



TEMPERATURAS EM PROTÓTIPO DE EDIFICAÇÃO COM COBERTURA AJARDINADA: SÃO CARLOS, SP

Caroline Morais (1); Maurício Roriz (2)

(1) 1833 Orchard Place #B, Urbana, IL, 61801, USA, (1) 217 344 9168,
carolinesmorais@hotmail.com

(2) Universidade Federal de São Carlos, Professor Dr., São Carlos, SP, Brasil, (55) 16 33611442,
m.roriz@terra.com.br

RESUMO

Discute-se neste trabalho o comportamento térmico de um protótipo de cobertura verde, submetido ao clima da região de São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil, em situação de inverno e de verão. Nesse sentido, foram monitoradas lajes de coberturas com e sem vegetação. Os dados obtidos foram analisados comparativamente, tomando-se como base os sistemas construtivos das coberturas, assim como seus desempenhos térmicos. Os resultados da análise indicaram melhor desempenho da cobertura verde, cujas temperaturas permaneceram mais estáveis e resistentes às flutuações térmicas diárias.

ABSTRACT

This study was realized in order to determine the thermal behavior of a green roof prototype, which was submitted to the climate of São Carlos region, State of São Paulo, Brazil. The field measurements were taken in two phases: winter and summer conditions. Therefore, the prototype of green roof and a bare roof were evaluated for the purpose of to obtain data about their thermal performance. The data were comparatively analyzed according to the roofs building systems as well as their contribution as thermal protectors. From the recorded data, the green roof conserved itself more stable and resistant to the daily thermal fluctuations.

1. INTRODUÇÃO

O território brasileiro recebe intensa insolação durante a maior parte do ano. Assim, a cobertura deveria ser a vedação com maior proteção térmica, em particular nas edificações com poucos pavimentos. Muitos sistemas construtivos de coberturas são desenvolvidos para minimizar os fluxos energéticos entre interior e exterior.

A vegetação aplicada à cobertura pode protegê-la da radiação solar direta, assim como resfriá-la, por intermédio do efeito de refrigeração evaporativa (DEL BARRIO, 1998). Em regiões de clima quente, como é o caso de boa parte do Brasil, esse efeito pode ser aproveitado para reduzir o calor que penetra nos ambientes internos. As “coberturas verdes” variam desde um simples gramado a um sofisticado jardim, podendo constituir alternativas viáveis, devido às suas inúmeras vantagens quanto a aspectos de ordem técnica, econômica e estética e psicológica, oferecendo significativo potencial a ser explorado.

Em relação a outros tipos de coberturas, a cobertura verde tem eficiência e vantagens comprovadas quanto a requisitos de estabilidade, resistência mecânica, segurança contra incêndio, proteção contra ruído, economia de energia e proteção térmica (MORAIS, 2004).

2. SOBRE COBERTURA AJARDINADA

Cobertura ajardinada, verde ou ecológica é toda estrutura de telhado ou cobertura que agrega em sua composição, uma camada de solo e outra de vegetação, uma vez que seu sistema construtivo se baseia em uma técnica de aplicação de camadas (CORREA; GONZÁLEZ, 2002). Conforme sua tipologia, pode ser classificada em extensiva ou intensiva. As extensivas (Figura 1, à esquerda) adotam camadas delgadas de solo, com espessura entre 8 e 12cm e carga média de 100kg/m² e plantas de pequeno porte, como as autóctones, por serem mais resistentes a pouca manutenção [3]. As intensivas (Figura 1, à direita) caracterizam-se por camadas de solo maiores que 20cm; plantas, arbustos e árvores de médio e grande porte, que exigem projeto mais complexo; estrutura reforçada (devido às cargas entre 700 e 1200 kg/m²) e manutenção rigorosa (CORREA; GONZÁLEZ, 2002).

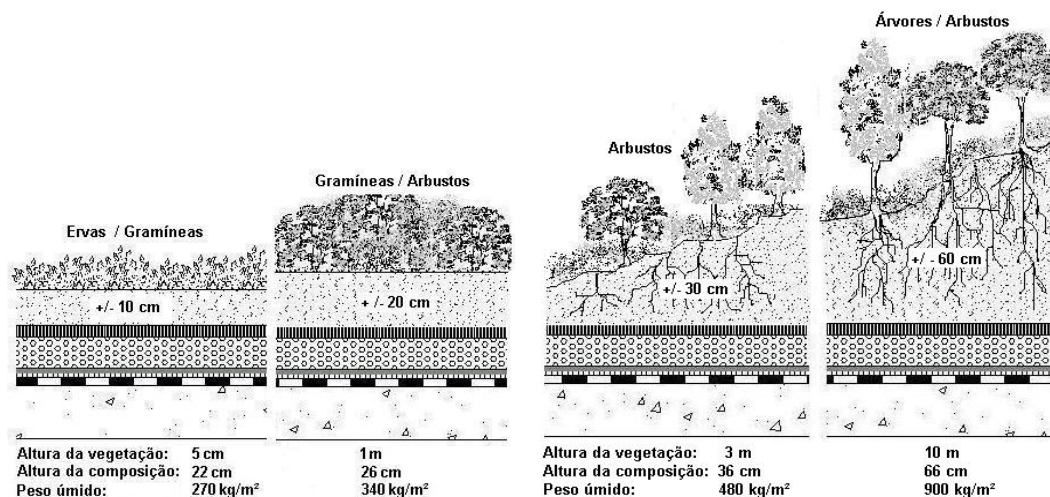


Figura 1 Cortes esquemáticos de cobertura verde extensiva (esquerda) e intensiva (direita)

2.1 Detalhes Construtivos

Em ordem decendente, os seguintes materiais são usados nas camadas de coberturas verdes extensivas (Figura 2):

1. Vegetação: selecionada de acordo com clima, solo, estrutura suporte e manutenção. As espécies que não exigem muita umidade e plantas nativas são as mais indicadas;

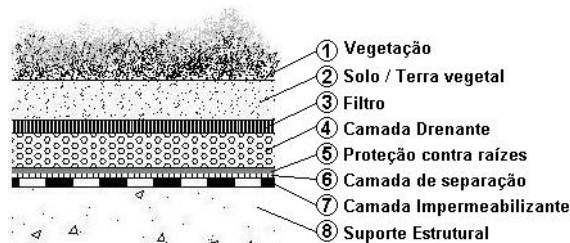


Fig. 2 Camadas de cobertura verde extensiva

2. Solo: substrato orgânico ou terra vegetal. Deve ser evitado solo argiloso. Espessura varia de acordo com o tipo de vegetação escolhida;

3. Camada filtrante: normalmente utiliza-se manta geotêxtil ($\pm 150\text{g/m}^2$), para evitar que a água arraste as partículas de solo;

4. Camada drenante: fundamental para o sistema, pode ser de brita, argila expandida ou seixo rolado, de 7 a 10cm de espessura, para dar vazão ao excesso de água do solo;

5. Camada de proteção contra raízes: ou de retenção de água (painél sintético absorvente), aplicada sobre a impermeabilização;

6. Camada de separação: ou isolante térmico, escolhido em função da transmitância térmica. Poliestireno extrudado é usual;

7. Camada impermeabilizante: pode ser betuminosa ou sintética, cuja função é proteger o suporte estrutural contra infiltrações;

8. Laje ou suporte estrutural: devem ser consideradas cargas permanentes (peso de todas as camadas do sistema e o peso da água) e acidentais (pessoas e de máquinas).

As vantagens e desvantagens dos dois principais tipos (extensivo e intensivo) de cobertura verde estão resumidas na Tabela 1 (adaptada de JOHNSTON e NEWTON, 1996, p.56). As informações descritas a seguir são genéricas, pois cada sistema, individualmente, pode ser uma combinação de extensivo e intensivo, dependendo de fatores como localização, capacidade de carga estrutural do edifício, orçamento, disponibilidade de materiais e necessidades dos usuários.

Tabela 1 Comparação entre os sistemas Intensivo e Extensivo de coberturas ajardinadas

	Sistema Extensivo	Sistema Intensivo
Descrição	Fina camada de solo; Pouca ou nenhuma manutenção; Plantas resistentes.	Profunda camada de solo; Sistema de irrigação; Rígida manutenção;
Vantagens	Baixo peso; Apropriado para grandes áreas; Conveniente para inclinação de 0 a 30°; Não requer sistemas de irrigação; Relativamente requer pouca perícia técnica; Adequado para restauração, ou “retrofit” Permite desenvolvimento espontâneo da vegetação; Custo relativamente baixo; Aparência mais natural; Mais fácil para obter aprovação de projeto	Maior diversidade de plantas; Boas propriedades de isolamento; Pode simular um jardim ao chão para animais; Pode ser muito atrativo; Visualmente acessível com maior frequência; Diversas utilizações da cobertura (recreação, produção de alimentos, áreas livres).
Desvantagens	Escolha mais limitada de plantas; Pouco acessível para recreação e outros usos; Não atrativo em algumas situações, principalmente no inverno.	Maior carga estrutural na cobertura; Necessita de drenagem e irrigação; Requer mais energia e água; Exige sistemas mais complexos e mais perícia técnica.

2.2 Custos

Os custos de implantação de coberturas verdes parecem ser mais altos do que realmente são. A Alemanha tem uma organizada indústria de serviços de instalação de coberturas verdes, o que reduz significativamente os custos iniciais. Todavia, entre os alemães, a mesma escala de economia não foi percebida, pois apesar do aperfeiçoamento dos métodos de fabricação e instalação, os altos custos iniciais ainda limitam o uso de coberturas verdes (WONG, 2003a). A cobertura verde extensiva pode ser até 80% mais barata que uma cobertura verde intensiva. Contudo, os custos de instalação de uma cobertura verde tornam-se difíceis de calcular devido às consideráveis variações de projetos. Sua instalação requer um certo capital de investimento, especialmente numa situação de readaptação ou “retrofit”. Entretanto, essa despesa inicial pode ser compensada com a redução do consumo energético e das despesas com manutenção (JOHNSTON e NEWTON, 1996, p.12).

2.3 Benefícios

Os benefícios das coberturas verdes incluem: melhora na qualidade do ar; alterações microclimáticas (minimizando as “ilhas urbanas de calor”); refrigeração evaporativa; isolamento térmico e redução no consumo energético dos edifícios. Recentes estudos em edifícios comerciais na Cingapura mostram que essas coberturas verdes podem reduzir em até 15% o consumo energético anual (WONG, 2003b). Devido às várias funções da vegetação, as coberturas verdes também desempenham bom papel no manejo de águas pluviais; isolamento sonoro; proteção das coberturas contra radiação solar direta; efeito visual e estético dos edifícios e na qualidade da saúde humana.

Os serviços necessários à instalação de coberturas verdes têm tido significativo impacto no aumento de empregos no mercado de trabalho. Desde 1982, na Europa, onde podem ser encontrados vários exemplos de aplicação de telhados verdes, o crescimento médio anual da indústria de cobertura verde é de 15 a 20%. Nesse setor, a Alemanha é o país que mais se destaca (PECK, 1999).

2.4 Desempenho térmico

Convém expor os conceitos de amplitude, amortecimento e atraso, relacionados à inércia térmica e adotados neste trabalho (Figura 3). Considerando a temperatura do ar externo e a temperatura superficial interna de um fechamento qualquer (Figura 3), a amplitude térmica média (Δ) é a diferença entre as temperaturas médias máxima e mínima. O atraso térmico (ϕ) é o tempo, em horas, transcorrido entre a variação térmica no exterior e sua manifestação na superfície interna do fechamento e o amortecimento térmico (μ) é a capacidade do fechamento de reduzir a amplitude das variações térmicas, sendo obtido por meio da razão entre amplitude superior interna (Δ_{si}) e amplitude superior externa (Δ_{se}) (ABNT, 2003).

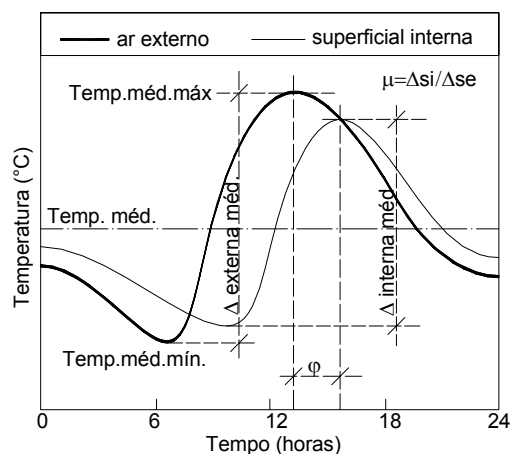


Figura 3 Amplitude, atraso e amortecimento térmicos (adaptado de RIVERO, 1985)

3. METODOLOGIA

3.1 Localização

A cidade de São Carlos, localiza-se a 22° 02' S de latitude, 47° 52' W de longitude e altitude média de 840m, na região central do Estado de São Paulo (Figura 4). O clima local é tropical de altitude, com inverno seco, verão chuvoso e precipitação média de 1.500 mm anuais. Conforme as Normais Climatológicas de 1961 a 1990 (BRASIL, 1992), entre abril e novembro, as médias mensais de umidade relativa permanecem abaixo de 70% e as amplitudes médias mensais de temperaturas variam entre 10° e 11.8°C.



Figura 4 Localização da cidade de São Carlos

3.2 O Protótipo

O protótipo de cobertura verde foi construído sobre a laje de uma edificação já existente, no campus da UFSCar, São Carlos (Figura 5).



Figura 5 Vistas da edificação onde foi implantada a cobertura ajardinada.

A edificação é construída em alvenaria de bloco cerâmico de 8 furos, revestida com argamassa e pintura acrílica nas vedações verticais laterais e frontal. As vedações horizontais são de laje pré-

moldada com camada de regularização em argamassa.. A vedação posterior tem elementos vazados em toda sua extensão (Figura 6).

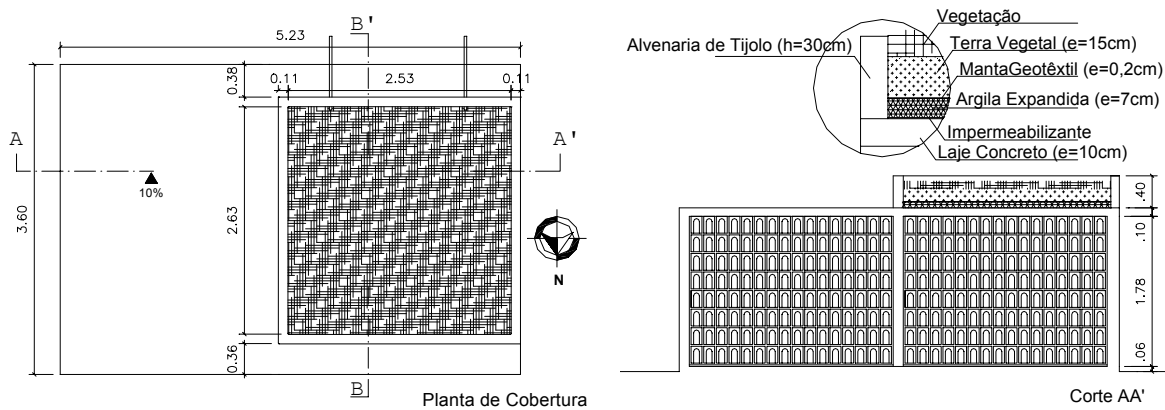


Figura 6 Planta e corte esquemáticos da cobertura do protótipo

A execução do protótipo durou 15 dias e incluiu as etapas indicadas na Figura 7:



Figura 7 Etapas da execução do protótipo

3.3 Instrumentos

Adotou-se sistema eletrônico de aquisição de dados de temperaturas e umidades, modelo HOBO®. Para evitar interferências sobre as variáveis medidas, os aparelhos foram posicionados à sombra e no interior de recipientes de alumínio com pequenas aberturas para a livre circulação do ar.

Foram medidas temperaturas do ar (T_{bs} , °C) internas e externas ao protótipo; temperaturas superficiais internas (SupInt) das lajes e umidade relativa do ar (UR). Os dados climáticos mensais foram obtidos em estação climatológica próxima. As temperaturas superficiais externas da laje comum (LC) e da vegetação (CV) foram estimadas pelo programa Jardim 1.0 (RORIZ, 2003), que adota um modelo de cálculo baseado no método de Penman-Monteith, que determina a taxa de evapotranspiração da água em plantas e no solo.

4. RESULTADOS: COBERTURA VERDE (CV) E LAJE COMUM (LC)

As medições ocorreram em junho (inverno) e outubro (verão) de 2003. Os sensores foram programados para registrar temperaturas e umidades a cada 10 minutos, 24 horas por dia.

4.1 Desempenho térmico durante o inverno

Devido à grande área de aberturas (elementos vazados), não foram significativas as diferenças entre temperaturas do ar externo (TbsExt) e do ar interno dos dois ambientes (Figura 8).

A temperatura superficial interna da LC (SupIntLC) apresentou maiores oscilações diárias, com máxima de 24,4°C, enquanto que a da CV (SupIntCV) foi de 21°C. As amplitudes médias, de 6,3°C e de 1,8°C, das SupInt da LC e da CV, respectivamente, associadas aos seus coeficientes de amortecimento e atraso térmico, evidenciaram o melhor desempenho da cobertura verde (Figura 9).

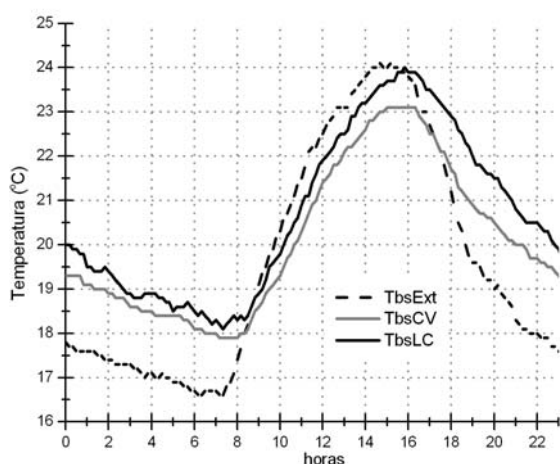


Figura 8 Inverno: temperaturas do ar (Tbs)

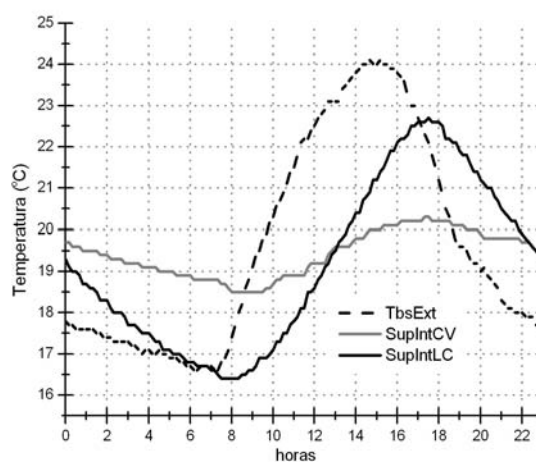


Figura 9 Inverno: temperaturas superficiais internas (SupInt)

Comparada com a temperatura superficial externa da LC (SupExtLC), a temperatura superficial da grama (SupExtCV) sofreu variações térmicas muito menores. A maior diferença entre elas foi de 19,4°C. Isto pode ser devido à capacidade da vegetação de reduzir ganhos de calor por radiação, bem como consequência do efeito de refrigeração evaporativa (Figura 10).

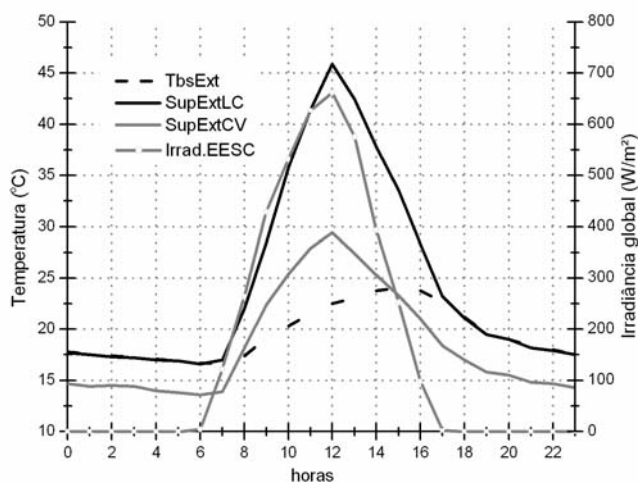


Figura 10 Inverno: Temperaturas superficiais externas (SupExt)

4.2 Desempenho térmico durante o verão

Ao contrário do que ocorreu no inverno, nesse período, as temperaturas do ar interior nos ambientes com CV (TbsCV) e com LC (TbsLC) revelaram expressivas diferenças. Nos horários mais quentes do dia, durante todo o período de medições, das 10:00h às 18:00h, a Tbs máxima no ambiente com cobertura verde permaneceu abaixo tanto da Tbs externa, quanto da Tbs do ambiente com LC (TbsLC). A maior diferença, de 5,1°C, aconteceu às 16:00h do dia 15, quando a TbsCV atingiu 24,0°C e a TbsLC, 29,1°C (Figura 11). Neste sentido, o melhor desempenho da CV pode estar associado às funções biológicas da vegetação como fotossíntese e evaporação, que atenuam as temperaturas superficiais internas da laje, amenizando as Tbs internas.

Quanto às temperaturas superficiais internas (SupInt), apesar da SupIntCV ter permanecido acima da temperatura do ar externo (TbsExt) durante o período noturno (das 19:00 até às 8:00h da manhã seguinte) e da SupIntLC das 2:00h às 9:00h, a mesma mostrou-se mais estável. Nos horários mais quentes do dia, a CV contribuiu para a refrigeração do ambiente, pois sua temperatura superficial permaneceu abaixo das temperaturas do ar externo e da superficial interna da LC das 10:00h até as 19:00h. A maior diferença entre SupIntCV e SupIntLC, 27,2°C, ocorreu dia 17 às 16:30h, quando a máxima SupIntCV atingiu 24,0°C e a máxima SupIntLC foi 51,2°C (Figura 12).

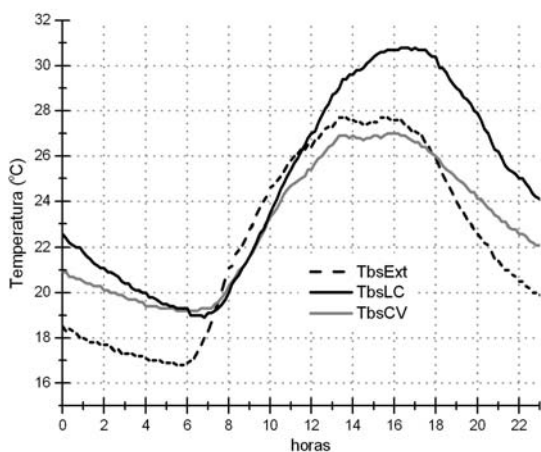


Figura 11 Verão: temperaturas do ar (Tbs)

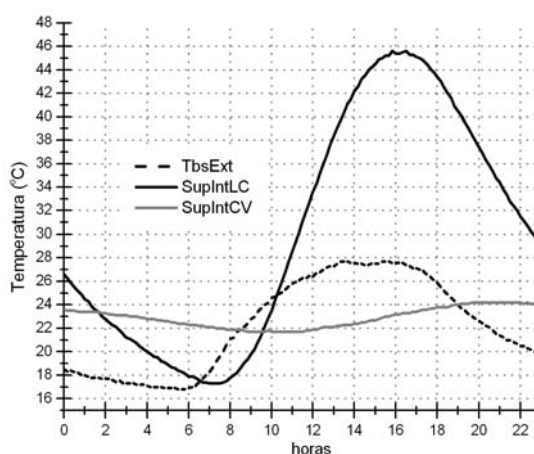


Figura 12 Verão: temperaturas superficiais internas (SupInt)

O desempenho superior da cobertura verde se deve também à combinação das camadas de solo e vegetação, as quais, além do isolamento térmico, proporcionam sombra e refrigeração evaporativa, protegendo a cobertura das variações térmicas.

Conforme os resultados das simulações no programa Jardim, as temperaturas superficiais da laje comum (SupExtLC) e das folhas da vegetação (SupExtCV) apresentaram diferenças de até 34,8°C (Figura 13).

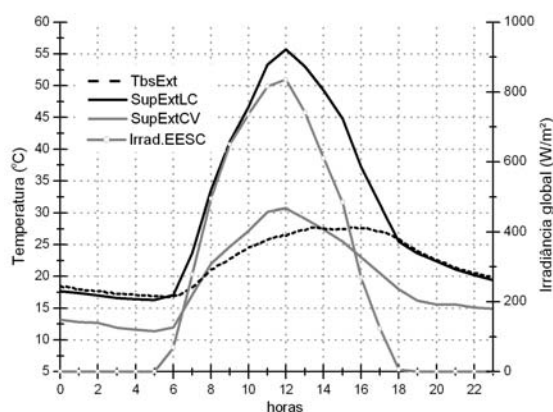


Figura 13 Verão: temperaturas superficiais externas (SupExt)

4.3 Comparações entre os comportamentos de verão e inverno

A Figura 14 indica que, tanto no verão quanto no inverno, a TbsCV se manteve mais estável do que a TbsLC.

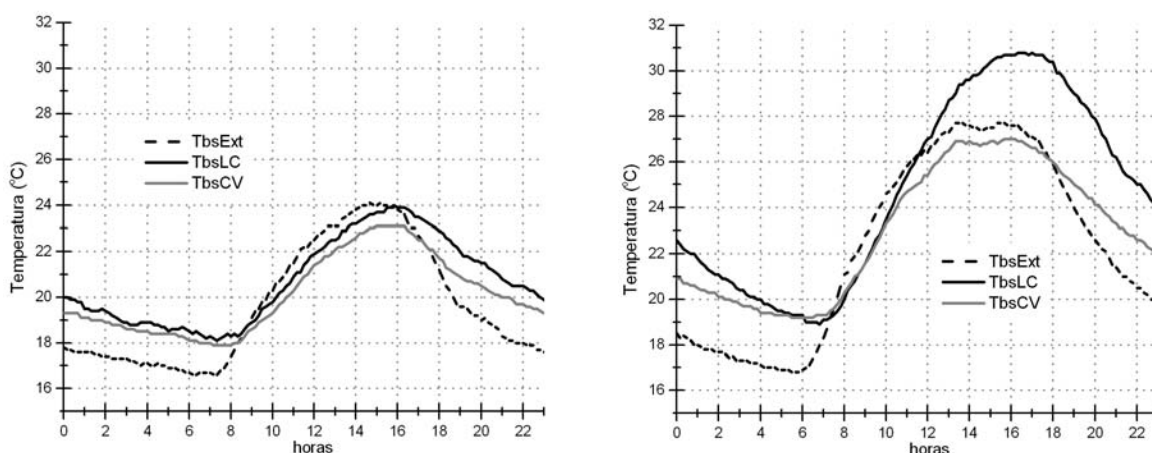


Figura 14 TbsLC x TbsCV durante dia de inverno (esquerda) e em dia de verão (direita)

As maiores diferenças de temperaturas máximas do ar interior foram de $1,2^{\circ}\text{C}$ no inverno e $3,8^{\circ}\text{C}$ no verão. Isto pode ter ocorrido devido ao isolamento térmico da cobertura verde, provocado pela camada de ar, quase em repouso, que se forma entre as folhas da vegetação. Quanto às temperaturas superficiais internas (Figura 15), a da CV (SupIntCV) manteve-se mais resistente às variações térmicas diárias, tanto no inverno quanto no verão. As maiores diferenças das máximas entre SupIntLC e SupIntCV foram de $3,4^{\circ}\text{C}$ no inverno e $25,1^{\circ}\text{C}$, no verão. A amplitude térmica média da SupIntLC superou a da CV em $25,7^{\circ}\text{C}$. Tais diferenças podem ser devido à maior capacidade da cobertura verde de amortecer as flutuações térmicas diárias, uma consequência da ação conjunta de sua maior espessura com a umidade retida na camada de solo.

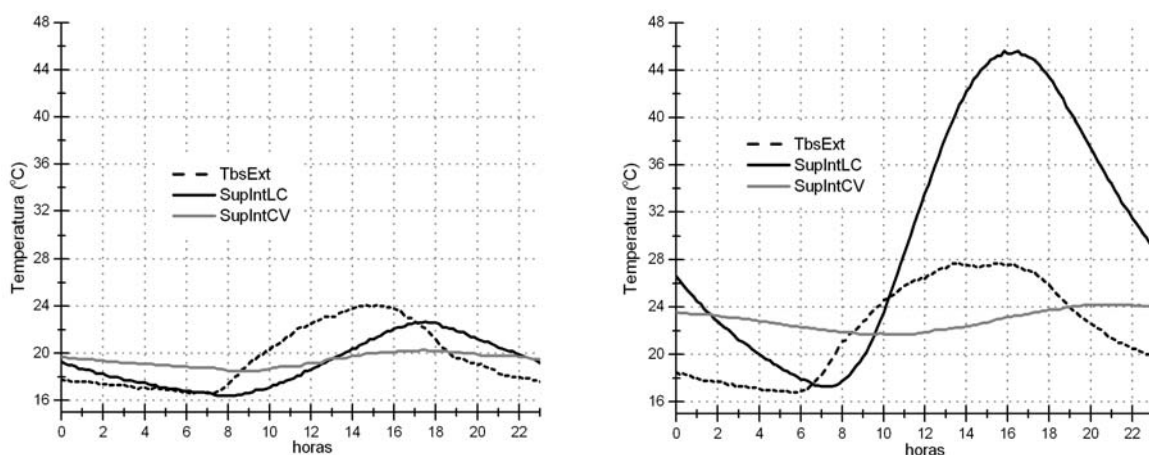


Figura 15 SupIntLC x SupIntCV durante dia de inverno (esquerda) e em dia de verão (direita)

Os gráficos da Figura 16 mostram que, tanto no verão quanto no inverno, a SupExtLC apresentou maiores amplitudes térmicas. A maior diferença entre as máximas, 31°C , ocorreu durante o período de verão. No inverno essa mesma diferença foi de $14,8^{\circ}\text{C}$. As amplitudes térmicas médias evidenciam a maior suscetibilidade da LC à influência da irradiância solar. Em compensação, a camada de grama da CV a protege das cargas térmicas provenientes da irradiância solar global, uma vez que do total da irradiância solar que incide em uma CV, 27% são refletidos, 60% são absorvidos pelas plantas e apenas 13% são transmitidos para o solo.

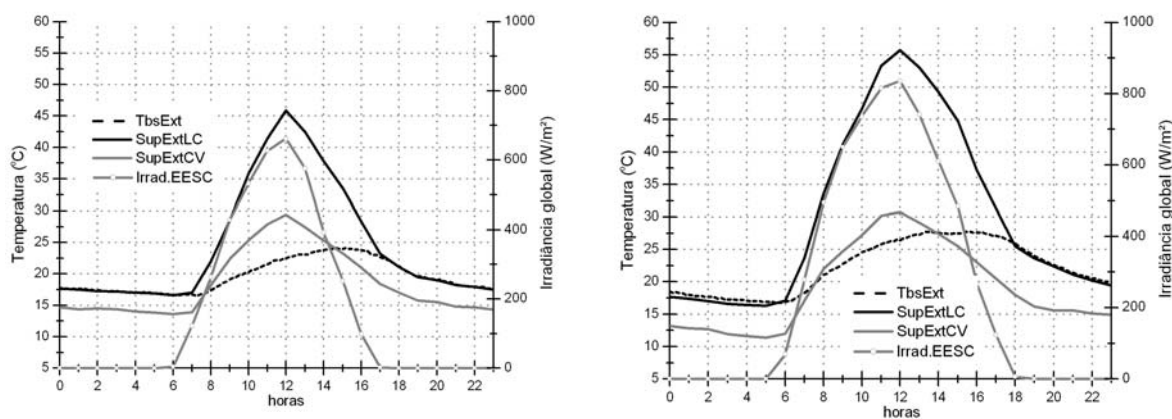


Figura 16 SupExtLC x SupExtCV durante dia de inverno (esquerda) e em dia de verão (direita)

5. CONCLUSÕES

Foram monitoradas as temperaturas superficiais internas de lajes de coberturas com e sem vegetação, submetidas ao clima da região de São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil, em situação de inverno e de verão. As análises dos resultados indicaram altos níveis de desempenho da cobertura verde, cujas temperaturas permaneceram mais estáveis e resistentes às flutuações térmicas diárias.

A pesquisa permitiu constatar que as coberturas ajardinadas são alternativas técnica e economicamente viáveis para o clima da região, não apenas para o tipo de edificação estudada, mas com amplas possibilidades de utilização. Adicionalmente, os benefícios ambientais destes sistemas de cobertura extrapolam a própria edificação e atingem toda uma região urbana em torno da mesma, com melhoria da qualidade do ar e incorporação integrada e harmoniosa entre vegetação e áreas edificadas, podendo contribuir consideravelmente para elevar os níveis de conforto e reduzir o consumo de energia em nossas cidades.

Considerando-se as evidentes virtudes das coberturas verdes, surpreende que ainda sejam tão pouco estudadas e utilizadas no Brasil, fato que recomenda a necessidade de que sejam desenvolvidas novas pesquisas, que possam aferir e divulgar o comportamento destas coberturas em cada uma das diferentes zonas bioclimáticas do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projeto de normas de desempenho térmico de edificações 02:135. 07-001 – Parte 1: definições, símbolos e unidades*. São Paulo. 2003.
- BRASIL. Ministério de Agricultura e Reforma Agrária. *Normais climatológicas (1961-1990)*. Brasília: Ministério de Agricultura e Reforma Agrária, 1992.
- CORREA, C. B.; GONZÁLEZ, F. J. N. O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DE ARQUITETURA E URBANISMO - NUTAU. *Anais...* São Paulo: Pró-reitoria de Pesquisa, Universidade de São Paulo, 2002.
- DEL BARRIO, E. P. Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy in Buildings*, v.27, n. 2, p. 179-193, 1998.
- JOHNSTON, J.; NEWTON, J. *Building green: a guide for using plants on roofs, walls and pavements*. London: The London Ecology Unit, 1996.
- MORAIS, C. S. de. *Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos-SP*. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- PECK, S. W. et al. *Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada*. Peck and Associates. Disponível em: <<http://greenroofs.ca/grhcc/Greenbacks.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2002.

RIVERO, R. *Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural*. Porto Alegre: D. C. Luzzatto Editores: Ed.da Universidade, UFRGS, 1985.

RORIZ, M. *Jardim 1.0 – Temperaturas Superficiais em Vegetação*. Versão 1.0. JARDIM.EXE. São Carlos, 2003. Aplicativo. 264KB.

WONG, N. H. et al Life cycle cost analysis of rooftop gardens in Singapore. *Building and Environment*, v. 38, n. 3, p. 499-509, 2003a.

WONG, N. H. et al. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and Environment*, v.38, n. 2, p.261-270, 2003b.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pela bolsa concedida.

Ao Departamento de Ecologia e Biologia Evolutiva, UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada-CRHEA, Escola de Engenharia de São Carlos - EESC-USP.