Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Análise crítica e proposições de inovação ao método de ensaio de ação de calor e choque térmico à luz da ABNT NBR 15575 (2013)

L. S. Lorenzi[1] *, K. J. Stein[1], L. C. P. Silva Filho[1]
* Autor de Contato: luciani.lorenzi@ufrgs.br
DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.390

Recepção: 24/01/2019 | Aceitação: 12/12/2019 | Publicação: 31/08/2020

RESUMO

Os ensaios da ABNT NBR 15575:2013 fazem parte do conhecimento do setor da construção civil, mas o ensaio de ação de calor e choque térmico é inovador e não possui um histórico consolidado. O objetivo da pesquisa é analisar o ensaio criticamente e apresentar proposições. O método de pesquisa é a meta-análise de dados. Os resultados demonstraram que o ensaio é bastante impreciso na descrição do procedimento e do equipamento. Foram propostos ajustes e inovações no ensaio para proporcionar resultados mais fidedignos, porém não foram realizadas proposições quanto à inspeção visual e aos números de ciclos. Conclui-se que a falta de informação do ensaio tem responsabilidade direta nos resultados e que as proposições sugeridas têm potencial para serem incorporadas.

Palavras-chave: ação de calor e choque térmico; durabilidade; avaliação de desempenho de edificação.

Citar como: Lorenzi, L. S., Stein, K. J., Silva Filho, L. C. P. (2020), *"Análise crítica e proposições de inovação ao método de ensaio de ação de calor e choque térmico à luz da ABNT NBR 15575 (2013)"*, Revista ALCONPAT, 10 (3), pp. 364 – 376, DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.390

[1] Civil Engineering Department, School of Civil Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brazil.

Editor associado responsável por este artigo: Pedro Garcés Terradillos

Contribuição de cada autor
Neste trabalho, a autora L. S. Lorenzi contribuiu com a ideia original, experimentação, desenvolvimento de um modelo, coleta de dados, redação do trabalho e discussão dos resultados. O autor K. J. Stein contribuiu com a experimentação, coleta de dados, redação do trabalho e discussão dos resultados. O autor L. C. P. Silva Filho contribuiu com a ideia original e discussão dos resultados.

Licença Creative Commons
Copyright (2020) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 (CC BY 4.0).

Discussões e correções pós-publicação
Qualquer discussão, incluindo a resposta dos autores, será publicada no segundo número do ano 2021, desde que a informação seja recebida antes do fechamento do primeiro número do ano de 2021.

Critical analysis and innovation propositions to the heat and thermal shock test method of the Brazilian Standard NBR 15575 (2013)

ABSTRACT

The tests of Brazilian Standard NBR 15575: 2013 are part of the knowledge of the civil construction industry, but the heat and thermal shock test is innovative and does not have a consolidated history. The research objective is to analyze the testing critically and present proposals based on data meta-analysis. Results showed that the test is very inaccurate in describing the procedure and equipment. This study proposed adjustments and innovations in the test to provide more reliable results, but it does not make propositions regarding visual inspection and the number of cycles. The study concluded that the lack of information on the testing has direct responsibility for the results and that the suggested proposals have the potential to be incorporated.

Keywords: heat action and thermal shock; durability; evaluation of building performance.

Análisis crítico y propuestas de innovación al método de ensayo de acción de calor y choque térmico a luz de la ABNT NBR 15575 (2013)

RESUMEN

Los ensayos de la ABNT NBR 15575:2013 hacen parte del conocimiento del sector de la construcción civil, pero el ensayo de acción de calor y choque térmico es innovador, y no posee un histórico consolidado. El objetivo de la pesquisa es analizar el ensayo críticamente y presentar propuestas. El método de pesquisa es meta-análisis de datos. Los resultados demostraron que el ensayo es bastante impreciso en la descripción del procedimiento y equipos. Fueron propuestos ajustes e innovaciones al ensayo para proporcionar resultados más fidedignos, sin embargo, no fueron realizadas propuestas en cuanto a la inspección visual y a los números de ciclos. Se concluye que la falta de información del ensayo tiene responsabilidad directa en los resultados y que las propuestas sugeridas tienen potencial para ser incorporadas.

Palabras clave: acción de calor y choque térmico; durabilidad; evaluación de desempeño de edificación.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos para o uso exclusivo do título da revista No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil brasileira encontra-se em um período de grandes transformações na área tecnológica. O aumento da incorporação de novos materiais, em especial às edificações habitacionais, e a ABNT NBR 15575 (2013), doravante NBR 15575, está promovendo mudanças positivas e significativas no setor. Há um aumento do interesse do mercado da construção civil em conhecer o comportamento em uso dos sistemas construtivos das edificações. Isso proporciona uma demanda por ensaios e análise dos resultados, refletindo em um aumento na demanda de serviços para os laboratórios e instituições de avaliações técnicas, bem como na análise das normas envolvidas.

As normas não são absolutas, tampouco perfeitas, por isso precisam de atualizações para acompanhar a velocidade das mudanças tecnológicas (Borges, 2012). Os métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos em normas, principalmente na NBR 15575, devem ser ajustados com passar do tempo (Thomaz, 2012 e 2013). Em função da pouca experiência nacional em ensaios experimentais de desempenho para caracterizar o comportamento de sistemas construtivos, foram utilizados métodos importados de países com maior volume de pesquisas realizadas no tema. Ressalta-se que, embora o método seja adequado, as condições desses países são distintas da realidade brasileira, na qual se observa a falta de infraestrutura para a realização de ensaios. Esse fato já era alertado por Mitidieri Filho (1998) ao expor que metodologias para avaliação de desempenho foram trazidas de experiências dos países desenvolvidos, onde as condições são bem diferentes, originando critérios muito rigorosos para a realidade existente. Outro fator que o autor chama atenção diz respeito aos ensaios e parâmetros estabelecidos no Brasil, na década de 1980, direcionados a sistemas construtivos com tecnologia convencional, excluindo, de certa forma, os sistemas construtivos inovadores.

A utilização de sistemas convencionais como referência e por comparação para julgar sistemas inovadores é uma prática normal, todavia não é uma prática correta (Mitidieri Filho, 2007). A NBR 15575 tem alguns parâmetros que podem estar dissociados da realidade brasileira e que tornam necessária a realização de ajustes na norma. Contudo, é fundamental começar a implantar a norma, mesmo que sejam utilizados parâmetros limitantes aquém dos mínimos internacionais (Thomaz, 2013).

A falta de um volume expressivo de ensaios e de estudos sobre a representabilidade de parâmetros quanto aos resultados obtidos, correlações entre procedimentos de ensaio e faixas esperadas de resultados são fatores que colocam em dúvida os ensaios e parâmetros estabelecidos na NBR 15575. O Brasil não tem ensaios suficientes para caracterização de sistemas construtivos, sejam eles inovadores ou não. Diante desse contexto, várias instituições desenvolveram ou adaptaram procedimentos de ensaio para avaliação de desempenho, especificamente o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) e alguns laboratórios de universidades. Essa atitude é incentivada por Thomaz (2013) e Villas Boas (2013) quando expressam que há muito a ser melhorado nos requisitos, critérios, métodos de avaliação e parâmetros estabelecidos na NBR 15575, visto que muitos sistemas construtivos ainda não estão contemplados.

Uma análise crítica dos ensaios para avaliação do desempenho de edificações, tendo como base a NBR 15575, concluiu que ensaios da área de segurança quanto ao desempenho estrutural possuem um histórico consistente, mas precisam de aprimoramento. Os demais ensaios de desempenho quanto à segurança, desempenho contra incêndio e de uso e operação se encontram em uma fase de maturação, na qual começam a ter o destaque merecido. Os ensaios relativos a área de habitabilidade, os ensaios de desempenho acústico e de estanqueidade à água são realizados em maior número e possuem um histórico importante para avaliação de desempenho de edificações. Quanto aos demais ensaios de desempenho de edificações preconizados na NBR 15575, não existe um histórico significativo que se destaque, principalmente, quando utilizados para avaliar os

elementos que compõem os sistemas construtivos. Entre esses ensaios, o ensaio de ação de calor e choque térmico é considerado novo e, portanto, não possui histórico consistente (Lorenzi, 2013).
Com a intenção de aproveitar a experiência, relativa aos ensaios de desempenho de edificações, acumulada ao longo dos anos pelo LEME/UFRGS (Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul), este trabalho realizou uma avaliação do procedimento e dos parâmetros do ensaio de ação de calor e choque térmico para SVVE (sistemas de vedações verticais externos).
A ideia era identificar possíveis ajustes e inovações que poderiam ser aplicadas ao mesmo, incorporando avanços nos procedimentos e permitindo resultados mais precisos referentes ao comportamento em uso das edificações. O ajuste de alguns parâmetros de aceitabilidade também propiciou uma avaliação mais coerente e justa dos sistemas.
Tendo por base o exposto foi estabelecido como objetivo principal deste trabalho realizar uma análise crítica do ensaio de ação de calor e choque térmico, estabelecido e recomendo na NBR 15575 para SVVE para avaliar o comportamento quanto a durabilidade durante a vida útil e apresentar proposições de avanço ao procedimento e parâmetros de aceitabilidade.

2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES

A proposta de avaliação de desempenho da NBR 15575 está baseada em um conjunto de diferentes instrumentos: análises teóricas, simulações, ensaios experimentais e inspeções técnicas. Cada um deles contribui de alguma forma para avaliar se os requisitos estabelecidos para cada critério de desempenho estão sendo atendidos.
A mudança de cultura da cadeia da construção civil em utilizar métodos de avaliação, mais precisamente ensaios para caracterizar o comportamento dos sistemas construtivos, pode ocorrer em dois momentos distintos: o primeiro diz respeito à utilização de ensaios em edificações prontas para solucionar situações de conflito entre incorporador/construtor e usuário. Já o segundo se refere aos ensaios realizados para caracterizar o comportamento em uso dos sistemas construtivos que são e/ou serão aplicados nas edificações (Borges, 2008). A experiência europeia na área indica que a cultura do conceito de desempenho de edificações provoca a prática da realização de ensaios e que esse cenário é projetado para o Brasil nos próximos anos, tendo como consequência o aumento da demanda por este tipo de ensaio. Entretanto, pode ocorrer atrasos significativos nesse cenário em decorrência da limitação da capacidade laboratorial instalada no país (Lorenzi, 2013).
A avaliação de desempenho de um sistema construtivo visa identificar se o sistema pode ser usado para produzir edifícios e se é capaz de atender às exigências de desempenho. Isso só é possível quando se trabalha com uma equipe multidisciplinar e de experiência na área e se há disponível uma infraestrutura para a realização desta avaliação. Esse conjunto viabiliza, quando necessário, ajustar ou criar novos padrões de desempenho para os sistemas construtivos (Becker, 2001).
Outro aspecto a ter destaque diz respeito aos métodos e procedimentos padronizados que permitem a reprodutividade e a verificação quanto ao atendimento dos requisitos de desempenho de edificações. Isso é extremamente relevante quando se trata da análise da viabilidade da utilização de um sistema construtivo (Mitidieri Filho, 2007).
O Brasil está na fase de expectativa quanto à evolução e aperfeiçoamento dos ensaios recomendados na NBR 15575 e, para auxiliar nessa tarefa, é necessário efetuar análises críticas sobre a prática dos mesmos, identificando lacunas e promovendo ajustes que permitam avanços nos métodos e procedimentos de ensaios. O momento é de consolidação de práticas e discussões de métodos e procedimentos de avaliação de desempenho de edificações, com especial atenção aos ensaios e aos parâmetros de aceitabilidade.

2.1 Ensaio de ação de calor e choque térmico

O ensaio de ação de calor e choque térmico para avaliar o requisito de durabilidade é apresentado NBR 15575-4, sistemas de vedações verticais internas e externas (SVVIE) de edificações habitacionais. O objetivo desse ensaio é analisar o comportamento do SVVE quanto aos danos quando submetido a ciclos sucessivos de aquecimento por fonte de calor e resfriamento por jatos de água. A ideia é simular o estresse que as edificações sofrem durante sua vida útil por meio da variação de temperatura e umidade associada à ação das chuvas sobre o elemento (parede) aquecido. O ensaio de ação de calor e choque térmico é um dos ensaios acelerados de envelhecimentos utilizados para avaliar o potencial comportamento do SVVE em uso. O ensaio promove o aumento da frequência da ocorrência de agentes que induzem a deterioração. Nesse caso o agente deteriorante é a variação brusca de temperatura na superfície do elemento, quando há o choque térmico. Essa situação acontece quando, por exemplo, a fachada da edificação é atingida por uma chuva repentina, após um dia de bastante incidência solar (Fontenelle, 2012).

Um dos aspectos importantes para o estudo da durabilidade de fachadas é seu comportamento frente a ciclos de aquecimento e resfriamentos bruscos. A diferença de temperatura entre a superfície e seu interior pode provocar tensões de elevada magnitude, deteriorando sistemas de fachadas, em particular os sistemas leves (com pequena inércia térmica) e aqueles compostos de várias camadas, com elementos não homogêneos (Oliveira et al., 2014). Quando a variação de temperatura é repentina, a taxa de carregamento no elemento é alta, porém a propagação das deformações de origem térmica no elemento depende da velocidade de resposta do mesmo, até atingir o equilíbrio (Esquivel, 2009).

O ensaio de ação de calor e choque térmico estabelecido na NBR 15575-4 consiste em aplicar dez ciclos sucessivos de aquecimento e resfriamento para cada corpo de prova representativo do SVVE. A superfície exposta à ação do calor deve ficar com temperaturas entre 80°C ± 3°C, durante uma hora. Após esse período, é realizada a aspersão de água na superfície aquecida até se atingir temperaturas na faixa de 20 ± 5°C. O procedimento de ensaio requer um corpo de prova com extensão variável (largura) entre 1 metro a 1,40 metros e altura de uma parede. O corpo de prova é colocado em um dispositivo de fixação que deixa o elemento simplesmente apoiado no bordo inferior e superior.

As recomendações da NBR 15575 quanto à avaliação do desempenho do SVVE levam em consideração a degradação causada pelo choque térmico, como: fissuras, falhas, descolamento, empolamento, deterioração, entre outros, decorrentes da dilatação térmica, retração e expansão. Também é considerado nessa avaliação o parâmetro de deslocamento horizontal máximo (h/300), onde h é a altura do elemento. Para medir o deslocamento horizontal do elemento é posicionado no centro do elemento, na face oposta a aquecida e resfriada, um deflectômetro.

Entre a norma nacional e internacionais, referente ao choque térmico em SVVE, constatou-se que há divergências quanto a categorias e parâmetros. Por exemplo, a temperatura de aquecimento para a superfície exposta do SVVE recomendada pela NBR 15575-4 difere da diretriz ETAG 0004 (2008) que estabelece uma temperatura de 70 ± 5°C e das normas ISO 8336 (2009) e ASTM C1185-8 (2012) que estabelecem a temperatura de 60 ± 5°C. Outro ponto divergente é quanto à medição das temperaturas na superfície. Na norma nacional (NBR 15575), a medição é realizada por termopares acoplados diretamente na superfície do corpo de prova, já na norma americana (ASTM C1185-8) os termopares são fixados em pequenas placas metálicas pintadas de preto, onde as placas é que são fixadas na superfície do corpo de prova (Oliveira et al., 2014).

A Tabela 1 resume as diferenças de parâmetros adotados nos métodos de ensaios de normas estrangeiras e brasileiras com relação a alguns desses aspectos anteriormente explicitados.

Tabela 1. Diferenças de parâmetros adotados entre os métodos de ensaios de normas estrangeiras e brasileira.

Categoria	**Parâmetros**	**Detalhamento dos parâmetros**		
		NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)	**C1185-8 (ASTM, 2012) e ISO 8336 (ISO, 2009)**	**ETAG 004 (ETAG, 2008)**
Aquecimento	Método de medição da temperatura do ensaio	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova	Medição indireta, medida em corpo de prova de referência/placa metálica preta	Medição direta, feita por meio de termopares posicionados sobre a superfície aquecida do corpo de prova
	Tempo para atingir a temperatura de aquecimento máxima	Não estabelecido	Não estabelecido	1 h
	Temperatura máxima do ensaio	80 ± 3°C	60 ± 5°C	70 ± 5°C
	Tempo de permanência na fase aquecida	1 h	2 h 55 min	2 h
	Variação admitida da temperatura entre centro e bordas do corpo de prova	± 3°C	Não estabelecido	Não estabelecido
Resfriamento com água	Temperatura da água	Indefinida, porém até atingir a temperatura superficial do corpo de prova de 20 ± 5°C	≤ 30 °C	15 ± 5°C
	Quantidade de água	Indefinida	3,79 l/min	≥ 1,0 l/m² min, o que equivale a aproximadamente 6 l/min
	Tempo de aspersão	Indefinido, mas até atingir a temperatura superficial de 20 ± 5°C	2 h 55 min	1 h
	Distribuição sobre a superfície	Uniforme	Uniforme	Uniforme
	Temperatura após resfriamento do corpo de prova	20 ± 5°C	Não estabelecido	Não estabelecido
Ciclos	Tempo de cada ciclo	Aproximadamente 6 h, porém depende da composição da parede	6 h	6 h
	Quantidade de ciclos	10	25	80

	Intervalo entre ciclos	Não estabelecido	5 min.	2 h
Corpos de prova	Dimensão	≥ 3,0 m² (1,2 m x 2,5 m)	≥ 3,5 m²	≥ 6,0 m²
	Restrição de movimentação das bordas	Sem restrição	Com restrição	Sem restrição
	Cor da superfície	Não estabelecido	Não estabelecido	Não estabelecido

Fonte: Oliveira et al. (2014)

A análise interpretativa dos ensaios de desempenho de edificações estabelecidos na NBR 15575 realizado por Lorenzi (2013) originou um mapeamento com "ensaios x edificações x critérios de análise interpretativa" servindo de base para identificar os ensaios a serem analisados criticamente tanto em relação à interpretação, quanto aos procedimentos, equipamentos e parâmetros. O resultado do mapeamento identificou que um dos ensaios que precisa ser aprimorado é o ensaio de ação de calor e choque térmico.

Em estudo realizado por Oliveira et al (2014) também foram propostas melhorias para o ensaio de ação de calor e choque térmico quando aplicado a SVVE constituído de elementos leves (≤ 60kg/m²), considerando novos parâmetros, procedimentos ou condições para a realização do referido ensaio. A Tabela 2 apresenta um resumo das proposições de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmicos.

Tabela 2. Proposições de avanço para o ensaio de ação de calor e choque térmico.

Categoria	**Lorenzi (2013)**	**(Oliveira et al., 2014)**
Aquecimento	-	80 ± 3ºC SVVE condições usuais 60 ± 3ºC SVVE condições especiais
	Tempo variável de acordo com a composição do SVVE	Tempo mínimo de 1h para o SVVE atingir a temperatura máxima
	-	Aumento de exposição de 1h para 2h de aquecimento
	Toda a área do corpo de prova deve ser exposta ao calor	Identificar distorções entre o centro e as bordas do corpo de prova
	Temperatura homogênea no corpo de prova	Controle de W/m²
Resfriamento com água	Manter a água resfriada na temperatura de 20 ± 5ºC	Controlar a temperatura da água de resfriamento
	Tempo de resfriamento, aspersão e velocidade com que ocorre a variação de temperatura.	Tempo de aspersão, resfriamento e velocidade em que a variação de temperatura ocorre
	Água de resfriamento em temperatura constante	Forma de medição
	Aspersão de jatos de água constante e uniforme para atingir o corpo de prova, controlando a pressão da água	Distribuição superficial
	Reuso da água do ensaio	-
Ciclos	Ciclos sucessivos sem intervalo	Tempo entre ciclos para estabilização da temperatura
Corpo de Prova	Largura mínima 1,0 m a 1,40m	Largura mínima 2,40m
	Altura 2,50 m	Altura 2,50m

	Com todos os detalhes do SVVE	Com todos os detalhes do SVVE
	Restrição lateral	Vinculação lateral
	Apoiado no inferior e restringido no superior	Apoiado no inferior e articulado no topo
	-	Cor da face externa: absortância ≥ 0,5 para atingir 80ºC em menor tempo
Equipamento do painel radiante e aspersão de água	Radiação por resistências elétricas	Radiação lâmpadas ou resistências elétricas
	Área do painel radiante = área do corpo de prova	-
	Possibilidade de inspeção a cada ciclo	
Parâmetro de deslocamento horizontal	Diminuir em 50% o limite para o deslocamento horizontal	-
	Acrescentar o deslocamento horizontal residual (d_{hr})	-
Ensaio de Estanqueidade à água da chuva	Antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico	Antes e depois do ensaio de ação de calor e choque térmico

Um dos pontos importantes a ser incorporado ao ensaio é referente à fixação do corpo de prova para a realização do ensaio em ambiente de laboratório. A contenção do corpo de prova deve restringir a expansão ou a contração do corpo de prova no sentido do comprimento, permitindo a livre movimentação vertical e o deslocamento transversal, ou seja, não oferecer nenhuma restrição à formação da flecha decorrente do gradiente de temperatura na seção da parede. Essas considerações estão direcionadas para os sistemas que podem apresentar deslocamentos significativos em razão de variações dimensionais por efeito de temperatura e umidade, em casos como estes é indicado fazer as contenções (Fontenelle and Meditidieri Filho, 2016).
O ensaio não apresenta um resultado único para todos os sistemas construtivos. A resposta do elemento ao choque térmico é condicionada às suas condições de contorno. Se houver restrições externas à livre deformação do sólido, o estado de tensões é agravado; e caso a exposição ao fluxo de calor é simétrica em toda a superfície do sólido, a transferência de calor ocorrerá até se atingir o equilíbrio térmico, isto é, a temperatura será a mesma em todo o sólido (Esquivel, 2009).

3. METODOLOGIA

A estratégia experimental foi realizada com base nas proposições de avanço recomendadas por Lorenzi (2013). Foram ensaiados 12 corpos de prova (sistema construtivos convencionais e inovadores, leves e pesados, rígidos e flexíveis) totalizando 280 ciclos, dos quais 220 ciclos são correspondente a 10 corpos de prova e 60 ciclos a 2 corpos de prova. A estratégia experimental buscou atender a demanda básica do trabalho: analisar criticamente as proposições de avanço para melhoria dos resultados dos ensaios.
As proposições de avanço incorporados foram:

- Tempo de aquecimento de acordo com o sistema construtivo;
- Manter a água em reservatório a 20 ± 5ºC;
- Tempo de resfriamento de acordo com o sistema construtivo;
- Água para resfriamento sempre com a temperatura no intervalo de 20 ± 5ºC;
- Aspersão de água uniforme (3 l/m²/min.), constante e com pressão sem interferência no

sistema construtivo;
- Reuso da água do ensaio;
- Ciclos sucessivos, sem intervalo;
- Inspeção visual a cada ciclo;
- Largura do corpo de prova 1,20 m;
- Altura do corpo de prova 2,50 m;
- Radiação por resistências elétricas;
- Aplicação do ensaio de estanqueidade à água da chuva antes e depois do ensaio de choque térmico.

As proposições foram analisadas de acordo com os seguintes critérios para o procedimento:

- **Aplicabilidade**: este critério diz respeito à aplicabilidade do ensaio quanto as dimensões mínimas e posição do corpo de prova, como também quanto a posição exata da instrumentação no corpo de prova ou protótipo;
- **Exequibilidade**: este critério diz respeito à execução do ensaio e a possibilidade de reprodução das proposições;
- **Fidedignidade e representabilidade dos resultados**: este critério tem como preceito reconhecer que as proposições reproduzem da melhor forma a situação real ao qual estão sujeitos os sistemas;
- **Adequabilidade**: este critério está associado à adequação do método do ensaio aos distintos sistemas construtivos.

4. RESULTADOS

Os resultados estão compilados na Tabela 3, que apresenta como cada proposição de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmico foi incorporada ao ensaio realizado, atingindo assim as expectativas.

Tabela 3. Resultado da incorporação das proposições para melhoria do ensaio de ação de calor e choque térmico.

Categoria	Proposições	Aplicabilidade	Exequibilidade	Fidedignidade e representabilidade dos resultados	Adequabilidade
Aquecimento	Tempo de aquecimento de acordo com o sistema construtivo	OK	OK	1*	1*
Resfriamento	Manter a água em reservatório a 20 ± 5ºC.	OK	OK	OK	OK
	Tempo de resfriamento de acordo com o sistema construtivo	OK	OK	2*	2*
	Água para resfriamento sempre com a temperatura no intervalo de 15 ± 5ºC	OK	OK	OK	OK
	Aspersão de água uniforme (3l/m²/min.) constante e com	OK	OK	OK	OK

	pressão sem interferência no sistema construtivo				
	Reuso da água do ensaio	OK	OK	OK	OK
Ciclos	Ciclos sucessivos, sem intervalo	OK	OK	OK	OK
	Inspeção visual a cada ciclo	3*	3*	3*	3*
Corpo de prova	Largura do corpo de prova 1,20 m	OK	OK	OK	OK
	Altura do corpo de prova 2,50 m	OK	OK	OK	OK
Equipamento	Radiação por resistências elétricas	OK	OK	OK	OK
Estanqueidade	Aplicação do ensaio de estanqueidade à água da chuva antes e depois do ensaio de choque térmico	OK	OK	OK	OK

1*, 2* e 3* - Novas proposições de avanço ao ensaio

Com a experiência acumulada na aplicação do ensaio de ação de calor e choque térmico realizado com equipamento de painel radiante, observou-se que a convecção do ar quente imprimiu temperaturas muito elevadas na parte superior do sistema de vedação.
Com a radiação apenas na parte inferior, a convecção do ar ajudou a homogeneizar às temperaturas no corpo de prova, como mostra a Figura 1.

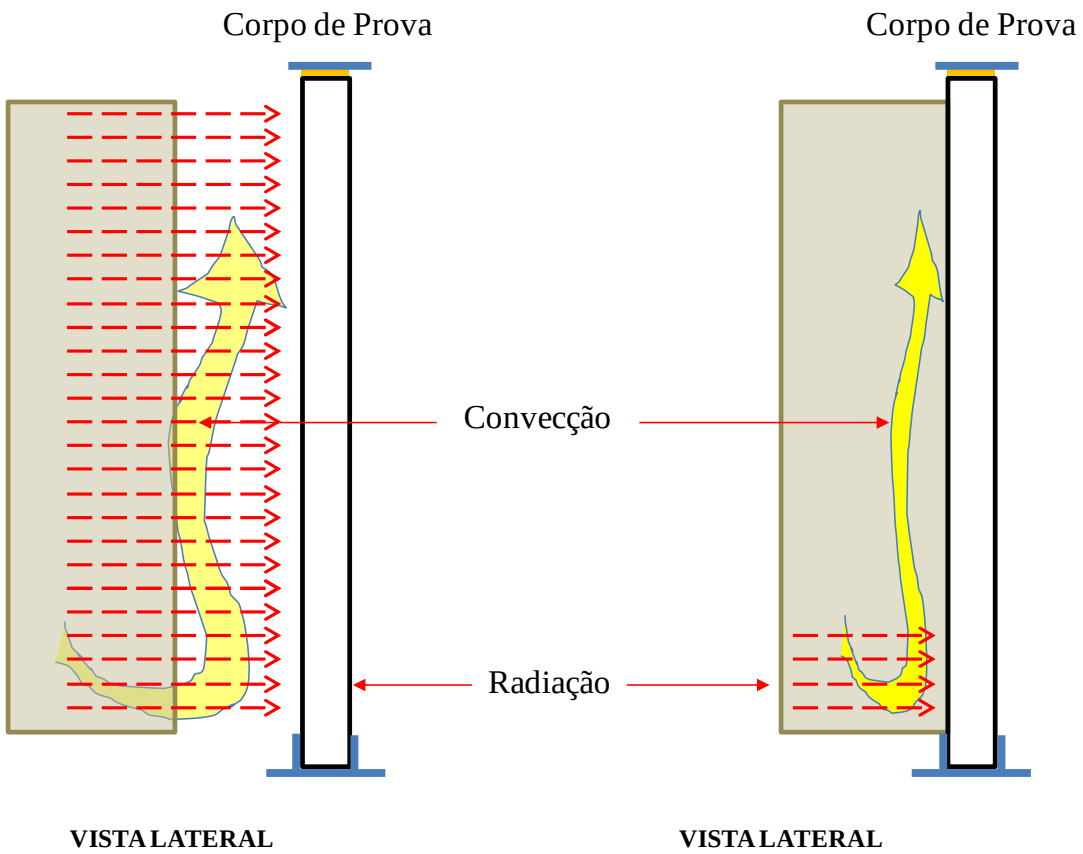

Figura 1. Exemplos de radiação e convecção para ação de calor e choque térmico em SVVE.

Observa-se que, em função das distintas composições dos SVVE e espessuras do corpo de prova, o aquecimento e o resfriamento apresentam comportamentos diferentes para atingir tanto a temperatura de superfície (80 ± 3°C), quanto a temperatura do choque térmico (25 ± 5°C), sendo

necessário o ajuste da fonte de calor. Os jatos d'água foram padronizados para proporcionar uma simulação de chuva intensa, constante e uniforme, e tiveram uma pressão que não exerceu a influência no deslocamento horizontal (d_h) no corpo de prova.

A água utilizada foi mantida em temperatura controlada (15°± 5°C). A temperatura controlada da água permitiu que os jatos d'água tivessem sempre a mesma temperatura ao atingir a superfície aquecida, fazendo com que a temperatura da superfície aquecida diminuísse mais rapidamente para 20°C ± 5°C.

O reuso da água utilizada para o resfriamento do corpo de prova foi importante para a economia do ensaio. Cada ensaio foi composto por 10 ciclos de aquecimento e resfriamento, tendo como estimativa um consumo de 300 litros de água/ciclo/corpo de prova, o sistema vertical tinha 1,20 ± 0,20m de largura por 2,50 m de altura, totalizando consumo de 3.000 litros d'água por ensaio. A Figura 2 apresenta o esquema do fluxo da água para o resfriamento do corpo de prova, utilizando uma bomba de recalque e filtro, utilizado para evitar o entupimento dos bicos de aspersão d'água.

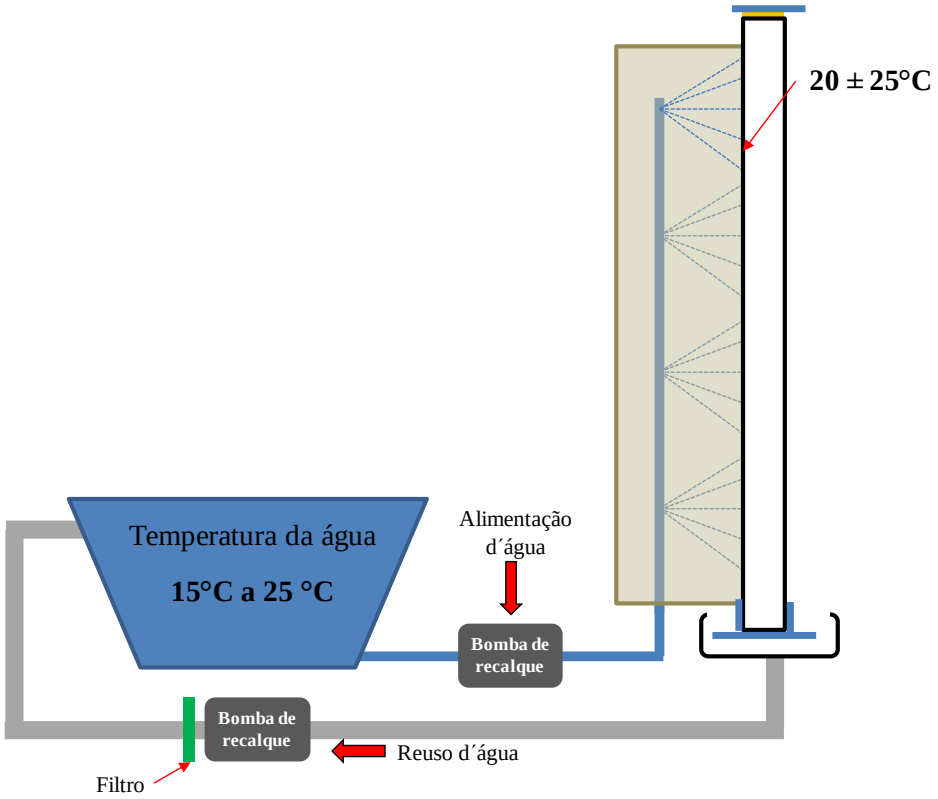

Figura 2. Desenho esquemático do reuso da água; desenho esquemático do confinamento do corpo de prova com auxílio de um quadro de apoio e a fixação do suporte do deflectômetro para ensaio de ação de calor e choque térmico em SVVE.

A inspeção visual nem sempre é suficiente para uma avaliação precisa quanto à degradação sofrida pelo corpo de prova. Os ensaios de ação de calor e choque térmico foram precedidos do ensaio de estanqueidade à água da chuva. Após a finalização dos 10 ciclos foi realizado novamente o ensaio de estanqueidade. O ensaio de estanqueidade à água a chuva seguiu o estabelecido na NBR 15575-4 (2013).

Identificou-se ainda a necessidade de ajustes e inovações no procedimento que promovam a reprodutividade das condições de exposição, a fim de permitir e proporcionar resultados mais fidedignos com o real comportamento em uso dos sistemas. A Tabela 4 apresenta novas proposições para o ensaio de ação de calor e choque térmico.

Tabela 4. Novas proposições de avanço ao ensaio de ação de calor e choque térmico

Ensaio	Novas Proposições
Corpo de Prova	Restringir a parte superior - representar fielmente o sistema construtivo em uso
Aquecimento	Tempo de aquecimento 15 – 20 min SVVE leve e flexível Tempo de aquecimento 35 – 40 min SVVE pesado e rígido
Resfriamento a água	Manter a água resfriada na temperatura de 15 ± 5ºC
	Tempo de resfriamento 3min SVVE leve e flexível Tempo de resfriamento 6 min SVVE pesado e rígido
Ciclos	Manter ciclos sucessivos
Equipamento do painel radiante e aspersão de água	Radiação com resistências elétricas e lâmpadas ultravioleta UVA

5. CONCLUSÕES

A consolidação do conceito de desempenho, o estabelecimento de requisitos claros, objetivos e bem definidos e a incorporação de ensaios para o conhecimento do potencial desempenho de sistemas são exemplos de uma verdadeira revolução no setor da construção civil, que impacta diretamente na concepção de edificações. Os ensaios de desempenho de edificações se constituem em um meio rápido, preciso e confiável de prever o comportamento potencial em uso de SVVE e é relevante para a avaliação de desempenho de edificações.

A realização e os resultados obtidos possibilitaram compreender melhor o que esperar como resultado em relação ao comportamento em uso de sistemas construtivos, inovadores ou não, submetidos a temperaturas ambientais extremas e resfriamentos bruscos de temperatura. Constatou-se, como esperado, que em virtude do ensaio não possuir um histórico consistente de utilização e de disseminação de resultados, é bastante impreciso na descrição do procedimento de ensaio e no detalhamento do equipamento.

Embora não se tenha feito proposições quanto à inspeção visual e aos números de ciclos estabelecidos a que um corpo de prova é submetido, observou-se a necessidade de ter critérios, parâmetros e limites, para uma avaliação mais objetiva, evitando a subjetividade da inspeção visual.

Em relação às proposições de avanço no método do ensaio de ação de calor e choque térmico foi possível comprovar que são pertinentes e contribuem significativamente para uma melhor estimativa de comportamento em uso do SVVE, inovador ou não.

Desta forma, conclui-se que as proposições estudadas têm potencial para serem incorporadas ao procedimento do ensaio de ação de calor e choque térmico, promovendo um resultado mais próximo da situação real.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais (LEME) da UFRGS pela excelente estrutura disponibilizada durante a realização dos ensaios e pela disposição dos técnicos antes, durante e depois dos experimentos.

7. REFERÊNCIAS

ASTM International. (2012). *ASTM C 1185-8 Standard test methods for sampling and testing non-asbestos fiber-cement flat sheet, roofing and siding shingles, and clapboards.*

https://doi.org/10.1520/C1185-99
Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: Edifícios Habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais.* Rio de Janeiro.
Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: edifícios habitacionais – desempenho – parte 2: requisitos para os sistemas de estruturais.* Rio de Janeiro.
Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2013). *NBR 15575: edifícios habitacionais – desempenho – parte 4: requisitos para os sistemas de vedação verticais Internas e Externas – SVVIE.* Rio de Janeiro.
Becker, R. (2001), *An Integrated Approach to the Development of Performance Test Methods and their Application to Evaluation and Design.* The RILEM Journal Materials and Structures. 34:467 – 474.
Borges, C. A. (2012), *Desempenho Revisado.* Revista Téchne, 192:42 – 49.
Borges, C. A. M. (2008), "*O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil*", Masters Thesis, Universidade de São Paulo. https://doi.org/10.11606/D.3.2008.tde-25092008-094741
Esquivel, J. F. T. (2009), *"Avaliação da Influência do Choque Térmico na Aderência dos Revestimentos de Argamassa",* Doctural Thesis, Universidade de São Paulo, p. 262.
European Organization for Technical Approvals. (2008) *ETAG 004: Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems With Rendering.* Brussels.
Fontenelle, J. H. (2012), *"Sistema de fixação e juntas em vedações verticais constituídas por placas cimentícias: estado da arte, desenvolvimento de um sistema e avaliação experimental",* Masters Thesis, Universidade de São Paulo, p. 219.
Fontenelle, J. H. e Mitidieri Filho, C. V. (2016), "*Condições de contorno lateral dos corpos de prova submetidos ao ensaio de ação de calor e choque térmico*". In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo.
International Organization for Standardization (2009). ISO 8336: *Fibre-cement flat sheets.* Geneva.
Lorenzi, L. S. (2013), *"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 Térreas",* Doctural Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 222.
Mitidieri Filho, C. V. (1998), *"Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural"*, Doctural Thesis, Universidade de São Paulo.
Mitidieri Filho, C. V. (2007), Qualidade e Desempenho na Construção Civil. In: Isaia, G. C. "*Materiais de Construção Civil e os Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais"*, São Paulo, IBRACON, cap. 23, pp. 37 – 73.
Oliveira, L. A.; Fontenelle, J. H. e Mitidieri Filho, C. V. (2014), *Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da resistência à ação de calor e choque térmico.* Ambiente Construído. 14(4):53- 67. https://doi.org/10.1590/S1678-86212014000400005
Silva, M. A. C. (2001), *"Desafios da Aplicação Prática do Conceito de Desempenho e seu Impacto na Qualidade das construções".* In: 4º Seminário de Patologia das Construções, São Leopoldo.
Silva, M. A. C. (2013) "*Especificação por desempenho e os dados de caracterização de desempenho disponibilizados pelos fabricantes*". In: Seminário: Projeto, Especificações e Controle de Execução para Atender a Norma de Desempenho, São Paulo.
Thomaz, E. (2012) *"Tendências de Materiais, Tecnologias e Processos de Construção de Edifícios".* In: Seminário: Tecnologia, Desempenho e Sustentabilidade na Construção Civil, Manaus.
Thomaz, E. (2013) "*O que é preciso fazer para atender a norma quanto ao desempenho de pisos".* In: Seminário: Projeto, Especificações e Controle de Execução para Atender a Norma de Desempenho, São Paulo.