

# Reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas

Francisco Vecchia<sup>1</sup> y Gabriel Castañeda Nolasco<sup>2</sup>

Recibido: 13 de enero de 2006 – Aceptado: 22 de marzo de 2006

## RESUMEN

El estudio describe la experimentación realizada con sistemas de cubiertas ante su reacción frente al calor. Se ensayaron cuatro sistemas de cubierta tradicionalmente utilizados en Brasil: tejas cerámicas de arcilla, tejas de cemento-asbesto y dos opciones de acero galvanizado (con y sin aislamiento térmico de poliestireno de 150 mm). Para el experimento se construyeron cuatro células de prueba, las cuales constan de paredes de ladrillo cerámico macizo de color blanco y el piso de concreto. Se trabajó con el concepto de día típico experimental, que corresponde a la actuación de una masa de aire, para facilitar el análisis de los resultados en un solo día, haciendo las comparaciones en cuatro celdas de prueba. Se compararon, entonces, los valores de la temperatura superficial. Los resultados permiten pensar en la conveniencia de la aplicación de uno de los sistemas de techo analizado. Sin embargo, es importante reconocer que el análisis térmico es solamente una de las variables que se requieren para una propuesta de edificación adaptada al contexto. Por lo que en el presente trabajo se limitan las recomendaciones desde la óptica de la respuesta de los materiales al calor.

**Palabras claves:** Comportamiento térmico, temperatura superficial, ganancias térmicas

## Heat reaction of four roof systems

### ABSTRACT

This article describes the experiments with four kinds of covers considering their heat-gain reactions. The four covers employed for the experiments are traditionally used in Brazil: clay roofing tiles, asbestos-cement roofing tiles and two galvanized steel options (one with 150-mm-polystyrene heat insulation and the other without it). In order to develop the experiments, four test cells were built, with solid 100mm-thick white-ceramic-brick walls and concrete floors. The concept of a typical experimental day, which corresponds to the performance of a particular mass of air upon the covers, was used to facilitate the analysis and results in one single day. The values obtained were compared with the values of the roof-surface temperatures throughout 24 hours. The results show the convenience of the application of one of the systems, nevertheless, it is important to acknowledge that the analysis of the thermal behaviour is only one of the variables that are required to take account of during the development of a proposal for construction adapted to the context. This is why in the present work the recommendations are limited to the heat-gain behaviour of materials.

**Keywords:** Thermal behaviour, surface temperature, thermal gains

---

<sup>1</sup> Profesor del Departamento de Hidráulica e Saneamiento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), Brasil. E-mail: [fvecchia@sc.usp.br](mailto:fvecchia@sc.usp.br)

<sup>2</sup> Profesor del Cuerpo Académico Componentes y Condicionantes de la Vivienda, de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Chiapas, México. E-mail: [gnolasco2@gmail.com](mailto:gnolasco2@gmail.com)

## **INTRODUCCIÓN**

El presente artículo busca mostrar de forma experimental el estudio comparativo del comportamiento térmico de cuatro sistemas de cubiertas tradicionales en Brasil. Fueron evaluados el acero galvanizado, fibrocemento y la cerámica. Además de esto, también se analizó la cubierta de acero galvanizado, aplicándose una cubierta de poliestireno de 150 mm. En este experimento se aplicó el concepto de día típico experimental, de acuerdo con Vecchia (2005), y se analizó comparativamente las temperaturas superficiales interiores de cuatro células de evaluación idénticas, en día de dominio de una masa tropical atlántica (mPA), de característica seca y caliente, con ocurrencia de cielo claro y con valor máximo de radiación solar global de aproximadamente 900 W/m<sup>2</sup>.

Los resultados indicaron que los valores obtenidos para todos los sistemas de cobertura sin aislamiento térmico incorporado presentaron, en la mayor parte del día, temperaturas superficiales internas por encima de los 30°C, lo que puede significar periodos de estrés térmico por acción del calor.

La única excepción observada fue la cobertura de acero galvanizado con aplicación de aislamiento térmico. Entre las innumerables conclusiones posibles, se puede enfatizar la obligatoria necesidad de aplicación de sub-cubiertas, plafones o aislamientos térmicos para reducir la carga térmica entre el exterior y el interior de las edificaciones. Otro aspecto interesante percibido fue el de pequeñas diferencias presentadas entre las temperaturas superficiales de la cubierta cerámica y la de la teja de fibrocemento.

Finalmente, podemos agregar que las mediciones automáticas permiten observar y analizar el comportamiento térmico de espacios interiores, que sirven de referencia para entender el proceso de intercambios térmicos y, además, se aplica en proceso de evaluación experimental de modelos matemáticos de simulación del desempeño térmico de edificios.

---

## **METODOLOGIA**

### **Análisis climático.**

El día 7 de noviembre se puede considerar como típico de las condiciones de calor que ocurren en este período en que amplias regiones del estado de

São Paulo se caracterizan por el dominio de masas tropicales, generalmente secas y calientes. El cielo en ese día se mantuvo claro, con reducida presencia de nubes, verificada en la curva de la gráfica casi parabólica en el gráfico de la radiación solar global, que mostró un valor máximo de 872 W/m<sup>2</sup>, de las 11:20 h hasta las 11:44 h.



**Figura 1.** Vista general del campo experimental donde se observan las células de evaluación (prototipos), a la derecha.

Las Normales Climatológicas de 1961 a 1990, tomadas como referencias en concordancia a los valores experimentales obtenidos, conforme indica el cuadro 1, permite adoptar el día citado como día típico experimental, una vez que la temperatura máxima registrada de ese día es de 29.8 °C, que es mayor al de la temperatura media de las máximas, mostrado por las Normales Climatológicas que es de 25.5 °C. Presenta, por tanto, una diferencia de aproximadamente 4 °C. Por lo que ese día es más caliente que los días habituales, según indican las temperaturas medias máximas obtenidas por las Normales Climatológicas.

Las temperaturas mínimas, también presentan una diferencia significativa con valor de 3.6 °C, siendo 19.6 °C el registrado para la temperatura mínima de las mediciones experimentales y 16.0 °C el valor expresado por las Normales. Lo que, también, conduce a la conclusión de que el día considerado como representativo o típico de la estación es más caliente que el habitual, incluyendo el periodo nocturno.

Sin embargo, la amplitud térmica de los días respectivos, experimental y estadístico, es de 10.3 °C y 9.7°C, respectivamente, y puede ser considerado compatible para ambos periodos. Luego el día 7 de noviembre puede ser tomado como adecuado para el análisis comparativo del comportamiento térmico de distintas células de

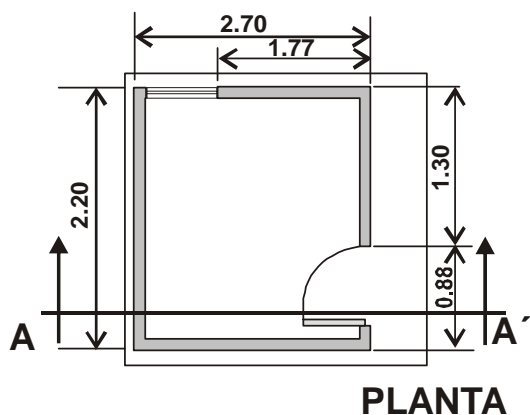
evaluación, principalmente, en su reacción frente al calor.

**Tabla 1.** Comparativo entre los valores experimentales y estadísticos del mes de noviembre, en relación al clima para la región de San Carlos (SP).

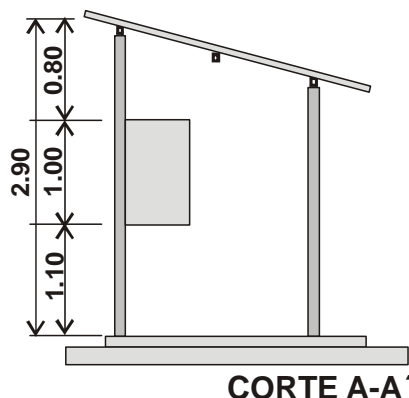
	Normales Climatológicas 1961-1990 (°C)	Valores experimentales registrados durante el día típico experimental (°C)
Tx (Temperatura exterior máxima)	25.5	29.8
T med (Temperatura exterior media)	21.1	24.1
Tm (Temperatura exterior mínima)	16.0	19.6
$\Delta t$	<b>9.7</b>	<b>10.3</b>

**Descripción de las células de evaluación.**

Fueron construidas cuatro células de evaluación idénticas, diferenciándose solamente por el sistema de techo compuesto de estructura de apoyo y el tejado. La base es de forma rectangular con 2.30x2.70 metros, y de altura media de 2.70 metros, éste es el tamaño que asumimos como mínimo para considerar los resultados iguales a un prototipo de escala 1:1. Las figuras 2A y 2B ilustran la conformación de las células de evaluación.



**Figura 2A.** Planta esquemática de las células de evaluación, de 2.20 x 2.70 m, incluye ventana y puerta. Los cuatro prototipos están orientados en la dirección Norte-Sur, para evitar sombras indeseables en las paredes y para favorecer la incidencia de los vientos predominantes.



**Figura 2B.** Corte representativo, con pie derecho medio de 2.70 m.

Los prototipos están construidos con albañilería de ladrillos macizos de 100 mm de ancho, con 50 mm de espesor, juntados con mortero cemento-cal-arena y pintados, tanto en el interior como en el exterior, de color blanco; tienen una puerta y una ventana de madera permanecieron cerradas a lo largo del experimento, lo cual permitió analizar la reacción de los distintos sistemas de techo frente al calor.



**Figura 3.** Campo experimental con las células de evaluación.

**Descripción del equipo de medición.**

El equipo adoptado fue compuesto por una estación meteorológica automática *CR 10X Campbell Scientific*, que, de la misma forma, registró los datos de las temperaturas superficiales (tsi) y temperaturas del aire (tbs) en el interior de las células de evaluación. Las mediciones de temperaturas, tomadas en el centro geométrico de cada célula de evaluación, fueron realizadas por medio de termopares tipo T (cobre-constantin), 2x24 AWG, con protección de PVC, aspirados ininterrumpidamente por pequeños ventiladores eléctricos, a lo largo de las mediciones con el fin

de que el aire contenido en el recipiente protector se sustituyera constantemente y los registros de la temperatura nos mostrara la temperatura del aire interior del prototipo

**RESULTADOS OBTENIDOS**

La acción de la energía incidente sobre los cuatro sistemas de techo puede ser percibida por medio de los diferentes valores de las respectivas temperaturas superficiales internas medias presentadas por los distintos tejados. La figura 4 muestra el resultado de las mediciones realizadas en un día típico experimental a lo largo de 24 horas. Los registros de las temperaturas superficiales se tomaron cada 20 segundos y se totalizaron cada media hora, lo que suman 180 valores por hora de medición.

la temperatura superficial de la piel, que favorece a las ganancias térmicas por medio de la radiación de onda larga, en sentido envolvente de la piel.

Mientras tanto, los valores presentados por la superficie de acero galvanizado, con aplicación de aislamiento térmico de poliestireno de 150 mm. , se sitúan por debajo de la línea de los 30 °C, por lo tanto, dentro de los límites de confort térmico, a lo largo de todo el día.

**DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

En el período de las 10 hasta, aproximadamente las 18 horas, los valores de las temperaturas superficiales superan los 30 °C, o sea, a lo largo de todo el período vespertino, en el cual es crítica la ganancia térmica, sobre todo, por el sistema de

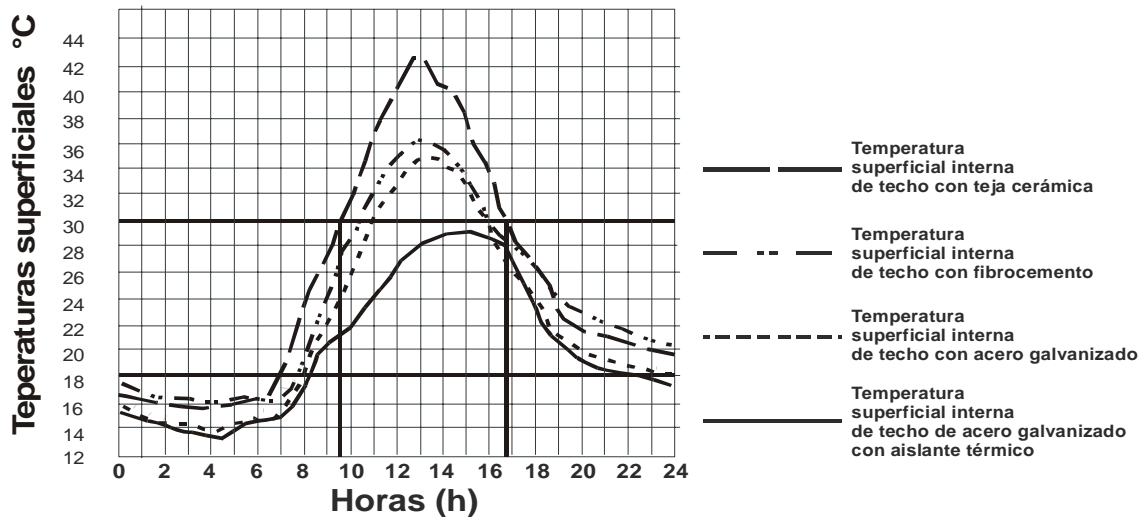


Figura 4- Valores de la temperatura superficial de los cuatro sistemas de techos sin plafón, en el día típico experimental, a lo largo de 24 horas.

Cabe hacer notar que, aproximadamente, entre el intervalo de las 10 y 17 horas todas las temperaturas superficiales de tres de los cuatro sistemas de techos analizados: acero galvanizado, cerámica y fibrocemento, están por encima de los 30 °C, lo que corresponde a la situación de estrés térmico por calor. Si se adopta, hipotéticamente, ese valor como límite superior de confort térmico. Valor que es igualmente próximo a los 31 °C<sup>2</sup> de

techos, responsable de la mayor parte de la carga térmica en una edificación en el primer nivel, que se puede comprobar que a lo largo de todo el periodo vespertino existen temperaturas elevadas, por encima de los 30°C, con excepción en el techo de acero galvanizado con aislamiento térmico:

- El techo de cerámica mantiene un rango de temperaturas arriba de los 30°C durante 8 horas del día (de las 10 hrs. a las 18 hrs.).
- El techo de fibrocemento mantiene temperaturas arriba de los 30 °C aproximadamente durante 6 horas (de las 11 hrs. a las 17 hrs.)

<sup>2</sup> La temperatura de la piel puede variar de 31 a 34 °C sin sufrir estrés térmico de calor, mientras que la temperatura interna del organismo humano es de cerca de 37 °C según Auliciems y Szokolay (1997).

- El techo de acero galvanizado se comporta muy próximo al comportamiento del techo de fibrocemento, respecto al número de horas arriba de los 30 °C, sin embargo con casi 2 °C por debajo del fibrocemento en la temperatura pico.

Este hecho significa que deben ocurrir intercambios térmicos por radiación de onda larga, en sentido del techo hacia el interior de las células de evaluación. A lo largo del periodo nocturno, así como en el periodo de frío intenso, que no fue objeto del presente artículo ni de la investigación, los valores de las temperaturas superficiales, igualmente, indicaron la necesidad de colocar sub-coberturas, plafones o dispositivos de aislamiento térmico ayudando a minimizar las pérdidas térmicas en el sentido inverso (interior-exterior). En el periodo, después de las 22 horas, las temperaturas superficiales interiores se presentan por debajo de los 18 °C, indicador de posible existencia de estrés térmico por frío. Hecho que indica la necesidad de corrección térmica, aislamiento o barrera de radiación.

Es importante considerar, no sólo la temperatura máxima a la que llegan cada uno de los materiales utilizados en los techos analizados en las horas pico, sino también, el tiempo que estos techos mantienen temperaturas por arriba de los 30 °C, pues esto nos permite identificar el tiempo en que los habitantes de los posibles objetos arquitectónicos techados con estos materiales, permanecen en estrés térmico durante el día.

Para la posible aplicación del sistema de techo con acero galvanizado con aislante térmico, es conveniente tener presente que existen otras variables por analizar como por ejemplo las variables culturales, económicas, etc., que limitan la adopción inmediata, principalmente en la vivienda, aun después de demostrar de manera concreta las ventajas térmicas que esto representa pues en el experimento se aprecia claramente que la temperatura superficial de este sistema de techo no contribuye, en ningún momento del día, al estrés térmico por arriba de los 30 °C.

En Brasil el sistema de techo más comúnmente utilizado es el de teja cerámica, tanto en la vivienda en general como en edificios de tipo comercial, tal como se ilustra en las Figuras 5, 6 y 7. Lo anterior obedece a una situación cultural sumado a que el mismo factor de utilización generalizada, llevó al desarrollo industrial de los componentes del techo cerámico,

consecuentemente ha provocado ser el material de construcción de techos más económico, lo que lo hace accesible a todos los estratos económicos de la población.



**Figura 5.** Conjunto habitacional techado con teja cerámica en Rio Preto, ciudad del interior de São Paulo.



**Figura 6.** San José de Río Pardo, en Minas Gerais, Brasil. Se puede observar el predominio en la utilización de la teja cerámica.



**Figura 7.** San Carlos, en São Paulo, Brasil. Se puede observar el predominio en la utilización de la teja cerámica, no sólo en la vivienda.

## **CONCLUSIONES**

Con base en lo anterior se puede afirmar que de los cuatro sistemas de techos analizados, solamente el conformado por acero galvanizado con aislante térmico no reporta temperaturas por arriba de los 30 °C, en ningún momento del día, parámetro que hemos tomado como límite máximo de calor que al estar, aun por debajo de la temperatura de la piel, no afecta de manera agresiva las condiciones térmicas de la vivienda. Sin embargo, los otros tres materiales de los que están contruidos lo respectivos techos, en diferente magnitud, aportan calor al interior de las células de análisis de tal forma que durante varias horas del día la temperatura superficial es más alta que el límite de los 30 °C adoptado, lo que se demuestra con las temperaturas superficiales registradas.

Nuestras conclusiones indican la necesidad de realizar estudios de corrección térmica a los tres prototipos que son afectados por las temperaturas altas, pudiendo dar como resultado la integración de subcoberturas, plafones u otros dispositivos de aislamiento térmico para disminuir los intercambios de calor interior-exterior, para evitar las temperaturas pico tan altas, pero principalmente que se reduzca el número de horas en las que la temperatura superficial del techo esté por arriba de los 30 °C. En este caso particular, en su reacción frente al calor, esto es, a las ganancias térmicas por la cobertura, una vez que las células de evaluación presentaron las mismas características constructivas: implantación en el terreno y orientación de las aberturas (puertas y ventanas de madera que permanecieron siempre cerradas durante las mediciones automáticas). Solo hubo variación en la constitución de los sistemas de techos, y sólo en uno de ellos, el de acero galvanizado, fue aplicado el aislamiento térmico de poliestireno.

En el caso de reacción frente al frío, las mediciones de las temperaturas superficiales obtenidas, próximas o inferiores a los 18 °C, nos permiten concluir en la necesidad de utilizar subcoberturas, plafones o cualquier dispositivo de protección en relación a las pérdidas térmicas nocturnas, que ocurren por medio de transmisión de calor por radiación, también denominadas pérdidas por radiación nocturna.

Finalmente, la proximidad de los valores entre todas las temperaturas superficiales mínimas, tomadas en el periodo nocturno, conduce a la

preocupación de que las propiedades térmicas de los materiales y de los elementos constructivos tienen menor actuación sobre los efectos climáticos (impedir pérdidas térmicas al exterior), una vez que se percibe la disminución de las temperaturas interiores por pérdidas de calor. O sea, la situación de los sistemas pasivos como la resistencia y la capacidad térmica se presentan con mayor efectividad impidiendo las ganancias térmicas al interior de viviendas, contrario a las pérdidas de calor al exterior por las noches.

Por lo anterior, se sugiere la colocación de dispositivos de protección para impedir los intercambios térmicos entre las variables climáticas (principalmente la radiación solar, la temperatura y humedad del aire, dirección y velocidad de los vientos) y los ambientes interiores, una vez que se comprobó que la sola utilización de tejas no es suficiente para garantizar el adecuado comportamiento térmico de las edificaciones.

Con base en los resultados obtenidos en el análisis del techo de acero galvanizado con aislamiento térmico, se sugiere que para su aplicación en edificaciones, principalmente la vivienda, se promueva intensamente las cualidades térmicas que éste mantiene frente al calor, principalmente, por la cultura constructiva existente en el contexto de Brasil, pues la cultura constructiva determina la utilización, principalmente, de teja cerámica aun que en este trabajo se demuestra que con este sistema existen aportaciones térmicas al interior, aproximadamente por 10 horas durante el día de análisis.

---

### **Reconocimiento**

El proyecto del que se deriva el presente trabajo, es parte del acuerdo especial entre Empresa-Universidad para el financiamiento de la investigación, y responde a la colaboración entre la Escuela de Ingeniería de São Carlos de la Universidad de São Paulo (EESC USP) y la Compañía Siderúrgica Nacional (CSN).

---

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AULICIEMS, A. & SZOKOLAY, S. V. (1999). *Thermal comfort*. PLEA Notes, Brisbane (Australia), PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture. University of Queensland.

VECCHIA F. (1996). *Informe técnico CSN sobre comportamiento térmico comparativo de sistemas de cobertura*. São Carlos, Departamento de Arquitectura y Urbanismo, EESC USP.

VECCHIA F. (2005). *Avaliação do comportamento térmico de coberturas verdes leves (CVLs)*. São Carlos, Pluris 2005 – I Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano Regional Integrado Sustentável.

VECCHIA F. (1997). *Clima e Ambiente construído*. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH USP). Tese de doutoramento.

VECCHIA F. (2005). “*Climatologia aplicada ao Ambiente Construído: análise climática, avaliação e previsão do comportamento térmico de edificações ocupadas*”. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC USP). Textos sistematizados apresentados para Concurso de Livre-Docência.

---

Este documento se debe citar como:

Francisco Vecchia y Gabriel Castañeda Nolasco. (2006). **Estudio de la reacción ante el calor de cuatro sistemas de cubiertas**. *Revista Ingeniería*, 10-1, pp.17-23. ISSN: 1665-529X