

Avaliação do comportamento térmico de cobertura e fachada verde em células de testes

Thermal behavior evaluation of green roofs and green facades on tests cells

Thiago Youzi Kussaba Kayano(1); Gustavo Zen de Figueiredo Neves(2);

Nuria Perez Gallardo(3); Francisco Arthur da Silva Vecchia(4)

1 Universidade de São Paulo (USP-SP), Brasil.

E-mail: thiago.kayano@usp.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9944-7125>

2 Doutor, Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.

E-mail: gustavozen@usp.br

3 Doutora, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.

E-mail: perez_gallardo_n@hotmail.com

4 Livre-Docente, Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.

E-mail: fvecchia@sc.usp.br

Resumo

Com a busca de alternativas para melhorar o conforto ambiental em ambientes construídos, os sistemas de fachadas e tetos verdes aparecem como uma opção para melhoria, em especial, do conforto térmico. A presente pesquisa tem como objetivo analisar diferentes sistemas de fachadas vegetadas em células de testes, avaliando o comportamento térmico das paredes e da temperatura interna do ar durante um episódio climático representativo de primavera, na cidade de Itirapina-SP. Os resultados indicaram que a célula de teste com fachada e teto verde possui um melhor desempenho térmico em comparação à célula de controle.

Palavras-chave: Parede verde. Comportamento térmico. Climatologia dinâmica.

Abstract

In searching for better thermal behavior alternatives in building environments green wall systems and green roofs emerge as an improvement option, particularly in thermal comfort. This research has the objective to analyze different vegetable façade systems on test cells evaluating the thermal behavior of walls and interval air temperature during a Spring representative climate episode in Itirapina-SP. The results indicated the green wall and green roof test cell have a better thermal performance than control test cell.

Keywords: Green Wall. Thermal behavior. Dynamic climatology.

1 Introdução¹

Em tempos em que as preocupações ambientais tornaram-se cotidianas, a busca por tecnologias que possam mitigar os efeitos causados pela interferência humana ganha importância. Antes utilizadas apenas como ornamento e para efeitos estéticos, as coberturas verdes começam a ser utilizadas como um método de controle de temperatura interna em ambiente construído.

As edificações são construídas principalmente para promover segurança e proporcionar condições mais adequadas às atividades humanas, além de poderem ser consideradas as melhores formas de termorregulação, ou seja, a função destas construções é proteger os indivíduos das intempéries as quais estão sujeitos, mantendo em seu interior uma proteção contra os rigores do clima (CARDOSO; VECCHIA, 2014). Nesse sentido, o principal requisito às edificações é promover o menor estresse térmico aos usuários (OKE, 1987).

O uso de vegetação em edificações pode variar desde um simples gramado até sofisticados jardins. É uma alternativa viável devido às numerosas vantagens que oferece, não só para o condicionamento térmico interno, como também para o meio ambiente externo. Esses benefícios são resultados do processo de evapotranspiração e fotossíntese que as plantas realizam. Mediante a evapotranspiração se produz um aumento da umidade do ambiente que tem como consequência a redução da temperatura, e por meio da fotossíntese as plantas são capazes de realizar uma renovação do ar entorno de onde elas se localizam. Tudo isso, traz consigo uma melhora do microclima das cidades atuais, caracterizado por maiores porcentagens de áreas verdes e baixas de contaminação do ar (GALLARDO, 2017).

O uso de fachadas verdes pode ajudar no desempenho térmico de edificações localizadas tanto em regiões de clima quente quanto em climas frios. Em regiões de clima quente amenizam as temperaturas da superfície das paredes através do efeito de sombra, além de gerar uma carga de resfriamento pelo microclima das plantas quando adultas. Já em regiões de clima frio atuam como retardadoras de perda de calor pela parede do edifício (DUNNET; KINGSBURY, 2008).

O clima tem grande influência sobre o comportamento térmico de tetos e paredes verdes e, portanto, faz-se necessário a utilização de conceitos climatológicos como ferramenta para estudos na área de conforto. Cunha e Vecchia (2007) enfatizam a importância das condições climáticas para estes estudos, tanto nas atividades realizadas no ambiente externo quanto no ambiente construído, pois pode inferir em padrões de planejamento de atividades ao ar livre, de ocupação territorial, na conceção de projetos arquitetônicos, e até mesmo auxiliar em processos de tomada de decisão em diversos aspectos ambientais.

A presente pesquisa tem como objetivo analisar diferentes sistemas de fachadas vegetadas em células de testes, avaliando o comportamento térmico das paredes e da temperatura interna do ar durante um episódio climático representativo de primavera.

2 Revisão Bibliográfica

Para um melhor entendimento, é necessário compreender a diferença entre comportamento e desempenho térmico. De acordo com Seixas (2015), os conceitos de comportamento e desempenho térmico são pautados nas características físicas dos materiais que constituem a edificação, como por exemplo, espessura e condutividade térmica.

O comportamento térmico de acordo com Santos et al. (2004) analisa a resposta do material ou de um sistema construtivo à solicitação térmica. É uma análise feita de modo a classificar o objeto de investigação em relação à sua condutividade e capacidade térmica.

O desempenho térmico, além de considerar as características térmicas definidas pelo comportamento, é instrumento de comparação de sistemas construtivos em relação à eficiência energética de edificações (SEIXAS, 2015).

Estes dois conceitos, comportamento e desempenho térmico, somados aos aspectos sensoriais da percepção térmica pelo corpo humano – de caráter psicológico e subjetivo – uma vez que as sensações termofisiológicas procuram indicar um estado mental diretamente ligado às condições térmicas do ambiente, permitirão a avaliação do conforto térmico considerando-se também as condições de uso e circulação no ambiente, assim como as atividades e vestimenta dos ocupantes (SEIXAS, 2015).

Fachadas verdes são baseadas em sua aplicação das plantas penduradas ao longo da parede. As plantas podem crescer para cima a partir da superfície vertical, ou crescem para baixo da superfície vertical, no caso são penduradas a partir de certa altura (DUNNETT; KINGSBURY, 2008). Fachadas verdes são classificadas como direta ou indireta. Na primeira, as plantas são diretamente ligadas à parede, enquanto que na última uma estrutura de suporte para a vegetação é incluída (LAURENZ et al., 2005). Esses suportes são na maioria das vezes gradeadas, podendo ser de PVC (*policloreto de vinila*), metal e madeira (KOHLER, 2008).

São denominadas coberturas verdes toda superfície exterior de uma cobertura preparada para receber vegetação. Em geral, as coberturas verdes são formadas por cinco componentes principais: uma membrana anti-raiz, uma membrana impermeável, uma camada drenante, manta geotêxtil, o solo e suas plantas (TEEMUSK; MANDER; 2009). Estas coberturas verdes podem ser classificadas em extensivas e intensivas em função da profundidade da camada de substrato, do tipo de vegetação e dos materiais utilizados para a construção (SUN et al., 2013).

Para se estudar os efeitos do uso de fachada e teto verde em edificações, é necessário definir os episódios climáticos representativos analisando os dados coletados, em particular aqueles que apresentam alguma peculiaridade.

A adoção de episódios representativos do fato climático pode ser aplicada com segurança na representação das condições climáticas, primeiro, porque é dinâmico, apresenta inicio e final bem caracterizado do fato climático e, segundo, porque não se desvincula da gênese do clima, dos fenômenos de circulação atmosférica e do acompanhamento de suas repercussões através da aquisição dos dados climáticos de superfície, da observação visual dos fenômenos atmosféricos, entre outras atitudes e verificações que não nos submetem a uma ruptura no convívio e interpretação da natureza (VECCCHIA, 1997).

Os períodos de observação tomados dessa forma representam o tipo de tempo através de uma única sequência a cada massa polar que penetra, com características próprias, além de particular rigor e duração, na medida em que avança e predomina sobre o local. Dessa forma, pode-se justificar a utilização dos episódios representativos como instrumento de avaliação do desempenho térmico e das condições do Conforto Humano afeitos ao estudo e análise do ambiente construído (VECCCHIA, 1997).

3 Metodologia

3.1 Caracterização da área de estudo

O projeto foi realizado no Centro de Recursos Hídricos e Estudos Ambientais (CRHEA), localizado na cidade de Itirapina, próximo a represa do Lobo numa altitude de 773m acima do nível do mar, com coordenadas geográficas 22°10'13.5447"S e 47°53'55.7286"W, na região central do Estado de São Paulo, próximo às cidades de São Carlos e Rio Claro.

O Clima é considerado Tropical de Altitude correspondente a Cwa da classificação climática de Köppen-Geiger e, portanto, possui características de calor intenso e inverno seco. A temperatura média ao longo do ano gira em torno 18°C a 22°C.

Figura 1. Localização da área de estudo



Fonte: Perussi (2016) adaptado.

3.2 Descrição das células de testes

Neste ensaio foram utilizadas duas células experimentais, constituídas de célula de controle (CC) e teto + fachada verde (CTF). A planta utilizada foi a *Thumbergia grandiflora*, conhecida popularmente como Tumbergia Azul, e foram plantadas nas faces norte e oeste da célula de teste. Para o teto a planta utilizada foi *Paspalum notatum* conhecida como grama batatais, grama-forquilha, grama-mato-grosso, grama-comum e grama-de-pasto. As temperaturas da superfície das paredes e da área interna foram coletadas por meio de termopares, conectados a um medidor automático, que mede a temperatura a cada 30 segundos e agregados numa média a cada hora. As informações de temperatura externa do ar, radiação solar, pressão atmosférica e precipitação foram obtidas na estação climatológica automática do CHREA, cujos dados são coletados a cada 30 segundos e armazenados em uma média a cada 30 minutos.

Figura 2. Vista área das células de testes



Fonte: Eduardo Fraccaroli (2015).

As células de teste possuem dimensões de 2,0 m x 2,5 m x 2,71 m, com o piso feito de cimento e areia, as paredes são feitas de tijolos maciço com dimensões de 10 cm x 20 cm x 5 cm cada e um rejunte de 1,5 cm de espessura entre cada tijolo. Todas as células possuem portas de madeiras localizada na parede leste com dimensões de 2,10 m x 0,60 m e uma janela colocada na parede norte com dimensões de 1,00 x 0,70 m.

Todas as células foram construídas sob as mesmas orientações, ou seja, recebem a mesma intensidade de radiação solar, vento e outros eventos atmosféricos. Isso permite que as células possuam as mesmas condições climáticas, bem como não permite a criação de sombras entre elas.

Figura 3. Imagens da células de teste



Fonte: Autor (2017).

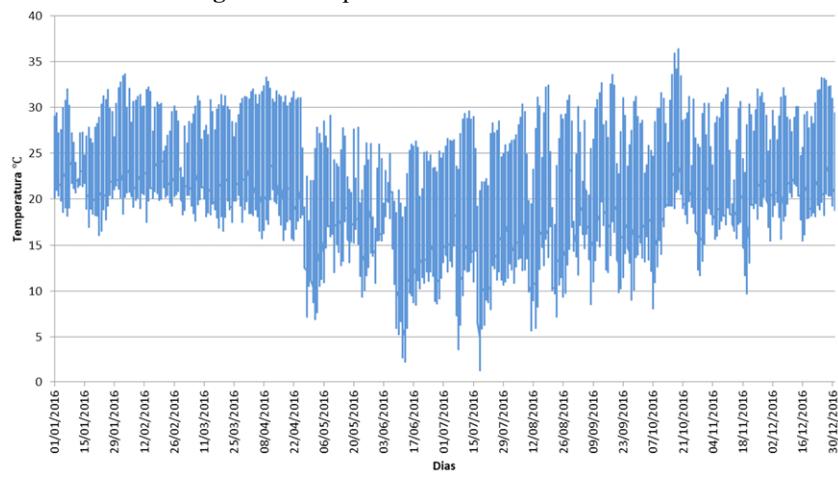
3.3 Análise do episódio climático representativo

A análise do comportamento térmico das células de testes foi realizada utilizando-se de um episódio climático representativo do tipo de tempo definido a partir de dia crítico experimental escolhido após análise do gráfico das temperaturas médias registradas no período estudado, de acordo com a adaptação de Vecchia (1997) da definição dos *Tipos de Tempo* (MONTEIRO, 1969), nos quais são considerados os dados meteorológicos em superfície junto às propriedades das massas de ar em determinado local. Com isso foi possível escolher um dia crítico experimental para um dia de calor. O episódio climático representativo foi analisado utilizando-se das variáveis climáticas de temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação e radiação solar, além das imagens de satélite do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

4 Resultados e discussões

A partir dos dados climatológicos da estação automática do CRHEA, foi elaborado o gráfico com as temperaturas do ano de 2016, então se escolheu o episódio climático representativo ocorrido entre os dias 17 e 23 de outubro de 2016, uma vez que no dia 19 de outubro foi registrada a temperatura de 36,3°C, a maior temperatura no ano de 2016.

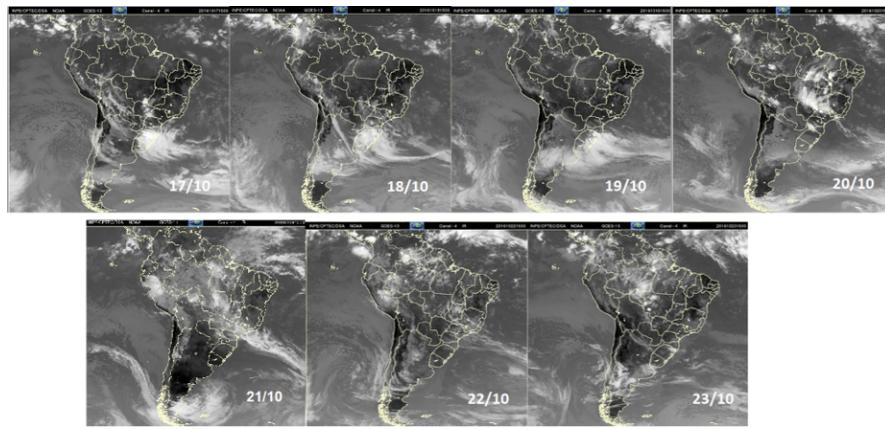
Figura 4. Temperaturas médias de 2016



Fonte: Autor.

Definido o dia crítico experimental, por meio de imagens de satélite do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e dos dados climatológicos da estação climatológica, foi possível analisar o episódio climático. Como são muitas imagens de satélites, somente as imagens correspondentes às 15:00 do período estudado foram inseridas neste trabalho.

Figura 4. Imagens de satélite do CPTEC-INPE dos dias 17 a 23 de outubro



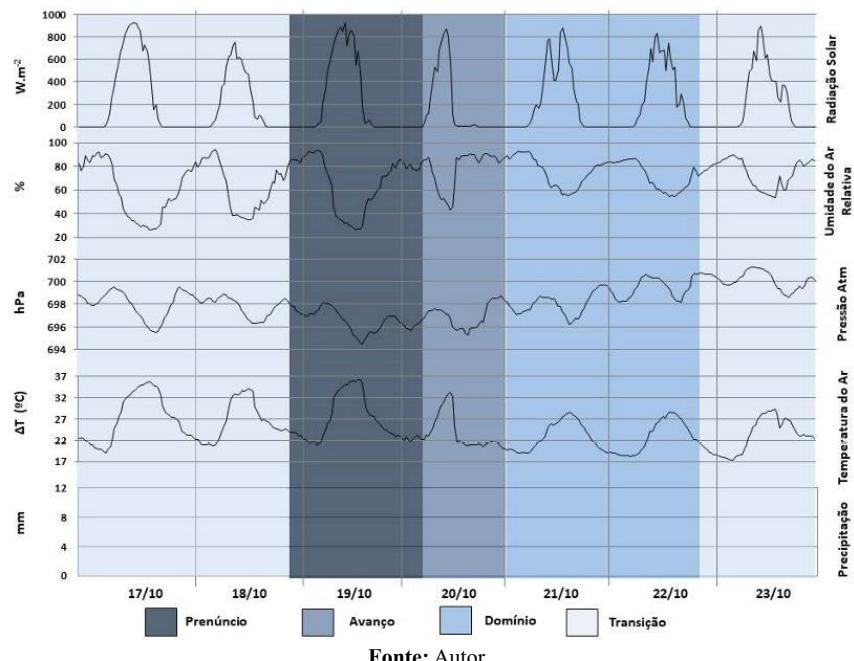
Fonte: CPTEC-INPE (2017).

Identificado a etapa de prenúncio que se iniciou no dia 18 de outubro com a diminuição da pressão atmosférica e umidade relativa do ar. Durante o prenúncio, a maior temperatura máxima foi registrada na tarde do dia 19 de outubro. A fase de avanço ocorreu em 20 de outubro e foi marcada pelo aumento da umidade relativa do ar, queda da temperatura e diminuição da radiação solar causada pelo aumento da nebulosidade, porém sem precipitação. A etapa pós-frontal, com a fase de domínio da frente fria, iniciou-se no dia 21 terminando no dia 23 de outubro, com o aumento da pressão atmosférica e diminuição da temperatura média do ar. A fase de transição se estabeleceu a partir do dia 23 com a tropicalização do sistema polar e gradativo aumento da temperatura do ar (Figura 5).

O dia 19 de outubro de 2016 teve a maior temperatura do ano, portanto foi escolhido como dia crítico experimental para análise do episódio. A temperatura registrada foi de 36,3°C às 16:00. O dia começou com o céu limpo, sem nebulosidade, porém com o aumento da nebulosidade ao longo do dia, a queda da temperatura após às 16:00 foi acentuada.

Analisa-se o comportamento térmico da célula de controle e da célula teto + fachada ao longo deste dia. Para este experimento, considerou-se o dia crítico experimental aquele em que foi registrada a maior temperatura média horária no ano de 2016.

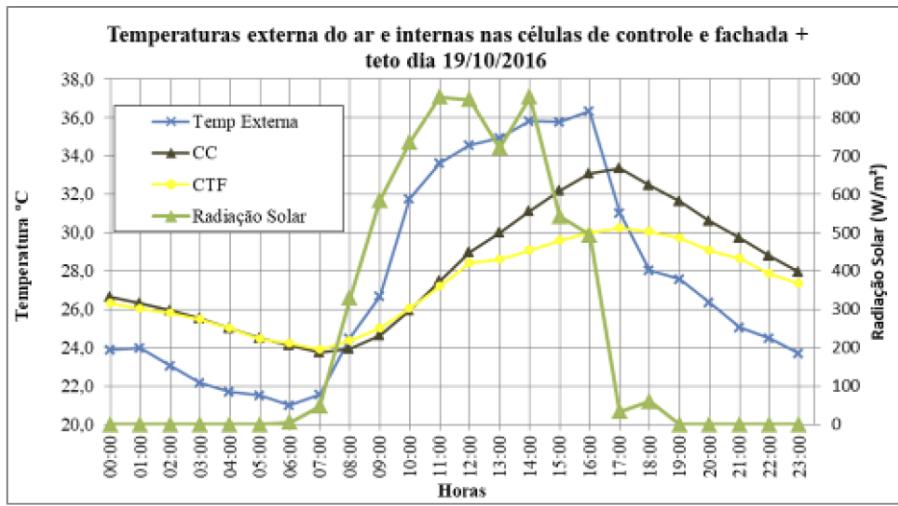
Figura 5. Gráfico dos dados climatológicos do episódio climático representativo



Fonte: Autor.

Com a elaboração dos gráficos das temperaturas do dia crítico experimental (Figuras 6, 7, 8 e 9), verificou-se que a maior temperatura registrada da CTF foi de 30,2°C às 17:00, já a temperatura da célula de controle foi 33,4° também às 17:00, enquanto a maior temperatura externa registrada foi de 36,3°C às 16:00. Todavia, as temperaturas mínimas registradas foram de 23,9°C às 7:00 para a CTF, 24,1°C às 7:00 para a CC e a temperatura externa foi de 21,0°C às 6:00. A diferença entre a temperatura máxima registrada da CTF com as temperaturas da CC e externa foram de 3,2°C e 6,1°, respectivamente. O atraso térmico tanto da célula de controle, quanto da célula com teto + fachada foi o mesmo, de uma hora em relação a temperatura externa do ar.

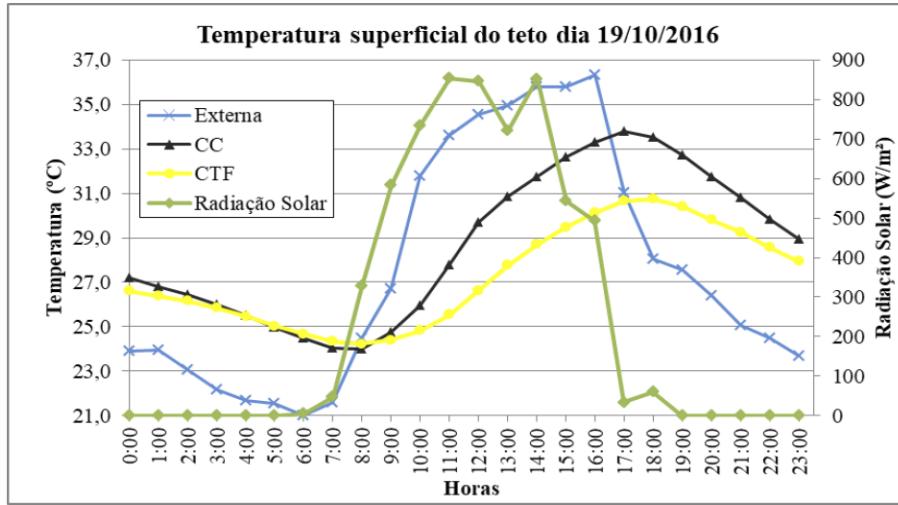
Figura 6. Gráfico de temperatura externa do ar e interna das células de testes - 19/10/2016



Fonte: Autor.

Além da temperatura interna do ar, também foram coletadas as temperaturas superficiais internas das paredes norte e oeste e do teto das células de teste. Estes dados também mostraram um melhor comportamento térmico da CTF em relação a CC, conforme pode ser observado em seus respectivos gráficos (Figuras 7, 8 e 9).

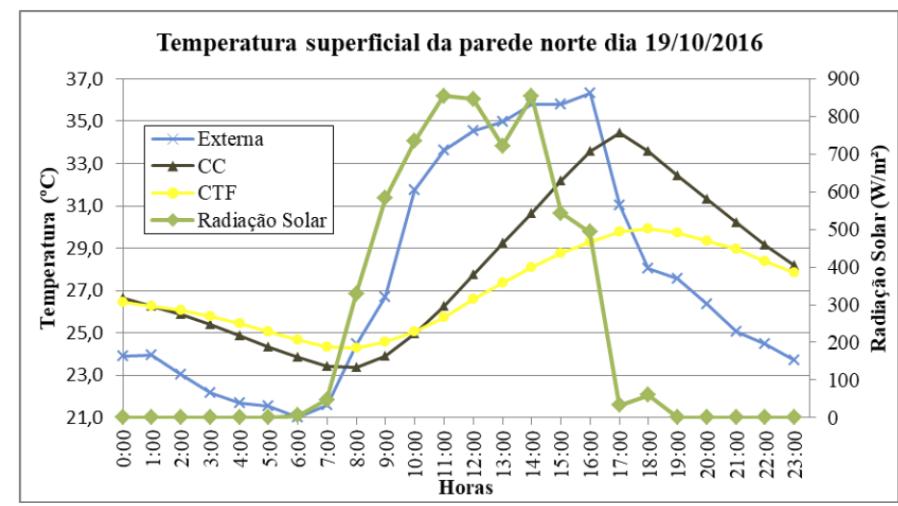
Figura 7. Gráfico de temperatura superficial do teto das células de testes - 19/10/2016



Fonte: Autor.

Observa-se a partir da Figura 7 que a temperatura superficial do teto é menor com a cobertura verde. Essa diferença chegou a 3,2°C às 17:00, horário no qual foi registrado a máxima temperatura da célula de controle que foi de 33,8°C. Por outro lado, a célula com teto e fachada verde, a máxima temperatura foi de 30,8°C às 18:00. Observou-se que a amplitude térmica do teto célula com teto e fachada verde é menor em comparação a da célula de controle.

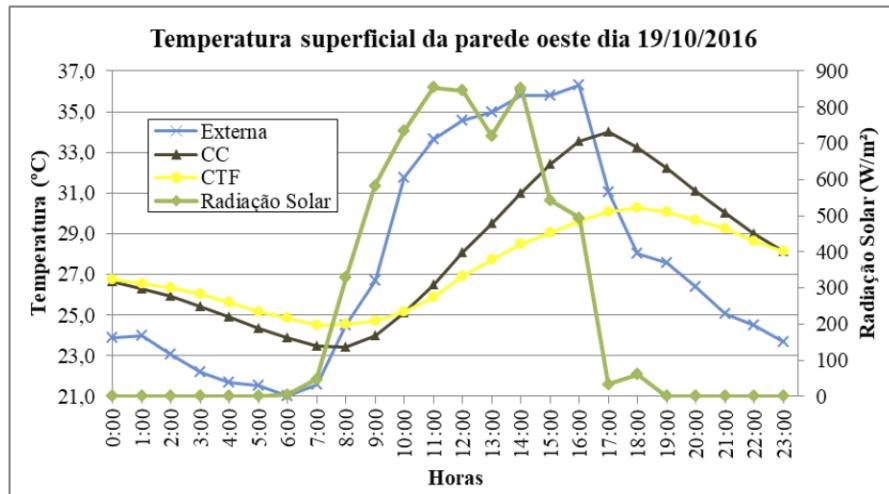
Figura 8. Gráfico de temperatura superficial da parede norte das células de testes - 19/10/2016



Fonte: Autor.

A presença da fachada verde na célula de teste diminuiu a temperatura máxima da superfície da célula com teto e fachada verde em comparação a célula de controle, sendo de 29,9°C na célula com teto e fachada verde e de 34,4°C na célula de controle. A temperatura mínima na célula com teto e fachada verde foi ligeiramente superior a célula de controle, cerca 1°C, pois a perda de calor na parede ocorre de maneira mais lenta se comparada a célula de controle. Com isso, há uma amplitude térmica menor na célula com fachada e teto verde, resultando em uma variação menor da temperatura.

Figura 9. Gráfico de temperatura superficial da parede oeste das células de testes - 19/10/2016



Fonte: Autor.

De modo semelhante ao que ocorreu na parede norte, a fachada verde na célula de teste diminuiu a temperatura máxima da superfície, da célula com teto e fachada verde, em comparação a célula de controle. Os valores apresentados foram de 30,3°C, na célula com teto e fachada verde e, 34,0°C na célula de controle. A temperatura mínima na célula com teto e fachada verde também foi superior à célula de controle, em torno de 1°C. Com isso, há uma amplitude térmica menor na célula com fachada e teto verde, resultando numa variação menor da temperatura.

5 Conclusões

A cobertura verde apresentou uma capacidade de reduzir a temperatura máxima tanto das paredes quanto do teto em comparação à célula de controle, consequentemente, a temperatura interna do ar também foi menor na célula de teste vegetada em relação à célula de controle.

Observou-se um comportamento semelhante entre as temperaturas das paredes oeste e norte. Em ambas foi possível perceber que as temperaturas das fachadas com parede verde são menores em relação à célula de controle. O teto verde também exibiu uma redução na temperatura em comparação a célula de controle.

Neste dia crítico experimental de calor, a diferença de temperatura entre CTF e CC foi de 3,2°C e de 6,1°C entre CTF e temperatura externa. A amplitude térmica da CTF foi de 6,3°C e da CC de 9,6 °C.

A diferença de temperatura entre as paredes norte com e sem vegetação foi de 4,5°C; de 3,0°C entre os tetos com e sem cobertura vegetal; e as paredes oeste apresentaram diferença de 3,7°C entre si. Assim como aconteceu com a temperatura interna do ar, onde a amplitude térmica da superfície das paredes também foi menor na célula com teto e fachada verde.

Agradecimento

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Bibliografia

- CARDOSO, G. T.; VECCHIA, F. Comparison of thermal performance between test cells with different coverage systems for experimental typical day of heat in Brazilian Southeastern. *Frontiers of Architectural Research*, v.3, p. 271–282, Apr. 2014.
- CUNHA, D. G. F.; VECCHIA, F. As abordagens clássica e dinâmica de clima: uma revisão bibliográfica aplicada ao tema da compreensão da realidade climática. *Ciência e Natura*, v. 29, n. 1. 2007.
- DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. *Planting Green Roofs and Living Walls*. 1ª Edição. Portland: Inc.Timber Press, 2008.

FRACCAROLI, E. *Vista panorâmica realizada com VANT das células experimentais.* Foto realizada com VANT no CRHEA (USP), 2015.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Divisão de satélites e sistemas ambientais.* Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

KAYANO, T.Y.K., *Climatologia e engenharia ambiental: Análise do comportamento térmico em células de testes.* 50p., monografia. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

KOHLER, M., Green facades- A review back and some vision. *Urban Ecosyst.* Nº 11,423-436. 2008.

LAURENZ, J. et al. *Natural envelope. The green element as a boundary limit.* In: THE 2005 WORLD SUSTAINABLE BUILDING CONFERENCE, 2005, Tokyo. 2005.

OKE, T.R.. *Boundary Layer Climates.* 2nd ed. New York:Methuen. 1987.

SANTOS, D. J. P. *Desempenho térmico de uma cobertura verde num edifício solar passivo.* Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente)-Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.

SEIXAS, G. T. C. de. *Climatologia aplicada a arquitetura: investigação experimental sobre a distribuição de temperaturas internas em duas células de teste.* 2015. 126p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SUN, T. et al. Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. *Building and Environment*, v. 60, p. 211-224, Feb. 2013.

TEEMUSK, A.; MANDER, Ü. Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: a case study from Estonia. *Building and Environment*, v. 44, n. 3, p. 643-650, Mar. 2009.

VECCHIA, F. A. S. *Clima e ambiente construído: a abordagem dinâmica aplicada a conforto humano.* 1997. 336p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

¹ Os dados da presente pesquisa é parte do trabalho de mestrado do primeiro autor. Mais informações em KAYANO (2017).

Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, vol. 7, n. 1, p. 145-159, Jan.-Jun., 2018 - ISSN 2318-1109

[Recebido: 01 janeiro 2018; Aceito: 01 março 2018]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2318-1109.2018.v7i1.2814>

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui!](#)/[click here!](#)