositivos.

Em função dos questionamentos acima levantados, este artigo se propõe a discutir, de forma preliminar, a adoção de dispositivos de contenção lateral do corpo de prova durante o ensaio de ação de calor e choque térmico, de modo que restrinja tanto a expansão quanto a retração de sua dimensão original, de acordo com as limitações impostas pela continuidade do sistema de vedação vertical. Para isso, são identificadas reações que a eventual continuidade da parede pode exercer sobre a borda do corpo de prova, tratando-se de uma parede com maiores dimensões. Estas hipóteses conceituais foram feitas considerando a expansão ou retração do material que constitui o corpo de prova e analisando separadamente o efeito que esta continuidade proporcionaria em cada um dos três eixos possíveis de variação dimensional, ou seja, no sentido vertical, horizontal paralelo à face e horizontal perpendicular à face.

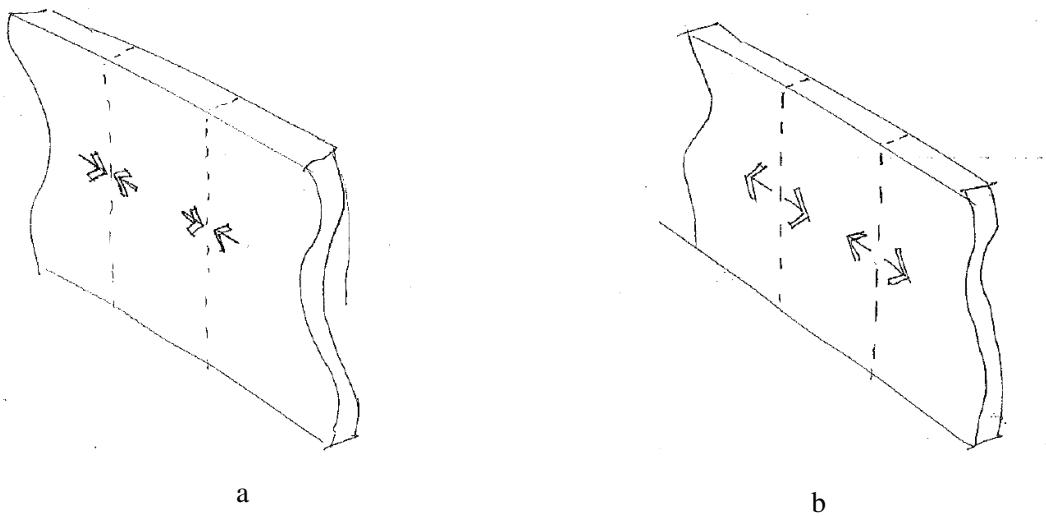
2 RESTRIÇÃO À VARIAÇÃO DIMENSIONAL DO CORPO DE PROVA PROPORCIONADA PELA CONTINUIDADE DA PAREDE

2.1 Restrição no sentido horizontal paralelo à face

A restrição no sentido horizontal paralelo à face da parede, ou simplesmente no sentido do comprimento do corpo de prova, é o sentido mais comumente considerado pelos autores que abordam a questão da necessidade de uma contenção lateral, considerando que adjacente às bordas laterais deste corpo de prova existe a continuidade da parede,

conforme indicado na figura 2. A linha tracejada representa o limite fictício do corpo de prova, em meio a uma vedação vertical contínua. No caso de uma variação de temperatura ou umidade, tanto a expansão quanto a retração dos limites desta área que representa o corpo de prova seriam limitadas. A figura 2-a ilustra, por exemplo, restrições à expansão e o caso da retração é ilustrado pela figura 2-b, esquematicamente.

Figura 2 – Restrições às variações dimensionais na borda lateral do corpo de prova pela continuidade da parede no sentido do seu comprimento; 2-a: Situação de expansão; 2-b: Situação de retração.



Fonte: Fontenelle (2016)

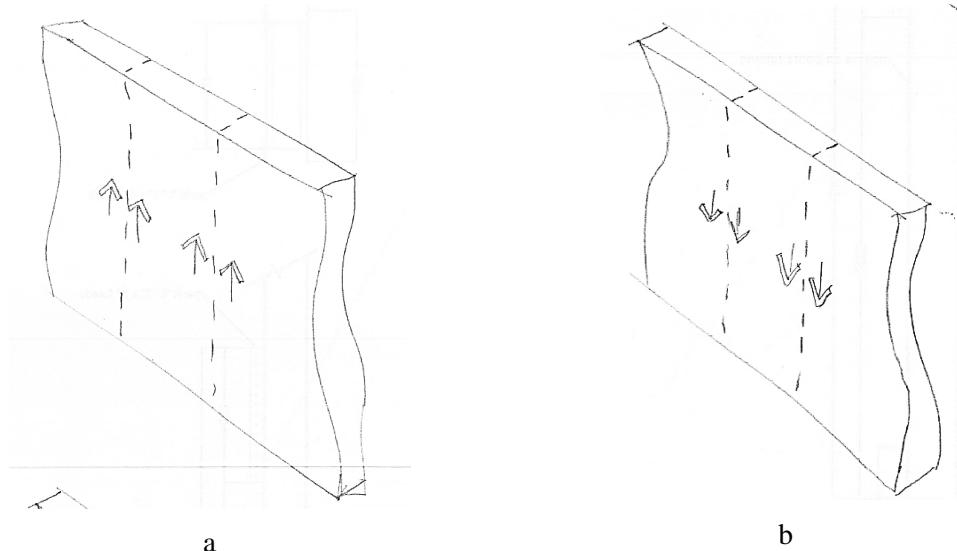
Em uma parede de uma edificação real, obviamente os fenômenos podem sobrepor-se e as deformações podem ocorrer de forma diferente, dependendo das áreas sujeitas ao fenômeno da ação do calor e do choque térmico. As variações também podem ocorrer dependendo dos vínculos existentes com outros elementos construtivos, tais como encontros de paredes ou aberturas. De qualquer modo, pode haver diferença, particularmente para produtos com altos índices de variações por efeito de umidade e temperatura, sendo que a adoção desta condição de contorno que restrinjam essas variações dimensionais pode ser considerada a situação mais crítica possível de ocorrer em um sistema de vedação.

2.2 Restrição à variação dimensional no sentido vertical

A variação dimensional no sentido vertical, isto é, da altura da parede, proporcionada pela variação da temperatura dos materiais que constituem a vedação ou da variação de umidade decorrente desta variação de temperatura, concorrerá, na prática, com variações devidas a outros fatores, como as cargas que atuam sobre esta parede: o peso próprio, a ação do vento e ações acidentais, no caso de vedações não estruturais, acrescidas ainda das cargas de lajes e coberturas, no caso de vedações com função estrutural.

Analizando-se o efeito exercido pela continuidade da parede, observa-se que o comportamento da área adjacente será o mesmo que ocorre na área delimitada como a representativa do corpo de prova. Isto porque a variação que ocorrer sobre esta área, seja de temperatura como umidade, ocorrerá também nas paredes adjacentes. Portanto, a continuidade lateral do corpo de prova não exerce nenhuma restrição quanto à variação dimensional neste sentido, seja durante a expansão ou retração da parede (figura 3).

Figura 3 – Restrições às variações dimensionais da borda lateral do corpo de prova pela continuidade da parede no sentido da altura; 3-a: Situação de expansão; 3-b: Situação de retração.



Fonte: Fontenelle (2016)

Observa-se que, conforme a norma ABNT NBR 15575 (ABNT, 2013), a dimensão da altura é a maior dimensão do corpo de prova e, portanto, tende a ser a que proporcionará a maior variação dimensional em números absolutos. Conforme mencionado, a efetiva variação é resultante da somatória de outras forças. Atualmente, no ensaio em laboratório, não se considera a simulação da atuação simultânea das cargas permanentes e acidentais. Como o objetivo deste artigo é a definição de parâmetros da restrição lateral, considera-se que esta contenção lateral não pode afetar a variação dimensional no sentido vertical, ou seja, esse dispositivo de contenção lateral não deve impor restrição ao movimento vertical. Nota-se que a adoção de uma restrição rígida que possua vínculos de engastamento ao corpo de prova, não proporciona esta mobilidade.

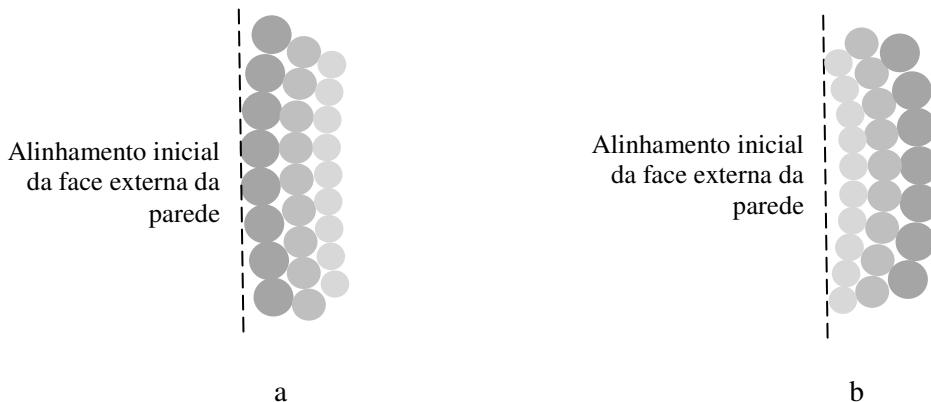
2.3 Restrição no sentido horizontal perpendicular à face

Quando se submete a superfície de uma vedação vertical, constituída por um material com baixa condução térmica e com uma espessura significativa, sob uma fonte radiante, como a exposição aos raios solares, ocorre um aquecimento diferenciado na seção da mesa, o qual, por sua

vez, pode proporcionar a ocorrência de uma flecha nesta face, ou seja, o deslocamento da parte central da parede no sentido perpendicular à sua face. Este fenômeno ocorre geralmente em direção ao exterior do edifício, quando o efeito dilatação decorrente do aumento da temperatura for preponderante ao da retração em função da perda de umidade; ou, vice-versa, para o interior da edificação, quando o efeito da variação por perda de umidade for preponderante ao da elevação de temperatura. Obviamente, quando do aumento do teor de umidade (sob aspersão) e redução da temperatura os efeitos podem ser invertidos.

No caso da preponderância da movimentação por efeito de temperatura, o fenômeno é decorrente da dilatação diferencial das diversas profundidades do material, isto é, o material passará a ter um perfil com maior diferença de temperatura entre suas faces, a interna e a externa. Esta diferenciação de temperatura proporciona a expansão do material mais próximo à superfície aquecida, resultando uma variação dimensional diferenciada ao longo de sua espessura, conforme esquematicamente representado na figura 4-a. Por outro lado, quando há redução de temperatura, ou quando a perda de umidade for significativa, pode haver retração (figura 4-b).

Figura 4 – Seção da parede mostrando o esquema da variação volumétrica diferenciada ao longo da espessura; 4-a: Situação de expansão da face externa; 4-b: Situação de retração da face externa.



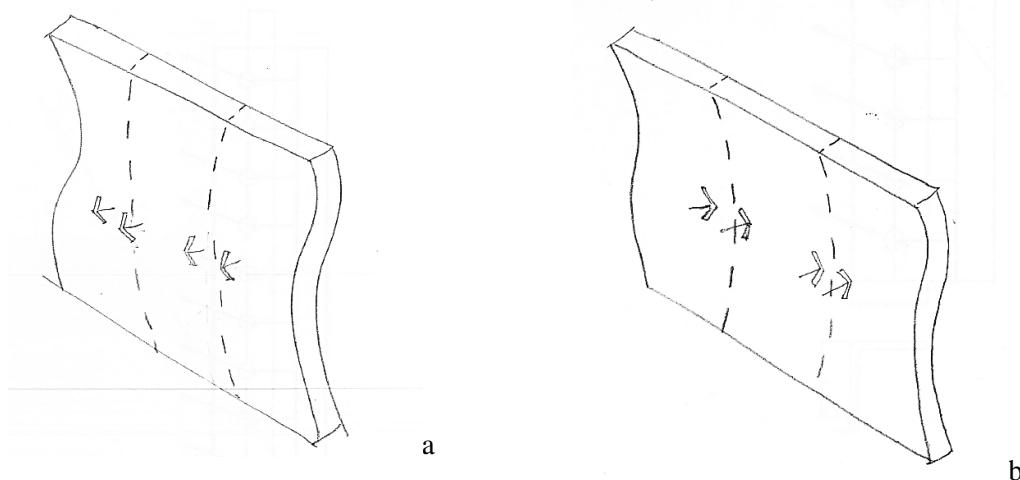
Fonte: Fontenelle (2016)

A preocupação com esta variação dimensional no sentido transversal é verificada na ABNT NBR 15.575-4 (ABNT, 2013), quando se determina a medição do deslocamento da parede na face interna no ponto médio da sua altura, transcorridos 45 minutos do início da fase aquecida.

A influência da continuidade da parede no corpo de prova, em relação ao deslocamento resultante de uma variação de temperatura ou umidade em sua face externa, ocorridas no sentido transversal a esta, pode ser representada pela figura 5. Nota-se neste caso que a variação de temperatura e umidade da superfície externa da parede, ocorrerá tanto na área delimitada pelo corpo de prova quanto nas áreas adjacentes a esta. Os deslocamentos resultantes que ocorrem na área delimitada pelo corpo

de prova não podem ser restringidos pela vinculação lateral, ou seja, a borda lateral não oferece resistência ao deslocamento no sentido transversal. Portanto, a continuidade lateral do corpo de prova não exerce nenhuma restrição quanto à variação dimensional no sentido transversal a face da parede.

Figura 5 – Restrições às variações dimensionais da borda lateral do corpo de prova pela continuidade da parede no sentido transversal a face da parede; 5-a: Situação de expansão; 5-b: Situação de retração.



Fonte: Próprio autor (2016)

3 CONCLUSÕES

Este artigo apresenta as bases iniciais de discussão sobre a hipótese de que a contenção lateral do corpo de prova, no ensaio de ação de calor e choque térmico, pode contribuir para um resultado mais próximo à resposta que o SVVE apresentará em situação de exposição natural.

Contudo, ressalta-se que essa contenção lateral deve responder adequadamente à reprodução das restrições impostas pela condição de contorno que a continuidade da parede impõe aos limites do corpo de prova.

Pode-se concluir, por enquanto, que essa contenção deve atender aos seguintes parâmetros:

- Restringir a expansão ou a contração do corpo de prova no sentido horizontal paralelo à sua face, ou seja, no sentido do comprimento do corpo de prova;
- Permitir a livre movimentação vertical, ou seja, não oferecer nenhuma restrição à variação dimensional decorrente de expansão ou da contração exercida no sentido vertical do corpo de prova;
- Permitir o deslocamento transversal, ou seja, não oferecer nenhuma restrição à formação da flecha, decorrente do gradiente de temperatura na seção da parede.

Estas restrições podem ser feitas por um elemento móvel acoplado a um dispositivo fixo, posicionado na interface com o corpo de prova. Este elemento móvel deve possuir mobilidade nos eixos vertical e horizontal, no sentido perpendicular à face da parede. Este elemento móvel deve possibilitar conexões com o corpo de prova em pontos determinados da altura da parede, tais como as proporcionadas por tirantes que devem ser posicionados entre fiadas de vedações em alvenaria, ou por elementos parafusados às estruturas no caso corpos de provas com estrutura constituída por perfis leves de aço, de modo a restringir a retração deste corpo de prova.

Observa-se, contudo, que a inserção de dispositivos de contenção lateral não garante que os limites do corpo de prova não sofram variações dimensionais, sendo necessário o acompanhamento do comportamento desta contenção por medição.

Estas análises e discussões aplicam-se particularmente a sistemas que podem apresentar deslocamentos significativos em razão de variações dimensionais por efeito de temperatura e umidade. De qualquer forma, estas análises deverão ser acompanhadas, no futuro, de resultados de ensaios práticos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao apoio da FINEP, pela colaboração dos pesquisadores da REDE FINEP-INOVATEC para o aperfeiçoamento de métodos de avaliação de desempenho, e aos técnicos do Laboratório de Componentes e Sistemas Construtivos, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo - IPT.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4:** Desempenho parte 4: Requisitos para sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **NBR 15498:** Placas de fibrocimento sem amianto – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

ASTM AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM C 1185:** Standard test methods for Sampling and Testing Nin-asbestos Fiber-Cement Flat Sheet, Roofing and Siding Shingles, and. Pennsylvania, USA, 2008.

AUSTRALIAN/NEW ZEALAND STANDARD. **AZ NZS 2908-2:** Cellulose-cement products Part 2: Flat sheets. AUSTRALIA, 2000

EOTA EUROPEAN ORGANIZATION FOR TECHINCAL APPROVALS. **ETAG 004:** Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite System with Rendering. Brussels, 2008

FONTENELLE, J. H. **Sistemas de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: Estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação**

experimental. Dissertação Escola Politécnica da USP 219p, 2012. Disponível em:
<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-13062013-111443/pt-br.php>

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 8336 Fiber-cement flat sheets** – Product specification and test methods. Suíça, 2009.

LORENZI, L. S.; **Análise crítica e proposições de avanço nas metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social terreas.** Dissertação. UFRGS, 245p. Porto Alegre. 2015. Disponível em http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96630?locale=pt_BR

OLIVEIRA, L. A.; FONTENELLE, J. H.; MITIDIERI FILHO, C. V, Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico, in **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre. ANTAC, 2014. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/45672>