

Aplicación de cubiertas verdes en climas tropicales. Ensayo experimental comparativo con techumbres convencionales

Francisco Vecchia. EESC, USP, Brasil
Gabriel Castañeda. UNACH, México
Jaime Andrés Quiroa. EESC, USP, Brasil

Resumen

El artículo muestra los resultados de mediciones térmicas experimentales de cubiertas verdes ligeras (CVL) en células de prueba construidas en clima tropical de altitud, con una cota altimétrica de 900 metros. Los resultados se obtuvieron por medio de las temperaturas interiores, del aire y de las superficiales, y evidencian que el techo verde es factor de reducción de los cambios térmicos entre el exterior y el interior, pues actúa como elemento de retraso y de amortiguamiento térmico, sobre todo, en edificaciones de un nivel en que las techumbres son más vulnerables a los cambios térmicos. Respectivamente, el retraso verificado fue de 4 (cuatro) horas y el amortiguamiento de 6° C. Se observó que las temperaturas del aire y las temperaturas superficiales interiores de la techumbre verde tuvieron, en su reacción frente al calor, temperaturas menores que las del aire exterior y debajo de los límites del confort térmico, hipotéticamente tomándose el Diagrama Bioclimático de Victor Olgyay (1963) como referencia de limitante superior.

Abstract

This article shows the results from experimental thermal measurements upon light green roofs in trial cells built in altitude tropical weather (900 m. / 295 ft). These results were obtained from inside, outside and air temperatures; and they show that green roofs are a factor of reduction in inside and outside thermal changes since they work as a delay and thermal absorption element, specially in those buildings where roofs are more vulnerable to thermal changes. Respectively, the verified delay was four hours and the absorption was 43° F. Inner air and roof temperatures reacted to heat with lower temperatures than exterior air and also below the limits of thermal comfort, taking, hypothetically, the bioclimatic diagram of Victor Olgyay (1963) as the reference of upper limit.

Este artículo busca mostrar los resultados de la medición experimental comparativa de las temperaturas de dos techumbres en dos células de prueba (prototipos) de igual construcción. Un techo tradicional compuesto por losas de concreto armado sin utilización de tejas de recubrimiento y otro alternativo con la aplicación de pasto sobre la cubierta. La importancia del pasto se refiere a la atenuación de las temperaturas interiores, sobre todo, de las superficiales que, además de incrementar los valores de las temperaturas del aire interior, actúan, directamente, sobre la piel de las personas al interior de viviendas, por medio del efecto de cambios térmicos por radiación.

Aunque la percepción del confort térmico sea distinta por diferentes personas, sus efectos previsibles en la salud y en la productividad del trabajo intelectual o no afectan el desarrollo económico por la utilización irracional de energía para el acondicionamiento térmico de edificios, entre otros efectos indeseables, pero, necesarios.

En dos células de prueba proyectadas para el ensayo experimental, en igual condición, se construyeron variándose sólo los sistemas de techo. El estudio de evaluación comparativa de las respuestas térmicas forma parte de esfuerzos de investigación cooperativa entre las Universidades Autónoma de Chiapas, en México, y la de São Paulo, Sao Carlos, en Brasil, además de participar del Sub-Proyecto XIV.8–Casapartes, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED).

El estudio de carácter experimental se justifica, pues no es posible, por las variables termo-físicas del pasto, tomar

Descriptores:

Cubiertas verdes ligeras; Comportamiento térmico de techos verdes

TECNOLOGÍA Y CONSTRUCCIÓN. Vol. 22-II, 2006, pp. 09-13.
Recibido el 27/07/06 - Aceptado el 25/02/07

programas computacionales o modelos matemáticos de simulación para predicción de las temperaturas interiores, superficiales y del aire. Este estudio podrá contribuir en el tema de ecuaciones predictivas de temperaturas interiores, de Givoni y Vecchia (2001), porque esas ecuaciones son formuladas por medio las respuestas de mediciones experimentales, de los datos de las temperaturas interiores y de la radiación solar global junto con los valores de las temperaturas del aire exterior.

Los resultados que se lograron en este experimento muestran que hay claras ventajas en la construcción de techos verdes, pues dicho sistema actúa como elemento de retraso y de amortiguamiento térmico, sobre todo, en edificaciones de un solo nivel en que sus techumbres son los cerramientos más frágiles en los cambios térmicos con el clima exterior. Respectivamente, el retraso verificado fue de cuatro horas y el amortiguamiento de 6°C.

Además de esas ventajas, se pudo observar que las temperaturas del aire y las temperaturas superficiales interiores de la techumbre verde tuvieron, en su reacción frente al calor, temperaturas menores que las del aire exterior y por debajo de los límites del Confort Térmico, hipotéticamente tomando como referencia de limitante superior el Diagrama Bioclimático de Olgyay (1963). El límite superior se puede pensar como el de las temperaturas superficiales de la piel, entre 32°C a 33°C según Dogerty y Szokolay (1999) y el límite inferior a los 19°C, el valor máximo de la ecuación de SIPLER, para el efecto "wind chill".

Finalmente, es importante decir que los sistemas constructivos de los techos verdes son fundamentales en la determinación de sus propiedades térmicas, pues la composición del substrato (tierra), con su espesor, incrementa la capacidad térmica y, por lo tanto, produce mayor almacenamiento y retraso térmico en las techumbres. Los experimentos realizados y descritos en ese artículo se refieren a cubierta verde ligera (CVL), con un espesor máximo de diez centímetros, como está esquematizado en el gráfico 1.

Material y métodos

Análisis climático

El día experimental tomado para la evaluación está definido como día de excepcional calor, por los valores de la temperatura del aire exterior y, también, por su valor máximo de 34°C, mayor que el promedio de las máximas. El efecto de la radiación solar global fue total por las características de cielo limpio por todo el día, con valor máximo de 837 W/m². Además, el episodio climático adoptado pasó en el dominio de una masa Tropical Atlántica (mTA), de característica seca y peculiar a esa época del año (Vecchia, 2005a).

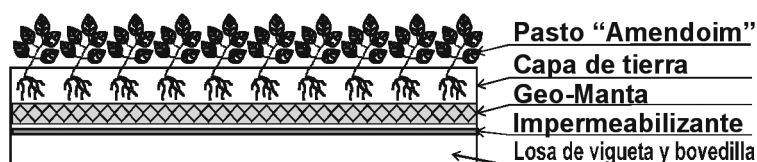
Sistema de adquisición de datos

El equipo de medición CR10X, Campbell Scientific Inc., fue utilizado para adquisición y para almacenamiento de datos del clima y del interior de las células de prueba. El sensor de temperatura y humedad del aire fue el HMP45AC de Vaisala y de la radiación solar global fue el piranómetro *Koeppe & Zonen*. Las temperaturas superficiales y del aire interior se tomaron con termopares tipo T (cobre-constantin), 2 x 24 AWG, con doble protección de PVC.

Sistema de mediciones

El sistema de medición automático registró todos los datos a cada 20 segundos con totalizaciones cada media hora, formando conjuntos promedios con 180 datos por hora. Los registros de las temperaturas del aire de los interiores fueron tomados por termopares distantes a 1,50 metros del piso, con un dispositivo de protección (abrigo) contra posibles errores impuestos por radiaciones internas, como se aprecia en el gráfico 2. Las temperaturas superficiales se registraron también por termopares que tuvieron sus puntas insertadas en pequeñas cavidades hechas en las superficies interiores de las techumbres y con protección de masa térmica para impedir el efecto negativo de la radiación interna.

Gráfico 1
Camadas que componen
la Cubierta Verde Ligera (CVL).



Celdas de prueba (prototipos)

Las celdas de prueba están configuradas de acuerdo con lo que registra el gráfico 3, planta baja y corte, con 2,30 x 2,70 metros y altura promedio de 2,60 metros. Piso de hormigón y paredes perimetrales de ladrillos de cerámica macizos, pintada de color blanco. La estructura de la techumbre de ambos prototipos está formada por viguetas prefabricadas de concreto armado y con bovedilla cerámica entre las vigas con una capa de concreto 3 centímetros de espesor en la parte superior, armado con hilos de acero por dilatación.

Resultados obtenidos y discusión

Fue definido el día 9 de octubre como típico experimental (Vecchia, 1997), representativo de la actuación y del dominio de una masa Tropical Atlántica (mTA), de característica seca, con valores excepcionales de la temperatura del aire, superiores a los promedios de las máximas, y con radiación solar global de casi 850 W/m^2 , en día de cielo limpio.

En el gráfico 4 se distinguen dos aspectos principales. Primero el hecho de que todas las temperaturas se encuentran casi iguales a las 9 horas y treinta minutos (en la mañana) y, después en la noche, a las 22 horas y treinta minutos, originando un período total de 13 horas en el cual las temperaturas siguen en su reacción frente al calor. El segundo aspecto es que, en esa reacción, las distintas propiedades termo-físicas de los componentes constructivos imponen las diferencias de temperaturas interiores, del aire y de las superficies. La mayor temperatura superficial es la del techo de losa de concreto, con valor de 45°C , seguida por la del techo verde (CVL), con valor de $26,7^\circ\text{C}$. Además que hay un retraso de cuatro horas, entre los valores máximos de las temperaturas superficiales de los dos prototipos.

Especial atención merece observar que la temperatura superficial máxima del techo verde (CVL) es la menor de las máximas, además de ser la menor por todo el período vespertino. La comparación entre las temperaturas máximas de los prototipos, losa de concreto y CVL, se aproxima a los 18°C , que se debe considerar elevado, sobre todo si se considera la temperatura superficial máxima, tsi de la

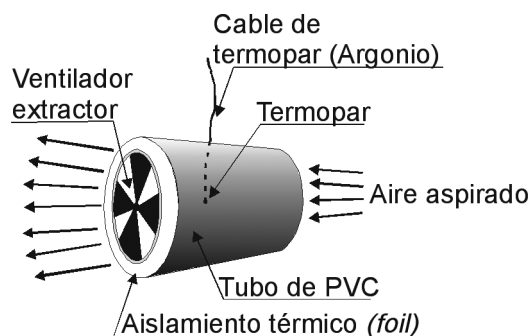


Gráfico 2
Termopar con abrigo de protección de PVC, con succión (aspiración) del aire a velocidades superiores a 1,5 m/s, de acuerdo con el tradicional psicrómetro de Assmann.

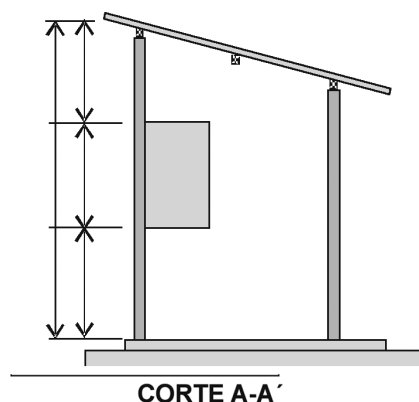
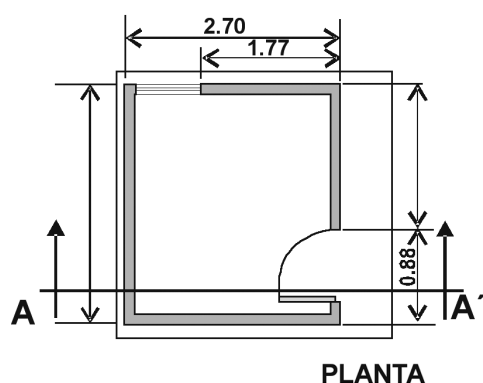


Gráfico 3
Dimensiones de las similares celdas de prueba donde se hicieran los experimentos con distintos sistemas de cubiertas convencionales y con la propuesta de cubierta verde ligera (CVL).

losa de concreto, $t_{si \text{ losa de hormigón}} = 45 \text{ } ^\circ\text{C}$, contra los $27 \text{ } ^\circ\text{C}$ de la superficial de la CVL. Además del valor más reducido, el valor de $t_{si \text{ CVL}} = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$ está por debajo de los límites superiores de confort térmico propuestos por distintos diagramas y por diferentes metodologías establecidas para delimitar los límites de confort. La percepción de las temperaturas radiantes es adecuada, por no imponer estrés térmico a los posibles habitantes de edificaciones con ese tipo de techo.

Por lo tanto, en la reacción frente al calor, el prototipo de CVL presenta mejores y más adecuadas condiciones de confort térmico, por su comportamiento ante el calor. Absorbe la radiación solar, la transmite internamente por conducción (paso, substrato, losa de hormigón) y, después de un intervalo de tiempo, la retransmite al interior del prototipo, el calor, en ondas largas (de 0,4 hasta 9 micrómetros), calentando el aire interior y afectando a las personas por medio de la transmisión por radiación.

La aplicación de techo verde permitiría a las personas adecuada percepción de confort térmico en el interior, por temperaturas bajas en el interior durante todo el período crítico de calor, por la tarde, al contrario de la techumbre de losa hormigón que presenta temperaturas radiantes

mayores que la soportable de $32,1 \text{ } ^\circ\text{C}$ a partir de 11 horas y treinta minutos (Dogerty y Szokolay, 1999).

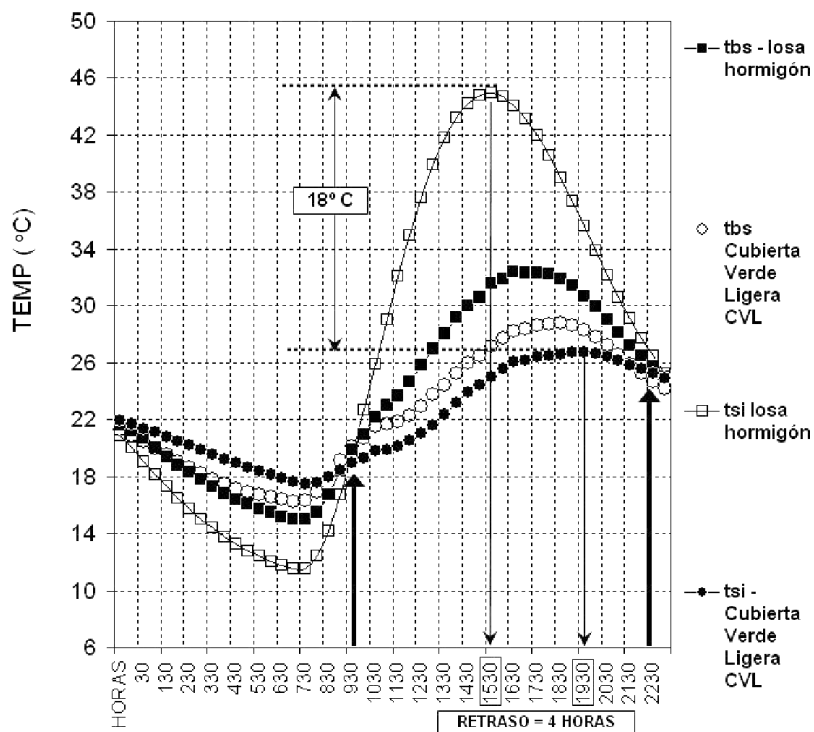
Considerando que los valores de las temperaturas superficiales del techo verde (CVL) son menores que todas las demás temperaturas, se puede concluir que en su reacción frente al calor, la superficie del lecho inferior del techo verde actúa como un elemento absorbente de calor del aire interior, pues, por ser menor su temperatura, consecuentemente, le roba temperatura al ambiente. El techo verde es entonces un elemento o sistema pasivo de refrigeración de ambientes interiores, en su reacción al calor, principalmente en el período crítico, por la tarde.

Por lo anterior se recomienda su aplicación como elemento de mitigación al exceso de calor proveniente de losas de concreto armado, muy utilizadas en toda Latinoamérica. Observándose los valores de las temperaturas superficiales y de aire interior del prototipo de losa de concreto armado se concluye que:

- A partir de aproximadamente 12 horas las temperaturas superficiales están arriba de los $32 \text{ } ^\circ\text{C}$, donde comenzaría la percepción del disconfort, por las ganancias de radiación térmica sobre la piel de los posibles habitantes. Eso ocurriría hasta cerca de las 22 horas (en la

Gráfico 4
Temperaturas superficiales de los prototipos de losa de hormigón y de CVL, día 9 de octubre, con retraso térmico de 4 horas y diferencia de $18 \text{ } ^\circ\text{C}$ entre los respectivos valores máximos.

Episodio climático de reducida humedad del aire



noche). En ese intervalo, la losa de concreto armado también actúa como elemento de calentamiento del aire interior que, desde 16 hasta 18h 30 minutos, presenta temperaturas por encima de los 32°C, incrementando la percepción del calor. Por lo tanto, se recomiendan medidas de atenuación térmica en todas las losas de concreto armado, tales como pintura en colores claros, sombrear la superficie exterior, aplicar algún aislante térmico y/o barrera de radiación, entre otras medidas de mitigación térmica.

- Aunque las temperaturas del aire interior no sean muy inadecuadas, están cerca de los límites superiores de confort térmico aceptables, su conjugación con las temperaturas superficiales hace daño a la salud, a la productividad en actividades laborales en escuelas, oficinas, plantas, hospitales, etc., sobre todo, a la percepción de las temperaturas ambientales y a la satisfacción en cuanto al ambiente térmico.

Con lo anterior se exponen evidencias de que el techo verde es una mezcla de dos efectos térmicos: sombrear la superficie con el pasto y agregar a la edificación masa térmica mediante el espesor del sustrato.

Conclusiones

El sustancial avance de la investigación es el de concluir que los techos verdes (CVL) exhiben un comportamiento térmico de refrigeración en su reacción frente al calor, puesto que su superficie interior presenta temperaturas menores que las del aire interior y las del aire exterior. Por eso, actúa como elemento atenuador térmico de los espacios internos, contribuyendo a disminuir los valores de la temperatura interna del aire.

Por lo tanto, permite una adecuada percepción del confort térmico en periodos de calor excepcional y, por eso, es también válido en todos los momentos en que las ganancias de calor pueden comprometer la percepción de las temperaturas ambientales al interior de las viviendas.

Además de importantes ventajas térmicas, los techos verdes, cumplen funciones estéticas en los edificios y colaboran reduciendo la probabilidad de ocurrencia de islas de calor urbano, y la eventual inundación por el retraso del escurrimiento de las aguas de lluvias (*runoff*) y su posible reuso para finalidades específicas.

Referencias bibliográficas

- Doherty, A. y Szokolay, S. V. (1999) *Thermal comfort*. PLEA Notes, Brisbane (Australia), PLEA: Passive and Low Energy Architecture, Department of Architecture, University of Queensland.
- Olgay, V. (1963) *Design with climate*. New Jersey, Princeton University Press, 1963.
- Vecchia, F. (1997) *Clima e Ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo (FFLCH USP). Tese de doutoramento.
- 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. (2005a) "Climatologia aplicada ao Ambiente Construído: análise climática, avaliação e previsão do comportamento térmico de edificações ocupadas". São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC USP). Textos sistematizados apresentados para Concurso de Livre-Docência.