



XVI CONBRAVA - CONGRESSO BRASILEIRO DE REFRIGERAÇÃO, AR-CONDICIONADO, VENTILAÇÃO, AQUECIMENTO E TRATAMENTO DO AR

São Paulo Expo - 10 a 13 de setembro de 2019

ANÁLISE TÉRMICA DE COBERTURAS VERDES APLICADAS EM CONTÊINERES¹

CLÉO DE ARAÚJO MOURA; BIANCA BOTELHO DE FREITAS; DR. AILTON PINTO ALVES FILHO;
DR. CYRO ALBUQUERQUE NETO

RESUMO

Com o crescimento populacional global, problemas de ordem ambiental têm ganhado importância. Devido à falta de moradia nos grandes centros urbanos, inúmeros conjuntos habitacionais são erguidos, como consequência, áreas verdes têm deixado de fazer parte da paisagem nas cidades, acarretando em altos índices de poluição, enchentes e desconforto térmico para as pessoas. Neste cenário, o uso de telhados e paredes verdes nas edificações tem se destacado como uma solução sustentável. Em relação aos problemas de habitação, uma solução que tem repercutido nos últimos anos refere-se ao emprego de contêineres marítimos como alternativa sustentável na construção civil. Surge então a proposta de unificar essas duas soluções, empregando revestimentos verdes em edificações construídas a partir do reaproveitamento de contêineres. Com o objetivo de analisar o desempenho energético dos componentes de telhados verdes, o presente trabalho avaliou a influência da espessura do substrato de coberturas vegetadas aplicadas em contêineres, a partir da instrumentação de módulos experimentais desenvolvidos para a pesquisa. Concluiu-se que, em dias quentes, existe influência significativa da espessura do substrato em relação aos fluxos de calor, podendo haver uma diferença de até 29% nas variações de temperatura do ar interno, contribuindo com a diminuição de carga térmica para a edificação.

Palavras-chave: Telhado verde. Contêiner. Desempenho térmico. Solução sustentável.

ABSTRACT

With global population growth, environmental problems have gained importance. Due to lack of housing in large urban centers, numerous housing estates are erected, as a consequence, green areas have ceased to be part of the landscape in the cities, resulting in high rates of pollution, floods and thermal discomfort for people. In this scenario, the use of roofs and green walls in buildings have stood out as a sustainable solution. Regarding housing problems, a solution that has had repercussions in recent years refers to the use of maritime containers as a sustainable alternative in construction. The proposal to unify these two solutions emerges, using green coatings in buildings built from the reuse of containers. In order to analyze the energy performance of the green roof components, the present work evaluated the influence of the substrate thickness of vegetation cover applied in containers, from the instrumentation of experimental modules developed for the research. It was concluded that, on hot days, there is a significant influence of the substrate thickness in relation to heat fluxes, and there may be a difference of up to 29% in the internal air temperature variations, contributing to the reduction of the thermal load for the building.

¹ MOURA, C. A.; FREITAS, B. B.; ALVES FILHO, A. P.; ALBUQUERQUE NETO, C. Análise térmica de coberturas verdes aplicadas em contêineres. In: Congresso Brasileiro de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação, Aquecimento e Tratamento de Ar, 3.; Congresso Ibero Americano de Climatização e Refrigeração, 6., 2013, Campinas. **Anais do XVI CONBRAVA**, 2019.

Keywords: Green roof. Container. Thermal performance. Sustainable solution.

1 INTRODUÇÃO

Com o crescente aumento da população mundial, a questão habitacional passa a ser um grande desafio urbano ao redor do mundo. Áreas verdes, essenciais para o homem, deixam de fazer parte da paisagem do cotidiano para dar lugar às cidades e suas construções, implicando em diversos outros problemas que impedem o investimento na própria infraestrutura verde, tornando-se um cíclico evento paradoxal.

Com o intuito de amenizar os efeitos do crescimento desorganizado das comunidades, algumas soluções sustentáveis que surgiram ao longo dos anos podem ser aproveitadas, como o reaproveitamento de contêineres - utilizados no transporte marítimo - para construção civil e a utilização de telhados e paredes verdes como alternativa para favorecer o conforto térmico e acústico das edificações.

Segundo pesquisas e aplicações recentes, a utilização de contêineres na construção civil é uma alternativa que gera uma gama de impactos positivos, como por exemplo, solução para a destinação de um artefato obsoleto que ocupa espaço na natureza, minimização considerável dos resíduos provenientes da alvenaria convencional, redução em cerca de 25% nos custos durante a obra, entre outras vantagens.

Telhados verdes vêm ganhando espaço na arquitetura urbana e uma série de benefícios pode ser apontada, como obtenção de zonas térmicas (internas e externas) mais agradáveis e consequente redução das contas de energia com sistemas de climatização, retenção de águas pluviais - reduzindo a possibilidade de enchentes no entorno -, melhora na qualidade do ar, redução do efeito das ilhas de calor presentes em áreas com baixa densidade vegetativa, maior interação do homem com a flora e a fauna locais, entre outras.

Na comunidade científica, vários experimentos com telhados verdes têm sido realizados nos últimos anos, em edificações existentes ou experimentais, comparativos entre coberturas vegetadas e convencionais, modelagens matemáticas com o intuito de simular o desempenho energético, entre outros. Seguindo esta tendência, é perceptível a necessidade de detalhar o comportamento térmico dos componentes das coberturas vegetadas, a fim de avaliar a contribuição de cada elemento frente à transferência de calor. Eksi et al. (2017), em seu trabalho, verificaram comportamentos térmicos distintos quando compararam dois tipos de coberturas verdes, cujas configurações se diferenciavam pela espessura dos substratos (camada de terra onde se desenvolvem as plantas) e a vegetação empregada em cada um, porém, sendo inconclusivos em relação à parcela de contribuição de cada camada (substrato ou vegetação).

Com base no exposto acima, o presente trabalho tem por objetivo analisar a influência da espessura do substrato de telhados verdes aplicados a contêineres marítimos utilizados como habitação, considerando-se os

ganhos e perdas de calor através da cobertura vegetada, para evidenciar o comportamento térmico das camadas e do ar interno.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Um estudo para analisar as propriedades térmicas e investigar o desempenho energético de uma cobertura vegetada foi desenvolvido por um grupo de pesquisadores em Atenas, Grécia no ano de 2001. A pesquisa foi dividida em duas fases: durante a primeira fase foi realizada coleta de dados de temperatura das superfícies e do ar nos ambientes interno e externo e durante a segunda fase, as propriedades do telhado verde e a economia de energia foram examinadas por meio de uma abordagem matemática. Como principais pontos da pesquisa, concluiu-se que o telhado verde instalado em coberturas com média e boa isolamento térmica não possui impacto significativo, cuja a economia de energia com climatização é inferior a 7% e 2%, respectivamente. Já com coberturas sem isolamento, a economia de energia pode chegar a 48% se empregado sistema de ventilação noturna, quando comparado a cobertura convencional (NIACHOU et al., 2001).

No ano de 2003, Morais (2004) em sua pesquisa investigou, por meio de protótipos, o comportamento térmico de uma cobertura vegetada comparada a uma cobertura convencional junto a Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, Brasil. As coberturas foram monitoradas com o auxílio de sistema de aquisição de dados, coletando temperaturas e umidades relativas do ar interno e externo, temperaturas das superfícies das lajes e dados climáticos a partir de uma estação meteorológica instalada no campus. Os resultados mostraram que a cobertura verde apresenta variação da amplitude térmica 70% menor comparada a cobertura convencional, além de diferenças de temperatura interna próximas a 5°C, podendo contribuir significativamente com a eficiência energética da edificação (MORAIS, 2004).

Utilizando uma residência unifamiliar experimental, construída na cidade Florianópolis, Brasil, foi realizado um estudo comparativo entre três coberturas distintas: com telhado cerâmico, metálico e vegetado extensivo durante uma semana do verão de 2008, sendo avaliadas temperaturas superficiais e do ar internas e externas, além de retenção de água, fluxos de calor e dados meteorológicos. Foram utilizados sensores de temperatura (termopares tipo T) montados entre as camadas dos telhados, nas superfícies e medindo o ar interno e externo, além de medidores de umidade do solo, fluxo de calor e estação meteorológica. Com este estudo, pôde-se concluir que o telhado verde contribui significativamente com os benefícios térmicos e eficiência energética para uma edificação situada em clima temperado, reduzindo – em períodos quentes – os ganhos de calor em relação aos telhados cerâmico e metálico (PARIZOTTO; LAMBERTS, 2011).

Durante um período de 10 meses, entre os anos de 2011 e 2012, foi investigado o desempenho térmico de uma cobertura verde de uma

edificação experimental em comparação a uma cobertura com telhado cerâmico. Dois módulos experimentais foram erguidos no Departamento de Engenharia Civil da Escola Politécnica da USP, São Paulo, ambos com as mesmas características construtivas e dimensionais, porém com coberturas diferentes (convencional e verde) e igualmente instrumentados a fim de monitorar os ganhos e perdas de calor dos ambientes internos. Os resultados mostraram eficiência energética das coberturas verdes retardando os ganhos térmicos para a edificação e mantendo - sem utilização de sistema de climatização - as condições de conforto térmico estabelecidas na NBR 16401:2008 (FERRAZ, 2012).

Pesquisadores do Departamento de Geografia da Universidade de Hong Kong investigaram entre os verões de 2010 e 2011, a influência da umidade do substrato (espessura de 7 cm) frente aos efeitos da evapotranspiração, balanço hídrico e ao comportamento térmico do ar externo e da superfície interna. Três variações foram consideradas: solo saturado, úmido e seco sendo analisadas em três condições de clima (ensolarado, nublado e chuvoso) gerando 9 combinações distintas. Neste estudo, pôde-se concluir que a umidade tem efeito significativo sobre a regulação do comportamento térmico do substrato, mostrando-se no entanto, pouco influente em relação ao efeito da evapotranspiração – que tem grande influência da umidade relativa do ar, radiação solar e velocidade do vento – e resfriamento da superfície interna (JIM; PENG, 2012).

Com o objetivo de avaliar o impacto do telhado verde em relação ao desempenho energético de uma edificação, Jaffal et al. (2012) conduziram um estudo utilizando uma casa unifamiliar - comparando telhados verde e convencional - submetida às condições do clima temperado da França, realizando medições de temperatura e fluxos de calor. O experimento registrou diminuição da flutuação de temperatura na superfície da laje convencional de até 30°C e resfriamento passivo 3 vezes mais eficiente com telhado verde. No verão, o telhado verde contribuiu para diminuição de 2°C na temperatura interna e a demanda de energia anual foi reduzida em 6%, demonstrando ser uma solução termicamente benéfica para o clima considerado.

Entre os verões de 2013 e 2014, pesquisadores da Universidade do Estado de Michigan, EUA, investigaram a influência da profundidade do substrato e de algumas espécies de plantas em relação ao desempenho térmico de uma cobertura verde. Foram utilizadas 17 diferentes espécies de gramíneas e herbáceas cultivadas em profundidades de 5 cm e 20 cm de solo, respectivamente, sobre um telhado verde instalado no segundo andar de uma edificação local. O estudo revelou que a cobertura herbácea proporcionou maior isolamento térmico e menores flutuações de temperatura e fluxo de calor devido a profundidade do substrato e maior sombreamento provocado pelo dossel das plantas, sendo no entanto, inconclusivo quanto a parcela de contribuição de cada item (profundidade e espécies de plantas). Contudo, pôde-se concluir que, para climas semelhantes aos de Michigan, o telhado verde herbáceo (20 cm de

profundidade) contribui para economia nas contas com aquecimento nos períodos frios e a cobertura sedimentar (5 cm de profundidade) reduz as contas com resfriamento nos períodos quentes (EKSI et al., 2017).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Com o intuito de avaliar o efeito da espessura do substrato em relação ao desempenho térmico de coberturas vegetadas, foram montados e instrumentados 5 módulos experimentais, sendo 4 com telhados verdes de diferentes espessuras de substrato (1 ao 4) e 1 de controle (sem telhado verde) para efeito de comparação, conforme pode ser verificado na tabela 1.

Tabela 1 – Características individuais das coberturas dos protótipos

Módulo	Cobertura Verde	Espessura do substrato (mm)	Espessura total (mm)
1	Sim	40	80
2	Sim	80	120
3	Sim	120	160
4	Sim	160	200
5	Não - controle	-	-

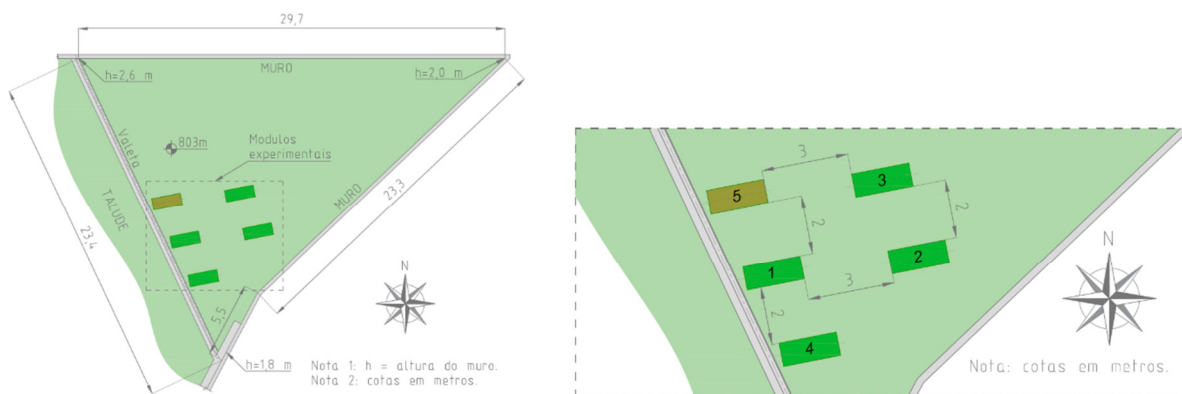
Fonte: Autores

Os protótipos foram concebidos procurando destacar os fluxos de calor através da cobertura, utilizando-se de isolamento térmico nas paredes e piso. Sensores de temperatura e umidade do solo foram posicionados estrategicamente com o intuito de apresentar os gradientes de temperatura das camadas da cobertura bem como as variações de temperatura e umidade relativa do ar interno e externo (a ~100 mm da vegetação).

3.1 Características do local do experimento

O aparato experimental foi montado no Campus do Centro Universitário FEI, localizado na cidade de São Bernardo do Campo (latitude: 23° 43' S, longitude: 46° 34' W e altitude de aproximadamente 803 m), mesorregião metropolitana do Estado de São Paulo. O local disponibilizado para os testes encontra-se sobre um terreno triangular no topo de um talude, situado ao lado da pista de testes do Centro Universitário, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 - Localização dos módulos experimentais no terreno



Fonte: Autores

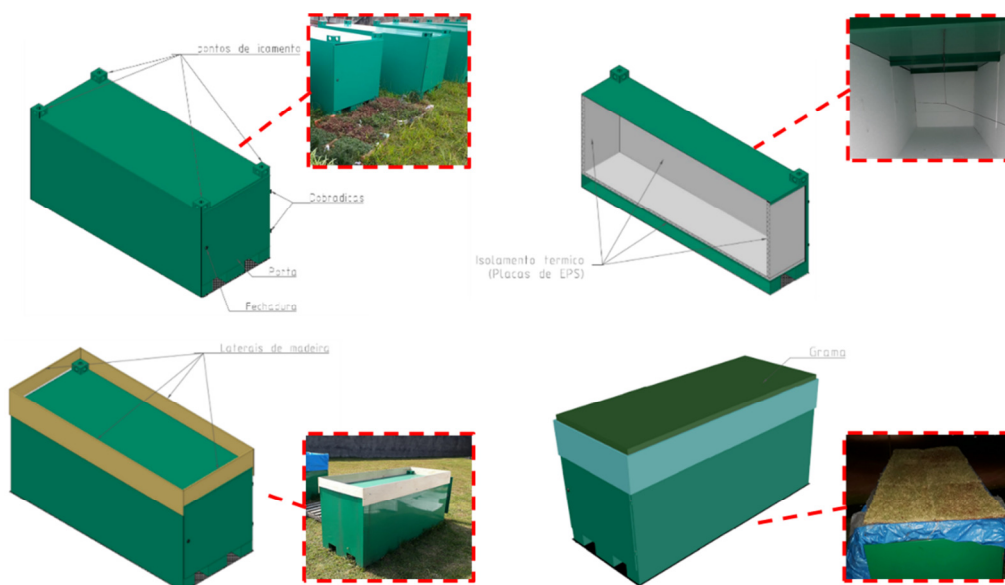
3.2 Os módulos experimentais

Para montagem dos módulos experimentais, foram utilizadas 5 câmaras em escala de redução de 1:3 simulando contêineres de 20 pés, visando aproximar suas características construtivas às empregadas numa edificação (Figura 2).

As paredes internas e piso de todas as câmaras foram revestidos com isolamento térmico, deixando apenas o teto sem revestimento interno. Para isto, foram utilizadas chapas de poliestireno expandido (isopor®) com 30 mm de espessura, fixadas nas superfícies internas (Figura 2).

Para sustentação das camadas do telhado verde, foram instaladas laterais constituídas de chapas de madeira compensada com 10 mm de espessura, contornando todo perímetro do contêiner (Figura 2).

Figura 2 – Detalhes construtivos dos módulos experimentais



Fonte: Autores

Para as coberturas verdes instaladas nos módulos de 1 a 4 foram

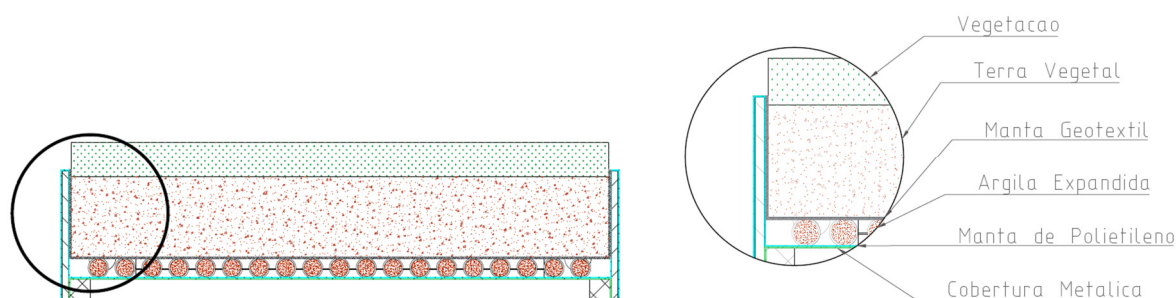
considerados os materiais e espessuras da Tabela 2 (figura 3).

Tabela 2 – Composição das camadas das coberturas verdes

CAMADAS	ESPESSURA			
	Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3	Módulo 4
Vegetação (Grama Esmeralda)	1 cm	1 cm	1 cm	1 cm
Substrato (Terra Vegetal)	4 cm	8 cm	12 cm	16 cm
Filtragem (Manta Geotêxtil)	~ 2 mm	~ 2 mm	~ 2 mm	~ 2 mm
Drenagem (Argila Expandida)	3 cm	3 cm	3 cm	3 cm
Impermeabilização (Manta de Polietileno)	150 µm	150 µm	150 µm	150 µm
Cobertura (Chapa em Aço Carbono)	2 mm	2 mm	2 mm	2 mm
TOTAL:	8 cm	12 cm	16 cm	20 cm

Fonte: Autores

Figura 3 – Detalhes em corte das camadas das coberturas verdes

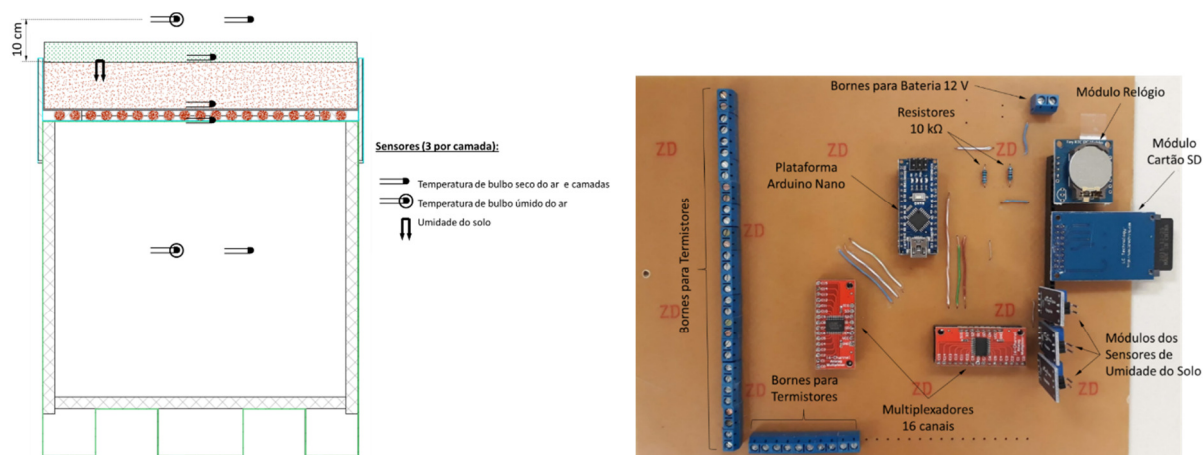


Fonte: Autores

Para monitoração das condições do ar interior em cada protótipo foram instalados 6 sensores, sendo 3 para medição das temperaturas de bulbo seco (TBS) e 3 para temperaturas de bulbo úmido (TBU). Para avaliar o perfil de temperaturas entre as camadas dos telhados verdes, 3 sensores foram instalados entre a cobertura das câmaras e a lona impermeabilizante, 3 entre a manta geotêxtil e o substrato e 3 sobre a vegetação. Externamente, foram posicionados mais 6 sensores 10 cm acima dos 5 protótipos (3 para TBS e 3 para TBU) para avaliar a influência das coberturas em relação ao comportamento do ar externo. Todos os dados de temperatura foram obtidos a partir de termistores do tipo NTC (10 kΩ 3 mm MF52). Foram também instalados sensores de umidade do solo para efeito comparativo. (Figura 4)

As medições de todos os pontos de temperatura e umidade do solo foram registradas periodicamente a partir do conjunto de aquisição de dados, montado em placa de circuito impresso utilizando plataforma Arduino® alimentada por uma bateria de 12 V carregada por célula fotovoltaica. (Figura 4)

Figura 4 – Instrumentação e componentes do conjunto de aquisição de dados



Fonte: Autores

3.3 Planejamento dos testes

O conjunto de aquisição de dados monitorou o experimento durante um período de 48 horas (dias 29 e 30 de novembro de 2018) coletando leituras dos sensores a cada 10 minutos, efetuando 10 registros durante um minuto e interrompendo o registro nos 9 minutos seguintes, o que, para as 48 horas de medição (considerando todos os 111 sensores), representou um total teórico de 319680 dados.

Todos os sensores de temperatura empregados no experimento foram calibrados utilizando um termômetro de resistência de platina em conjunto com um multímetro de precisão. Os coeficientes dos termistores NTC foram ajustados utilizando-se linearização e regressão linear pelo método dos mínimos quadrados a partir da curva de calibração obtida. A incerteza das medições por meio de análise estatística, atribuiu um erro às leituras inferior a $\pm 0,8^{\circ}\text{C}$.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO²

Após tratamento estatístico dos dados, os resultados foram plotados em forma de gráficos mostrando os dados climáticos, os dados gerais de desempenho e o comportamento térmico do ar interno com os 5 módulos experimentais.

4.1 Dados climáticos

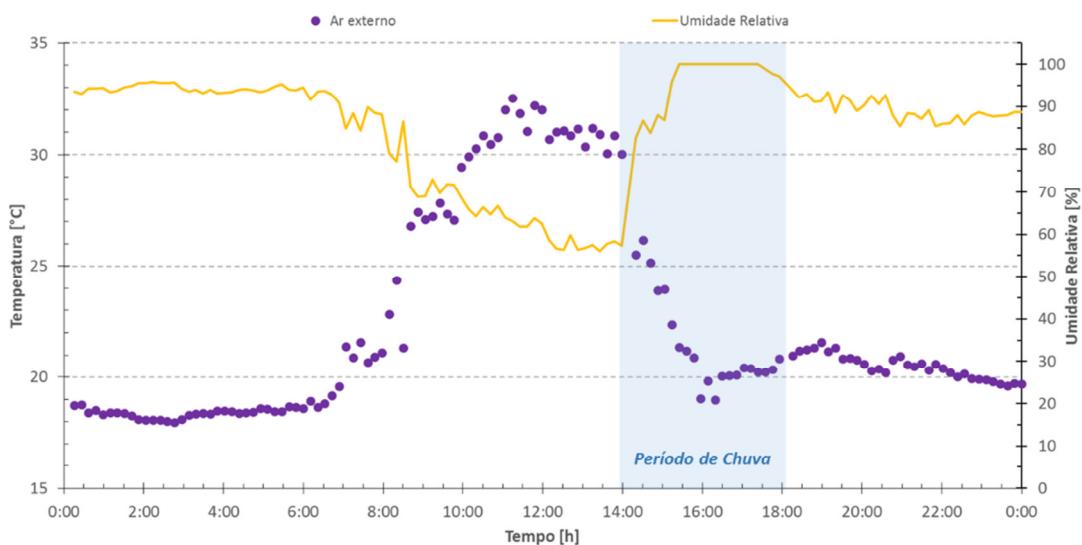
O dia típico de medição obteve temperaturas elevadas - superando os 30°C ao longo do dia - com precipitação mais significativa no período da tarde (entre aproximadamente 14h00 e 18h00), apresentando radiação solar global máxima de 896 W/m^2 , as 13h00. As curvas de temperatura, umidade

²

Embora as análises deste experimento refiram-se a dois dias de medição, para o presente trabalho, são exibidos apenas os dados referentes ao dia 29 de novembro (dia típico) devido ao volume de informações, contudo, a discussão é baseada nas 48 horas de medição.

relativa³ para o ar externo são mostradas na figura 5, indicando as condições ambientais externas a que os módulos experimentais foram submetidos.

Figura 5 – Curvas de temperatura e umidade relativa do ar externo



Fonte: Autores

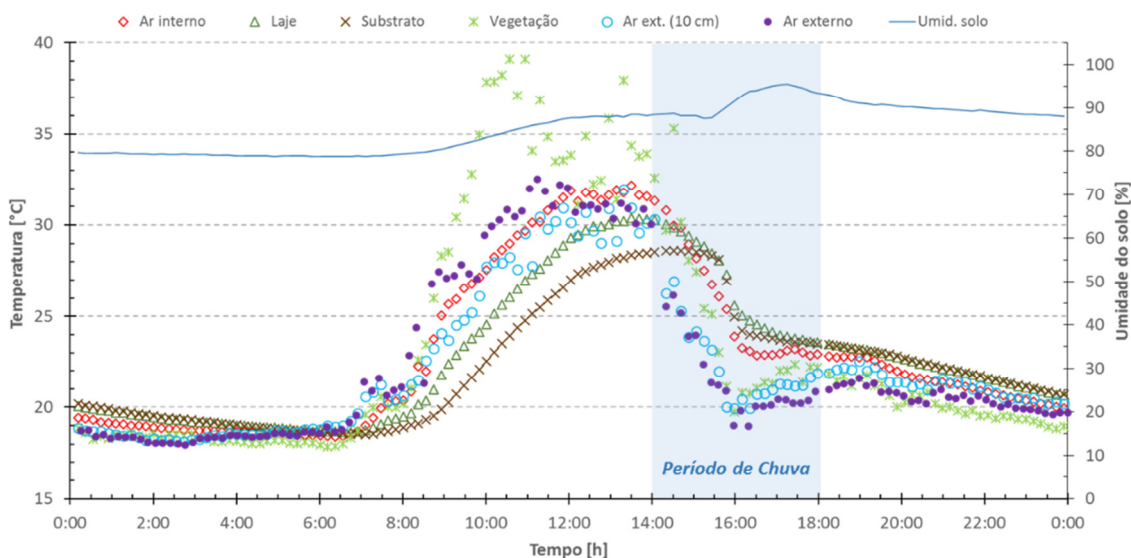
4.2 Desempenho geral dos módulos experimentais

De modo geral, as camadas apresentaram uniformidade nos perfis de temperatura – exibindo comportamento semelhante em todas as coberturas dos protótipos – com valores mais próximos entre si durante o período noturno e mais distantes no período diurno. É possível verificar esta proximidade dos perfis também nos períodos de chuva, devido a diminuição significativa nas temperaturas do ar externo e na incidência de radiação solar. As figuras 6 e 7 apresentam os perfis de temperatura para os módulos 1 e 4, respectivamente.

Figura 6 – Curvas de desempenho do módulo 1

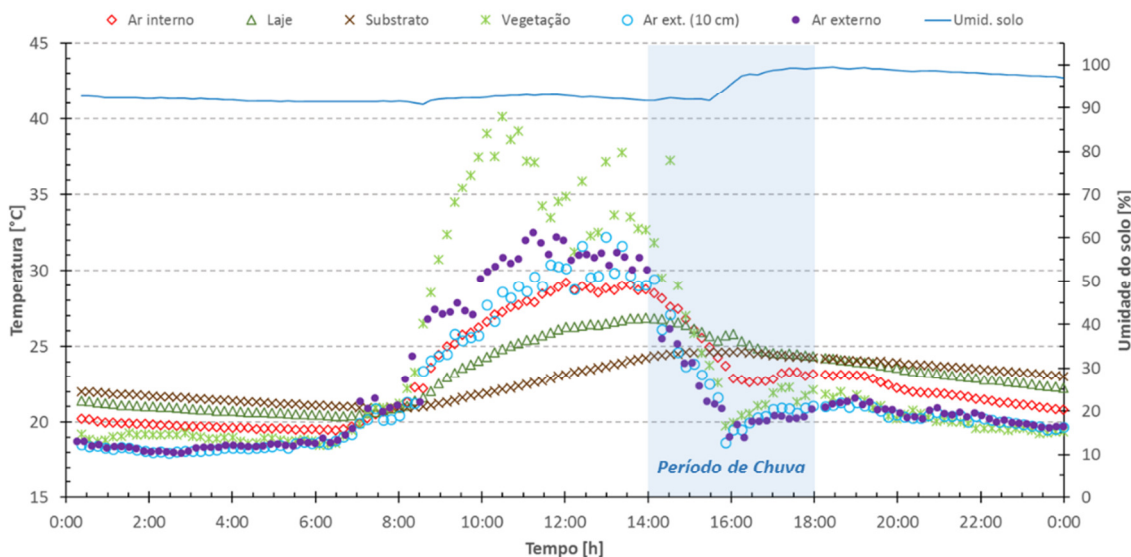
³

Medições de umidade relativa e umidade do solo são apenas estimativas para auxiliar o entendimento (não calibrados). Por este motivo, onde aparecem valores de umidade relativa iguais a 100%, deve-se apenas considerar situação de precipitação e não os dados numéricos.



Fonte: Autores

Figura 7 – Curvas de desempenho do módulo 4



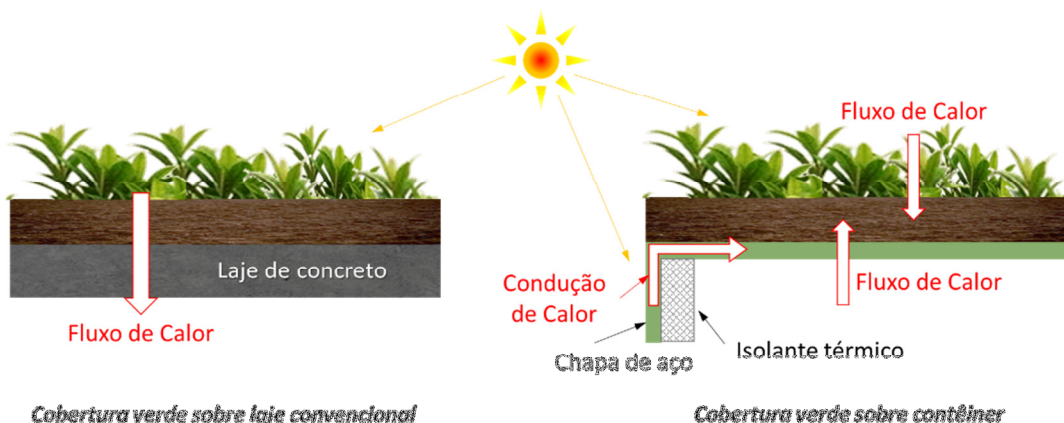
Fonte: Autores

Percebe-se que os perfis de temperatura das camadas possuem tendência de estarem mais próximos entre si naqueles com substrato menos espesso. Esta observação se justifica pelas menores capacidades térmicas, o que favorece o fluxo de calor e acarreta em variações mais rápidas de temperatura e consequentemente maiores amplitudes térmicas ao longo do dia, como pode ser comparado nos gráficos das figuras 6 e 7.

Uma importante consideração a ser feita neste item, refere-se ao aumento da temperatura da laje que supera a do substrato pelo período da manhã (entre 7h00 e 9h00), quando há o início da incidência de radiação solar sobre as superfícies das câmaras. Em uma cobertura verde situada sobre uma laje construída em alvenaria (concreto), normalmente, o gradiente de temperatura se dá da vegetação para o teto, com diminuição gradual devido as inércias térmicas dos componentes. Diferente da estrutura de

alvenaria de uma construção convencional, uma edificação concebida pelo reaproveitamento de contêineres possui paredes e laje constituídas de material metálico em contato direto entre si, cuja condutividade térmica é muito superior à dos outros materiais que compõem a cobertura verde. O que pode-se observar neste caso, é a provável condução do calor proveniente das paredes – que receberam radiação solar – para a laje de uma maneira muito mais rápida do que através da cobertura vegetada, cujos materiais provocam mais atrasos térmicos. O oposto também é observável, quando há redução na temperatura do ambiente externo (devido chuva ou no período noturno) ocorre rápida condução de calor, desta vez em sentido oposto (da laje para as paredes), reduzindo mais rapidamente a temperatura da laje do que pelo substrato. (Figura 8)

Figura 8 – Fluxos de calor em laje convencional e contêiner



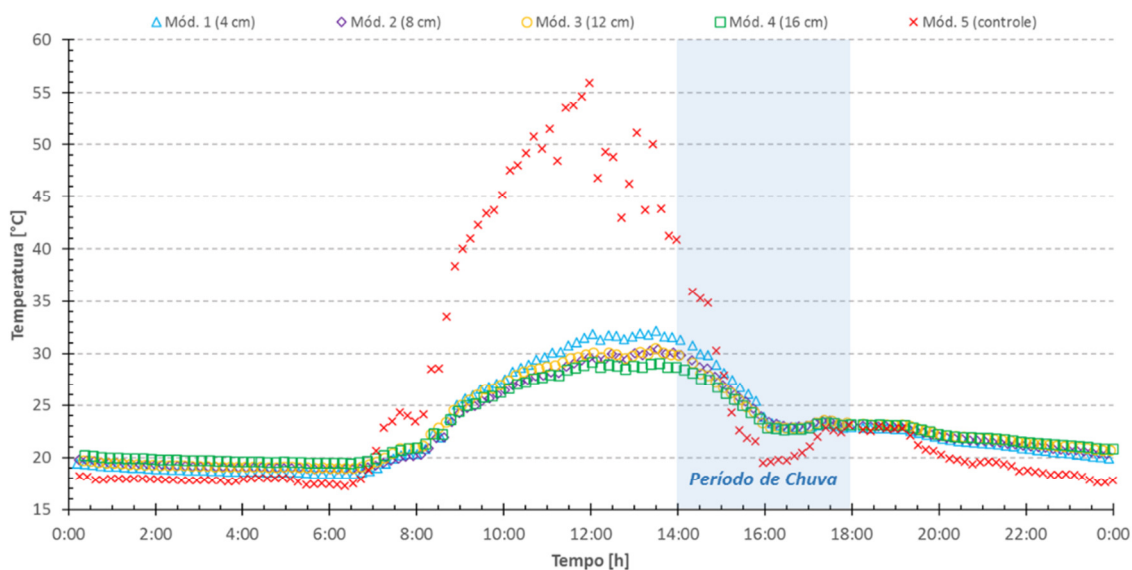
Fonte: Autores

4.3 Comportamento do ar interno

Considerando as 48 horas de medições, é possível verificar diferença significativa nas amplitudes térmicas médias entre os módulos experimentais, apresentando inclusive repetibilidade nos dias avaliados. O protótipo com cobertura de menor espessura (módulo 1) registrou as maiores variações médias diárias, com 12,8°C, enquanto que, o módulo 4 (de maior espessura) exibiu as menores variações, com média de 9,1°C, representando uma redução de 3,7°C ou 29,0%. (Figura 9)

Os módulos 2 e 3 apresentaram, respectivamente, amplitudes médias de 10,9°C e 10,7°C, representando pouca diferença entre ambos, porém, exibindo uma redução de 14,6% e 14,5% em relação ao protótipo 1, respectivamente. Em relação ao protótipo 5 (controle), que registrou variação média diária de temperatura de 36,5°C, os módulos do 1 ao 4 apresentaram redução de 64,9%, 70,0%, 70,7% e 75,1%, respectivamente.

Figura 9 – Comparação entre as curvas de temperatura do ar interno



Os dados exibidos evidenciam influência da espessura dos substratos no comportamento do ar interno nos contêineres, com impacto nas variações de temperatura, podendo inclusive contribuir positivamente com a eficiência energética em caso de utilização de sistema de climatização.

Vários autores citados no presente trabalho constataram a eficácia das coberturas verdes em edificações de alvenaria, chegando a resultados significativos e próximos aos desta pesquisa, como por exemplo Moraes (2004) que evidenciou uma redução de até 5°C na temperatura do ar interno, além de Jaffal et. al (2012) cuja pesquisa exibiu redução de 2°C na temperatura interna e 6% de economia na demanda anual de energia e Ferraz (2012), que comparando uma cobertura verde extensiva com cobertura cerâmica, constatou que o telhado verde, dependendo de sua configuração, é capaz de manter condições de conforto térmico estabelecidas em norma sem utilização de sistema de climatização.

5 CONCLUSÕES

Avaliando os resultados gerais, pode-se afirmar que coberturas vegetadas extensivas representam uma solução termicamente viável quando aplicadas em edificações construídas a partir do reaproveitamento de contêineres. Para as condições climáticas locais desta pesquisa, fica estabelecido que a espessura do substrato possui influência significativa em relação ao comportamento térmico geral deste tipo de construção, sendo que as maiores espessuras refletem melhores desempenhos devido ao armazenamento de energia proveniente das maiores capacidades térmicas associadas.

Conclui-se que, diferentemente de uma cobertura verde sobre laje convencional, devido a condução de calor pelas paredes metálicas do contêiner, o aumento da espessura do substrato contribui com a remoção de calor da laje devido às menores flutuações associadas, promovendo

temperaturas superficiais internas mais baixas. E como ponto de destaque, esta condição altera o gradiente de temperatura das camadas da cobertura, modificando os sentidos do fluxo de calor, absorvendo calor da laje e da vegetação durante o dia e cedendo para ambos durante a noite.

O estudo revelou que a cobertura verde do módulo 4 (16 cm) reduziu a amplitude térmica do ar interno em aproximadamente 29% (3,7°C) em relação ao módulo 1 (4 cm), podendo ser uma boa solução para redução de carga térmica interna e conseqüentemente melhorando os índices de eficiência energética.

REFERÊNCIAS

EKSI, M. et al. Effect of substrate depth, vegetation type, and season on green roof thermal properties. **Energy and Buildings**, v. 145, p. 174–187, 2017.

FERRAZ, I. L. **O desempenho térmico de um sistema de cobertura verde em comparação ao sistema tradicional cobertura cerâmica**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

JAFFAL, I.; OULDBOUKHITINE, S. E.; BELARBI, R. A comprehensive study of the impact of green roofs on building energy performance. **Renewable Energy**, v. 43, p. 157–164, 2012.

JIM, C. Y.; PENG, L. L. H. Substrate moisture effect on water balance and thermal regime of a tropical extensive green roof. **Ecological Engineering**, v. 47, p. 9–23, 2012.

MORAIS, C. S. de. **Desempenho térmico de coberturas vegetais em edificações na cidade de São Carlos**. 2004. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

NIACHOU, A. et al. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. **Energy and Buildings**, v. 33, n. 7, p. 719–729, 2001.

PARIZOTTO, S.; LAMBERTS, R. Investigation of green roof thermal performance in temperate climate: A case study of an experimental building in Florianópolis city, Southern Brazil. **Energy and Buildings**, v. 43, n. 7, p. 1712–1722, 2011.