

## 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)

L. S. Lorenzi<sup>1</sup> \* , K. J. Stein<sup>1</sup> , L. C. P. Silva Filho<sup>1</sup> 

\*Autor de Contacto: [luciani.lorenzi@ufrgs.br](mailto:luciani.lorenzi@ufrgs.br)

DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.390>

Recepción: 21/01/2019 | Aceptación: 12/12/2019 | Publicación: 01/09/2020

### 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 investigación es analizar el ensayo críticamente y presentar propuestas. El método de investigación 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.

**Citar como:** Lorenzi, L. S., Stein, K. J., Silva Filho, L. C. P. (2020), “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)”, Revista ALCONPAT, 10 (3), pp. 364 – 376, DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v10i3.390>

<sup>1</sup> Civil Engineering Department, School of Civil Engineering, Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

**Editor asociado responsable de este artículo:** Pedro Garcés Terradillos

#### Contribución de cada autor

En este trabajo la autora L. S. Lorenzi contribuyó con la idea original, experimentación, desarrollo de un modelo, recolección de datos, escritura del trabajo y discusión de resultados. El autor K. J. Stein contribuyó con la experimentación, recolección de datos, escritura del trabajo y discusión de resultados. El autor L. C. P. Silva Filho contribuyó con la idea original y discusión de resultados.

#### Licencia Creative Commons

Los derechos de autor (2020) son propiedad de los autores. Este trabajo es un artículo de acceso abierto publicado bajo los términos y condiciones de una licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 International License ([CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)).

#### Discusiones y correcciones posteriores a la publicación

Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el segundo número del año 2021 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del primer número del año 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.

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

### 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.

### Información Legal

Revista ALCONPAT es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción, Internacional, A. C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, [alconpat.int@gmail.com](mailto:alconpat.int@gmail.com), Página Web: [www.alconpat.org](http://www.alconpat.org)

Reserva de derechos al uso exclusivo del título de la revista No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor.

La reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación se realiza en apego al código COPE y a la licencia CC BY 4.0 de la Revista ALCONPAT.

## 1. INTRODUCCIÓN

La construcción civil brasileña se encuentra en un período de grandes transformaciones en el área tecnológica. El aumento de la incorporación de nuevos materiales, en especial en las edificaciones habitacionales, es la ABNT NBR 15575 (2013), en adelante NBR 15575, que está promoviendo cambios positivos y significativos en el sector. Hay un aumento del interés del mercado de la construcción civil en conocer el comportamiento en el uso de los sistemas constructivos de las edificaciones. Eso proporciona una demanda por ensayos y análisis de los resultados, reflejando un aumento en la demanda de servicios para los laboratorios e instituciones de evaluaciones técnicas, bien para el análisis de las normas involucradas.

Las normas no son absolutas, tampoco perfectas, por eso precisan de actualizaciones para acompañar la velocidad de los cambios tecnológicos (Borges, 2012). Los métodos de evaluación y parámetros establecidos en normas, principalmente la NBR 15575, deben ser ajustados con el pasar del tiempo (Thomaz, 2012 y 2013). En función de la poca experiencia nacional en ensayos experimentales de desempeño, para caracterizar el comportamiento de sistemas constructivos, fueron utilizados métodos importados de países con mayor volumen de investigaciones realizadas en ese tema. Resaltando que, aunque el método sea adecuado, las condiciones de esos países son distintas de la realidad brasileña, en la cual se observa la falta de infraestructura para la realización de ensayos. Ese hecho ya era alertado por Mitidieri Filho (1998) al exponer que las metodologías para la evaluación de desempeño fueron traídas de experiencias de los países desarrollados, donde las condiciones son bien diferentes, originando criterios muy rigurosos para la realidad existente. Otro factor que el autor destaca es lo que respecta a los ensayos y parámetros establecidos en Brasil, durante la década de 1980, direccionados a sistemas constructivos con tecnología convencional, excluyendo de cierta forma, los sistemas constructivos innovadores.

El uso de sistemas convencionales como referencia y por comparación para juzgar sistemas innovadores es una práctica normal, pero no es una práctica correcta (Mitidieri Filho, 2007). La NBR 15575 tiene algunos parámetros que pueden estar disociados de la realidad brasileña y que hace necesaria la realización de ajustes de la norma. Sin embargo, es fundamental comenzar a implantar la norma, aun cuando sean utilizados parámetros limitantes por debajo de los límites internacionales (Thomaz, 2013).

La falta de un volumen expresivo de ensayos y de estudios sobre la representatividad de parámetros en cuanto a los resultados obtenidos, correlaciones entre procedimientos de ensayo y rangos esperados de resultados, son factores que ponen en duda los ensayos y parámetros establecidos en la NBR 15575. En Brasil no se tienen ensayos suficientes para la caracterización de sistemas constructivos, sean ellos, innovadores o no. Ante este contexto, varias instituciones desarrollaron o adaptaron procedimientos de ensayo para la evaluación de desempeño, específicamente el Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) y algunos laboratorios de universidades. Esa actitud es incentivada por Thomaz (2013) y Villas Boas (2013) cuando expresan que hay mucho por mejorar en los requisitos, criterios, métodos de evaluación y parámetros establecidos por la NBR 15575, visto que muchos sistemas constructivos aún no están contemplados.

Un análisis crítico de los ensayos para la evaluación del desempeño de edificaciones teniendo como base la NBR 15575, concluyó que ensayos en el área de seguridad en cuanto al desempeño estructural poseen un histórico consistente, pero necesitan ser perfeccionados. Los otros ensayos de desempeño en cuanto a seguridad, desempeño contra incendio y de uso y operación se encuentran en una fase de maduración, en la cual empiezan a tener el destaque merecido. Los ensayos relativos al área de habitabilidad, los ensayos de desempeño acústico y de estanqueidad al agua son realizados en mayor número y poseen un histórico importante para la evaluación de desempeño de edificaciones. En cuanto a los demás ensayos de desempeño de edificaciones recomendados en la NBR 15575, no existe un histórico significativo que se destaque,

principalmente, cuando son utilizados para evaluar los elementos que componen los sistemas constructivos. Entre esos ensayos, el de acción de calor y choque térmico es considerado nuevo y, por lo tanto, no tiene histórico consistente (Lorenzi, 2013).

Con la intención de aprovechar la experiencia, relativa a los ensayos de desempeño de edificaciones, acumulada a lo largo de los años por el LEME/UFRGS (Laboratorio de Ensayos y Modelos Estructurales de la Universidad Federal de Rio Grande do Sul), este trabajo realizó una evaluación del procedimiento y de los parámetros de ensayo de acción de calor y choque térmico para SVVE (sistemas de cerramientos verticales externos).

La idea era identificar posibles ajustes e innovaciones que pudieran ser aplicadas, incorporando avances en los procedimientos y permitiendo resultados más precisos referentes al comportamiento en uso de las edificaciones. El ajuste de algunos parámetros de aceptación también propició una evaluación más coherente y justa de los sistemas.

Teniendo por base lo expuesto, fue establecido como objetivo principal de este trabajo realizar un análisis crítico del ensayo de acción de calor y choque térmico, establecido y recomendó en la NBR 15575 para SVVE para evaluar el comportamiento en cuanto a durabilidad durante la vida útil y presentar propuestas de avance al procedimiento y parámetros de aceptación.

## 2. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE EDIFICACIONES

La propuesta de evaluación de desempeño de la NBR 15575, está basada en un conjunto de diferentes instrumentos: análisis teóricos, simulaciones, ensayos experimentales e inspecciones técnicas. Cada uno contribuye, de alguna forma para evaluar, si los requisitos establecidos para cada criterio de desempeño están siendo atendidos.

El cambio de cultura en la cadena de construcción civil, en utilizar métodos de evaluación, más precisamente en ensayos para caracterizar el comportamiento de los sistemas constructivos, puede ocurrir en dos momentos distintos: el primero referido al uso de ensayos en edificaciones culminadas, para solucionar situaciones de conflicto entre incorporador/constructor y usuario. El segundo se refiere a los ensayos realizados para caracterizar el comportamiento en uso de los sistemas constructivos que son y/o serán aplicados en las edificaciones (Borges, 2008). La experiencia europea en el área, indica que la cultura del concepto de desempeño de edificaciones provoca la práctica de la realización de ensayos y que ese escenario es proyectado para el Brasil en los próximos años, teniendo como resultado el aumento de la demanda por este tipo de ensayo. Sin embargo, pueden ocurrir atrasos significativos en ese escenario en consecuencia de la limitación de la capacidad laboratorial instalada del país (Lorenzi, 2013).

La evaluación de desempeño de un sistema constructivo visa identificar si el sistema puede ser usado para producir edificios y si es capaz de atender las exigencias de desempeño. Eso solo es posible cuando se trabaja con un equipo multidisciplinario y de experiencia en el área y si hay una infraestructura disponible para la realización de esta evaluación. Ese conjunto viabiliza, cuando sea necesario, ajustar o crear nuevos patrones de desempeño para los sistemas constructivos (Becker, 2001). Otro aspecto para destacar se refiere a los métodos y procedimientos estandarizados que permiten ser reproducidos y la verificación en cuanto a la atención de los requisitos de desempeño de edificaciones. Eso es extremadamente relevante cuando se trata del análisis de la viabilidad de uso de un sistema constructivo (Mitidieri Filho, 2007).

Brasil está en la fase de expectativa en cuanto la evolución y perfeccionamiento de ensayos recomendados en la NBR 15575 y para aportar en esta tarea, es necesario efectuar análisis críticos sobre la práctica de estos, identificando lagunas y promoviendo ajustes que permitan avanzar en los métodos y procedimientos de ensayos. Es momento de consolidación de prácticas y discusiones de métodos y procedimientos de evaluación de desempeño de edificaciones, con especial atención

a los ensayos y a los parámetros de aceptación.

## 2.1 Ensayo de acción de calor y choque térmico

El ensayo de acción de calor y choque térmico para evaluar el requisito de durabilidad es presentado en la NBR 15575-4, sistemas de cerramientos verticales internos y externos (SVVIE) de edificaciones habitacionales. El objetivo de ese ensayo es analizar el comportamiento del SVVE en cuanto a los daños, cuando sometido a ciclos sucesivos de calentamiento por fuente de calor y enfriamiento por chorros de agua. La idea es simular el stress que las edificaciones sufren durante su vida útil por medio de la variación de temperatura y humedad asociada a la acción de las lluvias sobre el elemento (pared) calentado. El ensayo de acción de calor y choque térmico es uno de los ensayos acelerados de envejecimiento utilizados para evaluar el comportamiento potencial del SVVE en uso. El ensayo promueve el aumento de la frecuencia de la ocurrencia de agentes que inducen el deterioro. En ese caso el agente deteriorante es la variación brusca de temperatura en la superficie del elemento, cuando hay un choque térmico. Esa situación sucede cuando, por ejemplo, la fachada de la edificación es tocada por una lluvia repentina, luego de un día de bastante incidencia solar (Fontenelle, 2012).

Uno de los aspectos importantes para el estudio de la durabilidad de fachadas y su comportamiento frente a ciclos de calentamiento y enfriamientos bruscos. La diferencia de temperatura entre la superficie y su interior puede provocar tensiones de elevada magnitud, deteriorando sistemas de fachadas, en particular los sistemas ligeros (con pequeña inercia térmica) y aquellos compuestos de varias capas, con elementos no homogéneos (Oliveira et al., 2014). Cuando la variación de temperatura es repentina, la tasa de carga en el elemento es alta, sin embargo, la propagación de las deformaciones de origen térmica en el elemento depende de la velocidad de respuesta del mismo hasta llegar al equilibrio (Esquivel, 2009).

El ensayo de acción de calor y choque térmico establecido en la NBR 15575-4 consiste en aplicar diez ciclos sucesivos de calentamiento y enfriamiento para cada probeta representativa del SVVE. La superficie expuesta a la acción de calor debe quedar con temperaturas entre  $80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ , durante una hora. Luego de ese período, es realizada la aspersion de agua en la superficie calentada hasta alcanzar temperaturas en el rango de  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . El procedimiento de ensayo requiere una probeta de extensión variable (ancho) entre 1 metro a 1,40 metros y altura de una pared. La probeta es colocada en un dispositivo de fijación que deja el elemento simplemente apoyado en el borde inferior y superior.

Las recomendaciones de la NBR 15575 en cuanto a la evaluación del desempeño del SVVE toman en consideración la degradación causada por el choque térmico, como: fisuras, fallas, desprendimiento, ampollas, deterioro entre otros, en consecuencia, de la dilatación térmica, retracción y expansión. También es considerado en esa evaluación el parámetro de desplazamiento horizontal máximo ( $h/300$ ), donde  $h$  es la altura del elemento. Para medir el desplazamiento horizontal del elemento se coloca en el centro del elemento, en la cara opuesta a la calentada y enfriada, un deflectómetro.

Entre la norma nacional y las internacionales, referidas al choque térmico en SVVE, se constató que hay divergencias en cuanto a categorías y parámetros. Por ejemplo, la temperatura de calentamiento para la superficie expuesta del SVVE recomendada por la NBR 15575-4 difiere de la directriz ETAG 0004 (2008) que establece una temperatura de  $70 \pm 5^{\circ}\text{C}$  y de las normas ISO 8336 (2009) y ASTM C1185-8 (2012) que establecen la temperatura de  $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ . Otro punto divergente es en cuanto a la medición de las temperaturas en la superficie. En la norma nacional (NBR 15575), la medición es realizada por termopares acoplados directamente en la superficie de la probeta, en la norma americana (ASTM C1185-8) los termopares son fijados en pequeñas placas metálicas pintadas de negro, donde las placas son las que se fijan en la superficie de dicha probeta (Oliveira et al., 2014).

La Tabla 1 resume las diferencias de parámetros adoptados en los métodos de ensayos de normas extranjeras y brasileñas en relación, a algunos de esos aspectos anteriormente explicados.

Tabla 1. Diferencia de parámetros adoptados entre los métodos de ensayos de normas extranjeras y la brasileña.

Categoría	Parámetros	Detalles de los parámetros		
		NBR 15575-4 (ABNT, 2013b)	C1185-8 (ASTM, 2012) y ISO 8336 (ISO, 2009)	ETAG 004 (ETAG, 2008)
Calentamiento	Método de medición de la temperatura del ensayo	Medición directa, hecha por medio de termopares posicionados sobre la superficie calentada de la probeta	Medición indirecta, medida <b>de la probeta</b> de referencia/placa metálica negra	Medición directa, hecha por medio de termopares posicionados sobre la superficie calentada de la probeta
	Tiempo para alcanzar la temperatura de calentamiento máxima	No establecido	No establecido	1 h
	Temperatura máxima del ensayo	80 ± 3°C	60 ± 5°C	70 ± 5°C
	Tiempo de permanencia en la fase calentada	1 h	2 h 55 min	2 h
	Variación admitida de temperatura entre el centro y bordes de la probeta	± 3°C	No establecido	No establecido
Enfriamiento con agua	Temperatura del agua	Indefinida, pero hasta alcanzar la temperatura superficial de la probeta de 20 ± 5°C	≤ 30 °C	15 ± 5°C
	Cantidad de agua	Indefinida	3,79 l/min	≥ 1,0 l/m <sup>2</sup> min, lo que equivale a aproximadamente 6 l/min
	Tiempo de aspersión	Indefinido, pero hasta alcanzar la temperatura superficial de 20 ± 5°C	2 h 55 min	1 h
	Distribución sobre la superficie	Uniforme	Uniforme	Uniforme
	Temperatura luego del enfriamiento de la probeta	20 ± 5°C	No establecido	No establecido
Ciclos	Tiempo de cada ciclo	Aproximadamente 6 h pero, depende de la composición de la	6 h	6 h

		pared		
	Cantidad de ciclos	10	25	80
	Intervalo entre ciclos	No establecido	5 min.	2 h
Probeta	Dimensión	$\geq 3,0 \text{ m}^2$ (1,2 m x 2,5 m)	$\geq 3,5 \text{ m}^2$	$\geq 6,0 \text{ m}^2$
	Restricción de movimiento de bordes	Sin restricción	Con restricción	Sin restricción
	Color de la superficie	No establecido	No establecido	No establecido

Fonte: Oliveira et al. (2014)

El análisis interpretativo de los ensayos de desempeño de edificaciones establecidos de la NBR 15575 realizado por Lorenzi (2013) originó un mapeo con “ensayos x edificaciones x criterios de análisis interpretativa” sirviendo de base para identificar los ensayos a ser analizados críticamente tanto en relación a la interpretación, como a los procedimientos, equipos y parámetros. El resultado del mapeo identificó que uno de los ensayos que necesita ser perfeccionado es el ensayo de acción de calor y choque térmico.

En el estudio realizado por Oliveira et al (2014) también fueron propuestas mejoras para el ensayo de acción de calor y choque térmico, cuando es aplicado a SVVE constituido de elementos ligeros ( $\leq 60\text{kg/m}^2$ ), considerando nuevos parámetros, procedimientos o condiciones para la realización del referido ensayo. La Tabla 2 presenta un resumen de las propuestas de avance al ensayo de acción de calor y choque térmicos.

Tabla 2. Propuestas de avance para el ensayo de acción de calor y choque térmico.

Categoría	Lorenzi (2013)	(Oliveira et al., 2014)
Calentamiento	-	$80 \pm 3^\circ\text{C}$ SVVE condiciones usuales $60 \pm 3^\circ\text{C}$ SVVE condiciones especiales
	Tiempo variable de acuerdo con la composición del SVVE	Tiempo mínimo de 1h para el SVVE llegar a temperatura máxima
	-	Aumento de exposición de 1h para 2h de calentamiento
	Toda el área de la probeta debe ser expuesta al calor	Identificar distorsiones entre el centro y los bordes de la probeta
	Temperatura homogénea de la probeta	Control de $\text{W/m}^2$
Enfriamiento con agua	Mantener el agua enfriada a temperatura de $20 \pm 5^\circ\text{C}$	Controlar la temperatura de agua de enfriamiento
	Tiempo de enfriamiento, aspersión y velocidad con que ocurre la variación de temperatura.	Tiempo de aspersión, enfriamiento y velocidad en que la variación de temperatura ocurre
	Agua de enfriamiento en temperatura constante	Forma de medición
	Aspersión de chorros de agua constante y uniforme para alcanzar la probeta, controlando la presión de agua	Distribución superficial
	Reuso del agua de ensayo	-
Ciclos	Ciclos sucesivos sin intervalo	Tiempo entre ciclos para estabilización de temperatura
Probeta	Ancho mínimo 1,0 m a 1,40m	Ancho mínimo 2,40m

	Altura 2,50 m	Altura 2,50m
	Con todos los detalles del SVVE	Con todos los detalles del SVVE
	Restricción lateral	Vinculación lateral
	Apoyado en el inferior y restringido en el superior	Apoyado en el inferior y articulado en la parte superior
	-	Color de la cara externa: absorción $\geq 0,5$ para alcanzar 80°C en menor tiempo
Equipamiento del panel radiante y aspersión de agua	Radiación por resistencias eléctricas	Radiación lámparas o resistencias eléctricas
	Área del panel radiante = área de la probeta	-
	Posibilidad de inspección a cada ciclo	
Parámetro de desplazamiento horizontal	Disminuir en 50% el límite para el desplazamiento horizontal	-
	Incrementar el desplazamiento horizontal residual ( $d_{hr}$ )	-
Ensayo de Estanqueidad al agua de lluvia	Antes y después del ensayo de acción de calor y choque térmico	Antes y después del ensayo de acción de calor y choque térmico

Unos de los puntos más importantes a ser incorporado al ensayo es el referente a fijación de la probeta, para la realización del ensayo en ambiente de laboratorio. La contención de la probeta debe restringir la expansión ó la contracción de la probeta en el sentido de longitudinal, permitiendo el libre movimiento vertical y el desplazamiento transversal, es decir que no ofrezca ninguna restricción a la formación de la flecha consecuencia del gradiente de temperatura en la sección de la pared. Esas consideraciones están direccionadas para los sistemas que pueden presentar desplazamientos significativos a razón de variaciones dimensionales por efecto de temperatura y humedad, en casos como estos, es indicado hacer las contenciones (Fontenelle y Meditidieri Filho, 2016).

El ensayo no presenta un resultado único para todos los sistemas constructivos. La respuesta del elemento al choque térmico está condicionada a sus condiciones de contorno. Si se presentan restricciones externas a la libre deformación del sólido, el estado de tensiones es más grave; es el caso de la exposición al flujo de calor y simétrica en toda la superficie del sólido, la transferencia de calor ocurrirá hasta alcanzar el equilibrio térmico, eso es que la temperatura será la misma en todo el sólido (Esquivel, 2009).

### 3. METODOLOGÍA

La estrategia experimental fue realizada en base a las propuestas de avance recomendadas por Lorenzi (2013). Fueron ensayadas 12 probetas (sistema constructivos convencionales e innovadores, ligeros y pesados, rígidos y flexibles) totalizando 280 ciclos, de los cuales 220 ciclos son correspondientes a 10 probetas y 60 ciclos a 2 probetas. La estrategia experimental buscó atender la demanda básica de trabajo: analizar críticamente las propuestas de avance, para mejoría de los resultados de los ensayos.

Las propuestas de avance incorporados fueron:

- Tiempo de calentamiento de acuerdo con el sistema constructivo;
- Mantener el agua en contención a  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- Tiempo de enfriamiento de acuerdo con el sistema constructivo;

- Agua para enfriamiento siempre con la temperatura en el intervalo de  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ;
- Aspersión de agua uniforme ( $3 \text{ l/m}^2/\text{min.}$ ), constante y con presión sin interferencia en el sistema constructivo;
- Reutilización del agua del ensayo;
- Ciclos sucesivos, sin intervalo;
- Inspección visual a cada ciclo;
- Ancho **de la probeta** 1,20 m;
- Altura **de la probeta** 2,50 m;
- Radiación por resistencias eléctricas;
- Aplicación del ensayo de estanqueidad al agua de lluvia antes y después del ensayo de choque térmico.

Las propuestas fueron analizadas de acuerdo con los siguientes criterios para el procedimiento:

- **Aplicabilidad:** este criterio se refiere a la aplicabilidad del ensayo en cuanto a las dimensiones mínimas y posición **de la probeta**, como también en cuanto a la posición exacta de la instrumentación en probetas ó prototipo;
- **Viabilidad:** este criterio se refiere a la ejecución del ensayo y la posibilidad de reproducción de las propuestas;
- **Fiabilidad y representabilidad de los resultados:** este criterio tiene como precepto, reconocer que las propuestas reproducen de la mejor forma la situación real a lo cual están sujetos los sistemas;
- **Idoneidad:** este criterio está asociado a la adecuación del método de ensayo a los distintos sistemas constructivos.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados están compilados en la Tabla 3, que presenta como cada proposición de avance al ensayo de acción de calor y choque térmico fue incorporado al ensayo realizado, alcanzó así las expectativas.

Tabla 3. Resultado de la incorporación de las propuestas para mejoría del ensayo de acción de calor y choque térmico.

Categoría	Propuestas	Aplicabilidad	Viabilidad	Fiabilidad y representabilidad de los resultados	Idoneidad
Calentamiento	Tiempo de calentamiento de acuerdo con el sistema constructivo	OK	OK	1*	1*
Enfriamiento	Mantener el agua en un embalse a $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .	OK	OK	OK	OK
	Tiempo de enfriamiento de acuerdo con el sistema constructivo	OK	OK	2*	2*
	Agua para enfriamiento siempre con la temperatura en el intervalo de $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$	OK	OK	OK	OK
	Aspersión de agua uniforme ( $3\text{l/m}^2/\text{min.}$ ) constante y con	OK	OK	OK	OK

	presión sin interferencia en el sistema constructivo				
	Reutilización del agua del ensayo	OK	OK	OK	OK
Ciclos	Ciclos sucesivos, sin intervalo	OK	OK	OK	OK
	Inspección visual a cada ciclo	3*	3*	3*	3*
Probeta	Ancho de la probeta 1,20 m	OK	OK	OK	OK
	Altura de la probeta 2,50 m	OK	OK	OK	OK
Equipos	Radiación por resistencias eléctricas	OK	OK	OK	OK
Estanqueidad	Aplicación del ensayo de estanqueidad al agua de lluvia antes y después del ensayo de choque térmico	OK	OK	OK	OK

1\*, 2\* y 3\* - Nuevas propuestas de avance del ensayo

Con la experiencia acumulada en la aplicación del ensayo de acción de calor y choque térmico realizado con el equipo de panel radiante, se observó que la convección del aire caliente imprimió temperaturas muy elevadas en la parte superior del sistema de cerramiento.

Con la radiación apenas en la parte inferior, la convección del aire ayudó a homogeneizar las temperaturas de la probeta, como se muestra en la Figura 1.

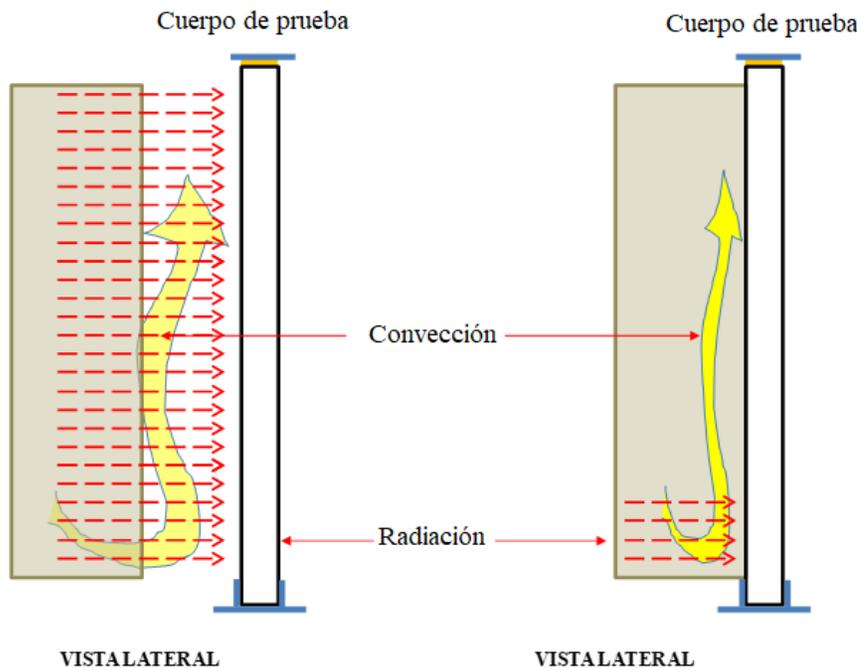


Figura 1. Ejemplos de radiación y convección para acción de calor y choque térmico en SVVE.

Se observa que, en función de las distintas composiciones de los SVVE y espesores **de la probeta**, o calentamiento y enfriamiento presentan comportamientos diferentes para alcanzar tanto a temperatura de superficie ( $80 \pm 3^\circ\text{C}$ ), como a temperatura de choque térmico ( $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ), siendo necesario el ajuste de la fuente de calor. Los chorros de agua fueron estandarizados para proporcionar una simulación de lluvia intensa, constante y uniforme, y tuvieron una presión que no ejerció la influencia en el desplazamiento horizontal ( $d_h$ ) de la probeta.

El agua utilizada fue mantenida a temperatura controlada ( $15^\circ \pm 5^\circ\text{C}$ ). La temperatura controlada

de agua permitió que los chorros de agua tengan siempre la misma temperatura al alcanzar la superficie calentada, haciendo que la temperatura de la superficie calentada disminuyera más rápidamente a  $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

La reutilización del agua utilizada para el enfriamiento de la probeta fue importante para la economía del ensayo. Cada ensayo fué conformado por 10 ciclos de calentamiento y enfriamiento, teniendo como estimado un consumo de 300 litros de agua/ciclo/ probeta, el sistema vertical tenía  $1,20 \pm 0,20\text{m}$  de ancho por  $2,50\text{ m}$  de altura, totalizando un consumo de 3.000 litros de agua por ensayo. La Figura 2 presenta el esquema de flujo de agua para el enfriamiento de la probeta, utilizando sistema de bombeo y filtro, utilizado para evitar la obstrucción de los picos de aspersión de agua.

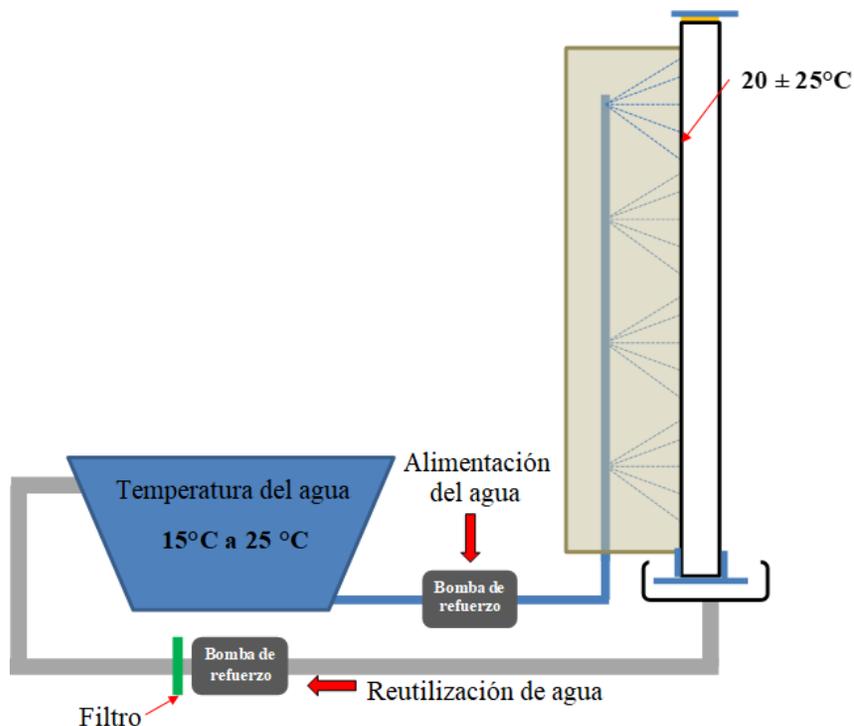


Figura 2. Dibujo esquemático del reusó del agua; dibujo esquemático de confinamiento de la probeta con auxilio de un cuadro de apoyo y la fijación del soporte del difractor para el ensayo de acción de calor y choque térmico en SVVE.

La inspección visual no siempre es suficiente para una evaluación precisa, en cuanto a la degradación sufrida por la probeta. Los ensayos de acción de calor y choque térmico fueron precedidos al ensayo de estanqueidad del agua de lluvia. Luego de la finalización de los 10 ciclos, fue realizado nuevamente el ensayo de estanqueidad. El ensayo de estanqueidad al agua de lluvia siguió lo establecido en la NBR 15575-4 (2013).

Se identificó si había la necesidad de ajustes e innovaciones en el procedimiento que promuevan la reproductividad de las condiciones de exposición, a fin de permitir y proporcionar resultados más fidedignos con el real comportamiento en uso de los sistemas. La Tabla 4 presenta nuevas propuestas para el ensayo de acción de calor y choque térmico.

Tabla 4. Nuevas propuestas de avance en el ensayo de acción de calor y choque térmico

Ensayo	Nuevas Propuestas
Probeta	Restringir la parte superior - representar fielmente el sistema constructivo en uso

<b>Calentamiento</b>	Tiempo de calentamiento 15 – 20 min SVVE ligero y flexible Tiempo de calentamiento 35 – 40 min SVVE pesado y rígido
<b>Enfriamiento del agua</b>	Mantener el agua enfriada a temperatura de $15 \pm 5^{\circ}\text{C}$
	Tiempo de enfriamiento 3min SVVE ligero y flexible Tiempo de enfriamiento 6 min SVVE pesado y rígido
<b>Ciclos</b>	Mantener ciclos sucesivos
<b>Equipos del panel radiante y aspersión de agua</b>	Radiación con resistencias eléctricas y lámparas ultravioleta UVA

## 5. CONCLUSIONES

La consolidación del concepto de desempeño, y establecimiento de requisitos claros, objetivos y bien definidos y la incorporación de ensayos para el conocimiento del potencial desempeño de los sistemas, son ejemplos de una verdadera revolución en el sector de la construcción civil, que impacta directamente en la concepción de edificaciones. Los ensayos de desempeño de edificaciones constituyen un medio rápido, preciso y confiable de predecir el comportamiento potencial en uso de SVVE y es relevante para la evaluación del desempeño de edificaciones.

La realización y los resultados obtenidos permitieron comprender mejor, que esperar como resultado en relación con el comportamiento en el uso de sistemas constructivos, innovadores o no, sometidos a temperaturas ambientales extremas y enfriamientos bruscos de temperatura. Se constató, como era esperado, que en virtud del ensayo no poseer un histórico consistente de uso y de diseminación de resultados, es bastante impreciso en la descripción del procedimiento de ensayo y en detalles del equipo.

Aunque no se hayan hecho propuestas en cuanto a la inspección visual y a los números de ciclos establecidos a los que **la probeta** será sometida, se observó la necesidad de tener criterios, parámetros y límites, para una evaluación más objetiva, evitando la subjetividad de la inspección visual.

En relación con las propuestas de avance en el método de ensayo de acción de calor y choque térmico, fue posible comprobar que son pertinentes y contribuyen significativamente para una mejor estimativa de comportamiento en el uso del SVVE, innovador o no.

De esta forma, se concluye que, las propuestas estudiadas tienen potencial para ser incorporadas al procedimiento de ensayo de acción de calor y choque térmico, promoviendo un resultado más próximo de la situación real.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al Laboratorio de Ensayos y Modelos Estructurales (LEME) da UFRGS por la excelente estructura disponibilidad durante la realización de los ensayos y por la disposición de los técnicos antes, durante y después de los experimentos.

## 7. REFERENCIAS

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 Técnica, 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*”, Doctoral 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*”, Doctoral 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*”, Doctoral 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.