

## COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO HIGROTÉRMICO DE CÉLULAS-TESTE COM TELHADOS VERDES EM UM CLIMA TROPICAL (AS) UTILIZANDO TRÊS DIFERENTES ESPÉCIES VEGETAIS

**Wellington Souza Silva (1); Ricardo Victor Rodrigues Barbosa (2)**

(1) Mestre, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, wellingtonsouza@usp.br, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, São Carlos-SP

(2) Doutor, Professor do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, rvictor@fau.ufal.br, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro do Martins, Maceió-AL, CEP 57072-900

### RESUMO

Diferenças climáticas sazonais e características das espécies vegetais são apontados pela literatura como influentes no desempenho térmico de telhados verdes. O objetivo deste artigo foi analisar a influência da variação da espécie vegetal no comportamento higrotérmico de células-teste com telhados verdes extensivos, nos períodos úmido e seco de um clima tropical (As). Dados de temperatura e umidade relativa do ar foram monitorados em um dia para cada período: úmido (29/08/2019) e seco (14/11/2019) da cidade de Arapiraca-AL. As espécies analisadas foram: *Desmodium triflorum*, *Callisia repens* e *Zoysia japonica*. No período úmido, as diferenças entre *Desmodium triflorum* e *Callisia repens* não foram significativas, apesar de cobertura vegetal ser discrepante. O recobrimento parcial do substrato pela *Desmodium triflorum* e as características da *Callisia repens* (coloração e metabolismo) permitiram maiores temperaturas do ar e menores umidades relativas do ar que na célula-teste com *Zoysia japonica* (diferenças máximas de 0,60°C e 7,8%). No período seco, *Zoysia japonica* e *Callisia repens* não apresentaram diferenças significativas na umidade relativa do ar, porém *Zoysia japonica* apresentou valores menores de temperatura do ar (diferença máxima de 0,56°C), devido à morfologia rizomatosa da espécie que reduz as trocas de calor com o ambiente externo. *Desmodium triflorum* não sobreviveu ao período seco devido a sua sazonalidade. De maneira geral, *Zoysia japonica* apresentou o melhor desempenho em ambos os monitoramentos. No entanto, pesquisas com outras espécies e uma maior campanha de dados permitirão obter conclusões mais precisas e possibilitar recomendações de espécies vegetais para telhados verdes no clima analisado.

Palavras-chave: arquitetura bioclimática, cobertura verde, espécie vegetal, desempenho térmico, célula-teste.

### ABSTRACT

The literature points out that seasonal changes in climate and the characteristics of plant species can influence the thermal performance of green roofs. This study presents an analysis of the influence of plant species on the hygrothermal performance of test cells with extensive green roofs, in the wet and dry seasons of a tropical climate (As). Air Temperature and relative humidity data were collected from the test cells, one day for each season: wet (08/29/2019) and dry (11/14/2019) in Arapiraca-AL. *Desmodium triflorum*, *Callisia repens* and *Zoysia japonica* were the plant species analyzed. In the wet season, the differences between *Desmodium triflorum* and *Callisia repens* were not significant, despite the distinct vegetation cover. Partial substrate coverage by *Desmodium triflorum*, metabolism and color of *Callisia repens* allowed for higher air temperatures and lower relative humidity than test cell with *Zoysia japonica* (maximum differences of 0.60°C and 7.8%). In the dry season, *Zoysia japonica* and *Callisia repens* did not have significant differences in relative humidity, but *Zoysia japonica* had a lower air temperature (maximum difference of 0.56°C) because its rhizomatous morphology can reduce heat exchange between the green roof and environment. *Desmodium triflorum* did not survive the dry season due to its seasonality. In general, *Zoysia japonica* performed better than other species in both seasons. However, tests of other species and a longer data campaign may allow for more accurate conclusions and lead to guidance on plant species suitable for green roofs in the climate under study.

Keywords: bioclimatic architecture, green roof, plant species, thermal performance, test cell.

## 1. INTRODUÇÃO

Desde os primeiros registros do fenômeno das ilhas de calor urbanas, em 1818, por Luke Howard em Londres, são propostas soluções e estratégias que possibilitem minimizar seus efeitos (GARTLAND, 2010). Entre elas está o incremento de vegetação no meio urbano, no qual o telhado verde é estratégia recorrente na literatura (GARTLAND, 2010). Esse sistema de cobertura é utilizado há séculos devido seus efeitos de resfriamento do ambiente interno, oriundos das propriedades dos seus componentes (MINK, 2003). Constituem-se basicamente de uma estrutura de suporte e camadas de drenagem, filtro, substrato e vegetação, utilizando espécies adequadas à tipologia do telhado verde e ao clima local.

No desempenho térmico desse sistema de cobertura, a espécie vegetal, o material da drenagem, a espessura e umidade do substrato influenciam no balanço térmico. Quanto às características da vegetação, Tadeu *et al.* (2021) destacam o Índice de Área Foliar (LAI – *Leaf Area Index*) como principal parâmetro na redução do fluxo de calor. Sailor (2008) acrescenta a fração de cobertura do substrato, o albedo e a resistência estomática. Plantas com maior adensamento são desejáveis para telhados verdes pois possibilitam menores temperaturas sob a copa da vegetação do que espécies mais esparsas (WONG *et al.*, 2003). O sombreamento, proporcionado pelas plantas, reduz a taxa de calor transferido para a laje/cobertura (LIZ; ORDENES; GUTHS, 2018). Até a coloração das folhas pode influenciar no comportamento térmico. Liu *et al.* (2012) identificaram que copas maiores e folhas na coloração verde são mais eficazes no isolamento térmico que nas cores vermelho e roxo. Savi (2015) ainda cita que folhas escuras, como das espécies *Tradescantia zebrina* e *Callisia repens*, podem absorver mais calor e elevar a temperatura da superfície. Além da influência desses e outros parâmetros no desempenho térmico do telhado verde, Getter *et al.* (2011) encontraram diferentes reduções do fluxo de calor em telhados verdes conforme a estação do ano em East Lansing, Michigan, Estados Unidos (clima com verão quente e úmido e inverno frio e com neve).

Assim, destaca-se a importância de estudos experimentais do desempenho térmico de telhados verdes para compreender o comportamento do sistema, sobretudo da vegetação (nativa ou aclimatada) dentro de uma realidade climática específica, e diante das diferenças climáticas sazonais locais. Isso permitirá elaborar recomendações de espécies vegetais para telhados verdes locais e assim contribuir na minimização dos efeitos das ilhas de calor urbanas.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo foi analisar a influência da variação da espécie vegetal no comportamento higratérmico de células-teste com telhados verdes extensivos, nos períodos úmido e seco de um clima tropical (As), no Nordeste brasileiro.

## 3. MÉTODO

A metodologia experimental consistiu no monitoramento de variáveis no interior de células-teste com telhados verdes extensivos instalados na cobertura, utilizando a cidade de Arapiraca-AL como área de estudo.

A cidade possui um clima categoria As, denominado tropical com estação seca de verão, conforme a classificação climática de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). Dados climáticos locais indicam a existência de duas estações características: um verão quente e pouco chuvoso – quente e seco – de outubro a março, e um inverno mais ameno e chuvoso – quente e úmido – de abril a setembro (SILVA, 2019). Com uma amplitude térmica diária de 12°C para os meses secos e 8°C para os meses chuvosos, a temperatura média mensal do ar varia entre 22,1°C e 26,5°C, enquanto a umidade relativa média do ar varia entre 70% e 80%, podendo apresentar-se menor que 50% no período seco. A velocidade do ar varia entre 1,6m/s e 5,5m/s, com ventos oriundos principalmente de leste e sudeste, e a precipitação média anual é de 890,0mm (SILVA, 2019).

### 3.1. Células-teste

As células-teste possuem um volume interno de 1m<sup>3</sup> de ar e foram construídas com materiais convencionais (Figura 1), no *campus* da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), em Arapiraca-AL. A cobertura é uma laje constituída por vigotas treliçadas pré-moldadas, lajotas cerâmicas, capa externa de concreto e impermeabilização com manta líquida na cor branca, totalizando 12cm de espessura. Ela está voltada para o Norte com 20% de inclinação, para receber radiação solar o dia inteiro. Além da platibanda de 8cm de altura nas extremidades da laje, foi instalado um “caixote vazado” de madeira com 20cm de altura interna para permitir a instalação de telhados verdes com espessura adequada de substrato. As três células-teste encontram-se dispostas linearmente no canteiro experimental, distantes 4m entre si, de modo a evitar sombreamento mútuo e barreiras à ventilação natural.

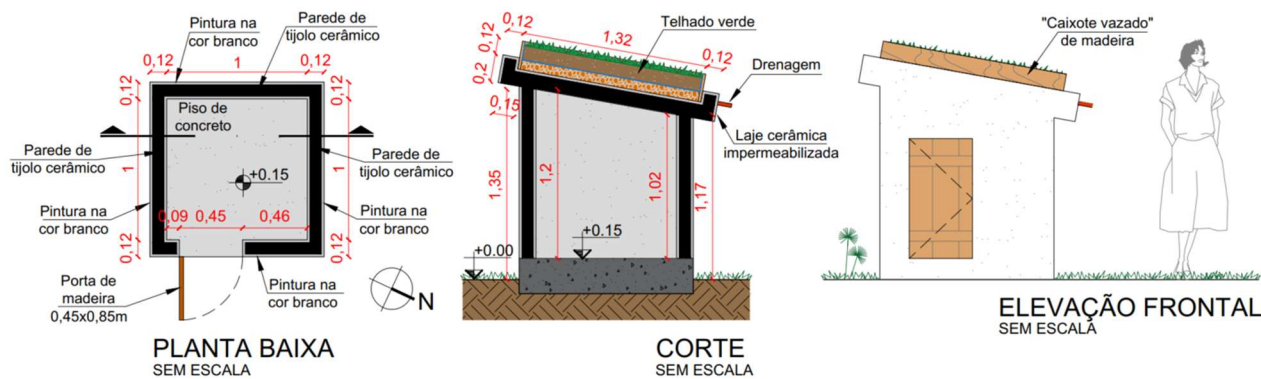


Figura 1 – Projeto das células-teste. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Em cada célula-teste foram instalados telhados verdes extensivos composto de: argila expandida graúda (7cm); manta de jardim; substrato (10cm – valor médio para o sistema extensivo) composto de solo, areia e esterco caprino na proporção 2:1:1 – traço recomendado por Furtado (2019); e a vegetação. A manutenção consistiu retirada de plantas invasoras, quando necessária, e na irrigação diária às 08:00h ou 16:30h, desnecessária na ocorrência de precipitação.

### 3.2. Espécies vegetais

Foram comparadas três espécies vegetais: *Desmodium triflorum* (TV-dt), *Callisia repens* (TV-cr) e *Zoysia japonica* (TV-zj). Seleccionadas utilizando os seguintes critérios: nativa ou aclimatada à região; rápida cobertura do solo; resistência às condições climáticas locais; disponibilidade na região; fácil plantio; e pouca manutenção. A Figura 2 ilustra o plantio das espécies.

*Desmodium triflorum* (L.) DC., conhecida popularmente como amor-do-campo, é uma herbácea subarbustiva, prostrada, enraizada nos entrenós com folha trifoliolada, geralmente encontrada em campos e áreas degradadas. É uma espécie naturalizada que pode ser encontrada na Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal, distribuída por todo o Brasil (NOBRE; SARTONI; RESENDE, 2008; REFLORA, 2023).

Lopes (2007) afirma que o método de plantio é a principal variável para uma melhor ocupação da vegetação na cobertura, no qual a utilização de esteiras de plantas (placas / tapetes pré-cultivados) apresenta melhores resultados quando comparada a métodos que usam brotos e mudas. A *Desmodium triflorum* foi adquirida em mudas no próprio local do experimento, portanto foi necessário realizar o pré-plantio dessas mudas em 3cm de substrato (solo, areia e esterco caprino na proporção 2:1:1) para a produção de pequenas placas, que foram transferidas para a cobertura da célula-teste após 30 dias.

Essa produção de placas também foi necessária para a espécie *Callisia repens* (Jacq.) L., também adquirida em mudas. Ela é uma herbácea reptante com folhagem ornamental, muito ramificada, conhecida popularmente por dinheiro-em-penca. Possui porte entre 5cm e 10cm de altura e multiplica-se em qualquer época do ano por meio de pequenos blocos contendo a ramagem já enraizada (LORENZI; SOUZA, 2008). Originária da América tropical, no Brasil ela é encontrada da Caatinga à Mata Atlântica, distribuída nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul (REFLORA, 2023). Bastos (2017) destaca a *Callisia repens* e outras cinco espécies como plantas indicadas para telhados verdes extensivos em Recife-PE (clima As), pois apresentam maior

*Desmodium triflorum* (TV-dt)



*Callisia repens* (TV-cr)



*Zoysia japonica* (TV-zj)



Figura 2 – Instalação da vegetação nos telhados verdes. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

pegamento, persistência, capacidade de cobertura vegetal, aparência e menores temperaturas superficiais internas dentre as 19 espécies estudadas pela autora.

A terceira espécie utilizada foi a *Zoysia japonica* Steud, uma planta de clima quente, conhecida popularmente por grama-esmeralda. Ela é uma herbácea rizomatosa, reptante, perene, muito ramificada, nativa do Japão e aclimatada à região. Apresenta porte entre 10cm e 15cm de altura e multiplica-se por mudas e placas (LORENZI; SOUZA, 2008). Sua principal vantagem é a rápida cobertura do solo, já que seu plantio geralmente ocorre a partir de tapetes pré-cultivados da vegetação. Além dessas espécies, outras foram testadas, mas não se desenvolveram nos telhados verdes, foram elas: *Arachis repens* e *Richardia grandiflora*.

### 3.3. Monitoramento e tratamento dos dados

Diante de variações climáticas sazonais, o telhado verde pode apresentar desempenhos térmicos diferentes (GETTER *et al.*, 2011). Na área de estudo deste trabalho, a principal diferença entre as duas estações características (quente e úmido / quente e seco) é a temperatura do ar e a precipitação. Esta última, sobretudo, tem grande influência no telhado verde pois as plantas necessitam de água para a sobrevivência. No período seco, o telhado verde depende majoritariamente das características da espécie vegetal e das propriedades dos seus componentes, que são limitadas quanto ao armazenamento de água, por exemplo, devido à espessura do substrato e da camada de drenagem.

Em virtude disso, o monitoramento dos dados foi realizado em um dia para cada período: quente e úmido (29/08/2019) e quente e seco (14/11/2019). Nas células-teste, foram coletados dados horários de temperatura do ar interno ( $T_{a.in}$ ) e umidade relativa do ar interno ( $U_{a.in}$ ) utilizando *data loggers* HOBO® UX100-003 da ONSET® (Figura 3 e Tabela 1), que foram descarregados com o auxílio do *software* Hoboware.

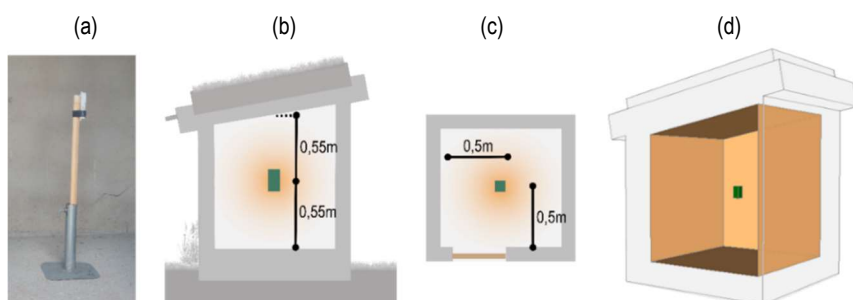


Figura 3 – (a) *Data logger* instalado para a coleta de dados; (b) e (c) posicionamento do equipamento em corte e planta baixa, respectivamente; e (d) esquema volumétrico da célula-teste com HOBO® UX100-003 no interior. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 1 – Informações técnicas (faixa, precisão e dimensões) do *data logger* HOBO® UX100-003. Fonte: ONSET, 2023.

Sensor de temperatura	Faixa	-20°C a 70°C
	Precisão	± 0,21°C (0°C a 50°C)
Sensor de umidade relativa	Faixa	15% a 95% (sem condensação)
	Precisão	± 3,5% (25% a 85%) ± 5,0% (abaixo de 25% e acima de 85%)
Registrador	Tamanho	3,66 x 8,48 x 1,52 cm

Para verificar o comportamento térmico das células-teste antes da instalação dos telhados verdes, foi realizado o monitoramento prévio da  $T_{a.in}$  e  $U_{a.in}$  em três (3) dias consecutivos (19 a 21 de junho de 2019). Procedimentos semelhantes foram utilizados Osuna-Motta, Herrera-Cáceres e López-Bernal (2017) para verificar se as células-teste apresentavam comportamentos similares. Neste trabalho, a temperatura do ar máxima apresentou um desvio padrão de 0,276, valor maior que o permitido pelo equipamento ( $\pm 0,21$ ), como mostra a Tabela 2, apesar das células-teste serem idênticas do ponto de vista construtivo (Figura 4).



Figura 4 – Células-teste no canteiro experimental. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 2 – Dados brutos e corrigidos de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior das células-teste, no período de monitoramento prévio.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Célula-Teste	Dados brutos						Dados corrigidos					
	Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)			Temperatura do ar (°C)			Umidade relativa do ar (%)		
	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.
TV1	20,51	23,22	26,58	73,20	88,16	95,21	20,27	23,25	27,07	66,32	84,82	93,67
TV2	20,49	23,21	26,60	70,88	87,61	96,70	20,29	23,25	27,03	66,61	84,82	94,71
TV3	20,27	23,25	27,07	66,82	84,83	94,33	20,27	23,25	27,07	66,82	84,83	94,33
$\sigma$	0,131	0,020	0,276	3,232	1,784	1,196	0,009	0,000	0,024	0,249	0,009	0,527

Como essa diferença poderia afetar os dados coletados com as diferentes espécies vegetais, eles foram tratados da seguinte maneira: uma célula-teste foi estabelecida como padrão (TV3), e nos dados das outras (TV1 e TV2) foi aplicado um fator de correção (Tabela 2). Esse fator foi obtido a partir da diferença entre os valores médios horários da TV3 com os valores médios horários das células-teste TV1 e TV2. Os dados de

Ta.in e Ua.in que serão apresentados nos resultados são corrigidos por esse fator. Vale destacar ainda que essa diferença entre os dados das células-teste não foi oriunda dos equipamentos, pois estes foram aferidos antes das medições (Ta.in e Ua.in monitoradas em um mesmo ambiente por 96h) e os dados coletados não apresentaram desvio padrão maior que os limites estabelecidos pelo fabricante do equipamento.

O comportamento climático dos dias monitorados foi analisado a partir de dados horários de temperatura do ar externo (Ta.ex), umidade relativa do ar externo (Ua.ex), radiação solar global, velocidade média do ar e pluviosidade, utilizando uma estação meteorológica Davis® Vantage Pro2™ instalada no canteiro experimental com sensores posicionados a 1,5m de altura, distante 9m das células-teste.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Período quente e úmido (QU)

O comportamento da temperatura e umidade relativa do ar externo (Ta.ex e Ua.ex, respectivamente) no dia 29 de agosto de 2019 é apresentado na Figura 5. Esse dia apresentou uma amplitude térmica de 9,3°C, 0,6°C maior que a amplitude média para o mês de agosto, e uma variação de umidade relativa menor que a variação média das umidades relativas do ar para o mês correspondente, porém a Ua.ex se apresentou com maiores máximas e maiores mínimas que os valores médios mensais, conforme apresenta os dados na Tabela 3. Não houve precipitação no dia monitorado. A velocidade média do ar foi de 0,63m/s, com dois períodos de calmaria: 0h-7h e 21h-24h. O comportamento da radiação solar indica a presença de nebulosidade em quase todo o monitoramento, apesar disso os dados apresentam um pico de 1035,0W/m<sup>2</sup> da radiação solar global às 12h.

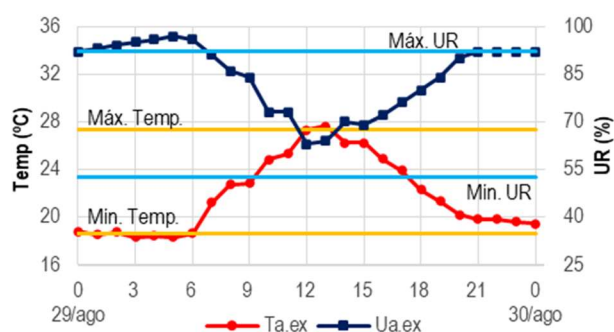


Figura 5 – Gráfico do comportamento da Ta.ex e Ua.ex no dia 29/08/2019 e valores médios mensais das máximas e mínimas dessas variáveis, conforme Silva (2019). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 3 - Valores máximos e mínimos diários registrados pela estação meteorológica no dia 29/08/2019. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Parâmetro	29/08/2019		Média mensal AGO (SILVA, 2019)	
	Ta.ex (°C)	Ua.ex (%)	Ta.ex (°C)	Ua.ex (%)
Máxima	27,6	97	27,3	92,2
Mínima	18,3	63	18,6	52,5
Amplitude / Variação	9,3	34	8,7	39,7

Para as espécies *Desmodium triflorum* e *Callisia repens*, este dia monitorado representa o 28° e 29° dia de estabelecimento da vegetação (recobrimento do substrato pela cobertura vegetada), respectivamente. Já para a espécie *Zoysia japonica* é o 58° após o plantio. Essa diferença ocorreu devido ao telhado verde com *Zoysia japonica* ter sido utilizado em estudos prévios, apresentados no trabalho de Silva (2020).

A Figura 6 apresenta a aparência dos telhados verdes no dia monitorado. Há diferenças visuais na cobertura do solo entre os telhados verdes TV-dt e TV-cr. A espécie *Desmodium triflorum* (TV-dt) não cobriu totalmente o substrato, caracterizando não estabelecimento total da vegetação, conforme os critérios de Farrell *et al.* (2012). Por outro lado, a espécie *Callisia repens* (TV-cr) cobriu 100% da cobertura e ainda avançou os limites do “caixote vazado” de madeira.



Figura 6 – Aparência dos telhados verdes no dia 29/08/2019 (período quente e úmido). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

#### 4.1.1. Temperatura do ar - QU

A Figura 7 apresenta o comportamento da temperatura do ar interno (Ta.in). As maiores diferenças de resfriamento em relação à temperatura do ar externo (Ta.ex) ocorreram às 12h (2,23°C–TV-dt, 2,06°C–TV-cr e 2,30°C–TV-zj), e de aquecimento às 20h (3,77°C–TV-dt, 3,77°C–TV-cr e 3,35°C–TV-zj). O telhado verde

com *Zoysia japonica* (TV-zj) apresentou os menores valores de temperatura do ar interno, alcançando uma diferença de 0,6°C (14h) do telhado verde com *Callisia repens* (TV-cr).

Apesar da diferença na cobertura do substrato entre *Desmodium triflorum* (TV-dt) e *Callisia repens* (TV-cr) apresentada na Figura 6, ambos telhados verdes apresentaram valores de temperatura do ar interno muito próximos entre si, com diferença máxima de 0,3°C (13h), próximo à precisão do equipamento ( $\pm 0,21^\circ\text{C}$ ).

Liz, Ordenes e Guths (2018, p. 329) identificaram que a “presença da camada de terra [substrato] caracteriza o telhado verde como estratégia de elevada inércia térmica”. Assim, é possível que os efeitos de amortização das variações de temperatura promovidos pela inércia térmica tenham sido superiores à variação da espécie vegetal, já que a alta inércia térmica para aquecimento e resfriamento é uma das estratégias bioclimáticas indicadas para o clima da cidade (SILVA, 2019).

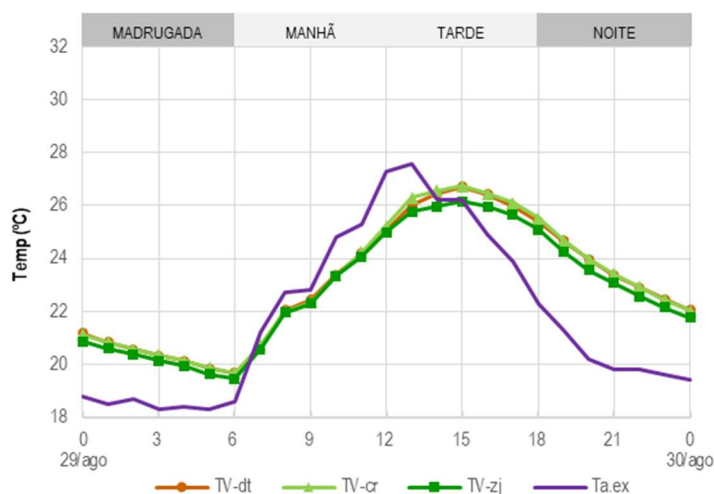
Embora alguns autores destacarem a influência da copa da vegetação nas temperaturas superficiais do telhado verde devido ao sombreamento proporcionado (LIZ; ORDENES; GUTHS, 2018; WONG *et al.*, 2003), esse fenômeno não foi observado na temperatura do ar interno das células-teste com *Desmodium triflorum* (TV-dt) e *Callisia repens* (TV-cr). Pode-se inferir que, além da inércia térmica, os efeitos de sombreamento do substrato promovido pela *Callisia repens* foram compensados pela retirada de calor no processo de evaporação da água no substrato exposto da *Desmodium triflorum*, confirmando o que Mechelen, Dutoit e Hermy (2015) citam sobre as plantas impedirem a evaporação da água do solo e reduzirem o potencial do telhado verde de resfriar a cobertura. Além disso, plantas com metabolismo CAM (Metabolismo do Ácido das Crassuláceas), como a *Callisia repens*, podem apresentar temperaturas superficiais maiores que outras espécies por possuírem menor transpiração (CAO *et al.*, 2019).

Assim, entre as espécies *Desmodium triflorum* e *Callisia repens*, a variação da vegetação não foi influente no comportamento da temperatura do ar interno (Ta.in) das células-teste. Valores consideráveis de variação entre essas espécies e a *Zoysia japonica* só ocorrem a partir das 13h (0,28°C - 0,60°C) e são oriundos das diferentes capacidades de armazenar calor e atrasar sua emissão para o ambiente interno do sistema completo.

Quanto aos parâmetros apresentados na Tabela 4, a célula-teste com *Zoysia japonica* (TV-zj) obteve o menor valor de amplitude térmica e o maior amortecimento das máximas, enquanto *Desmodium triflorum* (TV-dt) e *Callisia repens* (TV-cr) se destacaram no amortecimento das mínimas e atraso térmico da mínima. É importante destacar que os parâmetros calculados para TV-dt e TV-cr foram idênticos, apesar da diferença de cobertura do substrato.

#### 4.1.2. Umidade relativa do ar - QU

Na umidade relativa do ar interno (Ua.in) monitorada no período quente e úmido (Figura 8), as espécies *Desmodium triflorum* (TV-dt) e *Callisia repens* (TV-cr) não apresentaram diferenças entre si maiores que a precisão do equipamento ( $\pm 3,5\%$ ), com maior diferença apenas de 2,24%. A terceira espécie analisada, *Zoysia japonica* (TV-zj), permitiu maiores valores de umidade relativa do ar que as outras espécies, com maiores diferenças no período da tarde, variando entre 4,23% e 7,8% acima dos valores registrados nas outras células-teste.



NOTA: TV-dt: Telhado verde com *Desmodium triflorum*; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ta.ex: Temperatura do ar externo.

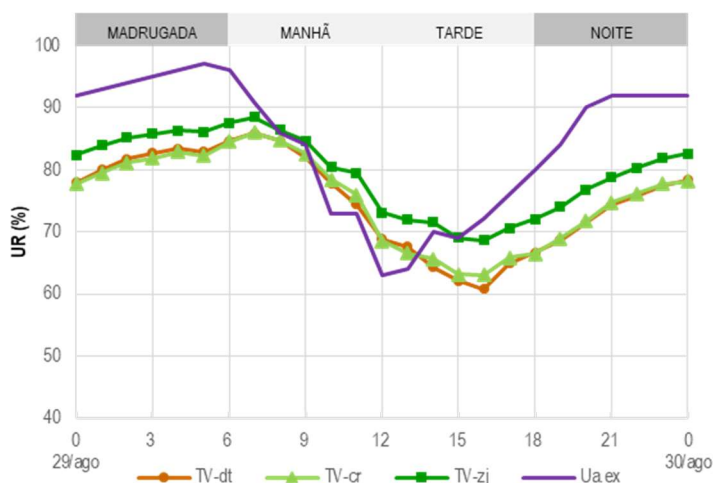
Figura 7 – Gráfico do comportamento da temperatura do ar interno (Ta.in) nas células-teste no dia 29/08/2019 (período quente e úmido). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 4 - Ta.in máxima, Ta.in mínima, amplitude térmica, amortecimento térmico e atraso térmico no dia 29/08/2019 (período quente e úmido).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Telhado verde	Ta.in (°C)		Amplitude Térmica (°C)	Amortecimento Térmico (°C)		Atraso Térmico (h)	
	Máx.	Mín.		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
TV-dt	26,7	19,7	7,0	-0,9	1,4	2	1
TV-cr	26,7	19,7	7,0	-0,9	1,4	2	1
TV-zj	26,2	19,4	6,8	-1,4	1,1	2	1
Ta.ex	27,6	18,3	9,3	-	-	-	-

NOTA: TV-dt: Telhado verde com *Desmodium triflorum*; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ta.ex: Temperatura do ar externo; Ta.in: Temperatura do ar interno.



NOTA: TV-dt: Telhado verde com *Desmodium triflorum*; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ua.ex: Umidade relativa do ar externo.

Figura 8 – Gráfico do comportamento da umidade relativa do ar (Ua.in) nas células-teste no dia 29/08/2019 (período quente e úmido). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 5 - Ua.in máxima, Ua.in mínima e variação de umidade no dia 29/08/2019 (período quente e úmido). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Telhado verde	Ua.in (%)		Variação de umidade (%)
	Máx.	Mín.	
TV-dt	85,9	60,8	25,1
TV-cr	86,0	63,0	23,0
TV-zj	88,4	68,6	19,8
Ua.ex	97,0	63,0	34,0

NOTA: TV-dt: Telhado verde com *Desmodium triflorum*; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ua.ex: Umidade relativa do ar externo; Ua.in: Umidade relativa do ar interno.

Todas as células-teste com telhados verdes se apresentaram mais úmidas internamente que os valores externos (Ua.ex) entre 9h e 13h, nos quais a células-teste TV-zj apresentou os maiores valores. As maiores diferenças de aumento da Ua.in em relação à Ua.ex ocorreram às 12h (5,8%–TV-dt, 5,5%–TV-cr e 10,0%–TV-zj), e de redução às 20h (18,6%–TV-dt, 18,3%–TV-cr e 13,3%–TV-zj). Quanto aos valores máximos e mínimos da Ua.in e sua variação (Tabela 5), a célula-teste com *Zoysia japonica* (TV-zj) apresentou o menor valor (19,8%) enquanto as menores máximas, mínimas e a maior variação de umidade (25,1%) foram encontradas no telhado verde com *Desmodium triflorum* (TV-dt). Por possuir reduzida cobertura do substrato, o TV-dt estava mais sujeito às variações de Ta.ex e Ua.ex, embora seus resultados tenham sido acompanhados de perto pelo TV-cr (cobertura total do substrato), em ambas as variáveis (Ta.in e Ua.in).

#### 4.2. Período quente e seco (QS)

Os dados apresentados na Figura 9 correspondem ao comportamento da temperatura e umidade relativa do ar externo (Ta.ex e Ua.ex, respectivamente) no dia 14 de novembro de 2019. Com uma amplitude térmica de 11,3°C, 0,8°C menor que a amplitude térmica média mensal, umidades relativas mais elevadas que os valores médios mínimos e máximos, e uma variação de umidade menor que a variação média das umidades relativas do mês analisado, esse dia apresentou comportamento de uma fase de transição entre as estações úmida e seca (Tabela 6). Os dados de precipitação foram nulos para esse dia. A ventilação apresentou uma velocidade média diária de 2,0m/s e não ocorreram períodos de calmaria. Apesar da presença de nebulosidade, evidenciada pelo comportamento da radiação solar global, o pico desta variável foi 1107,0 W/m<sup>2</sup> às 11h.

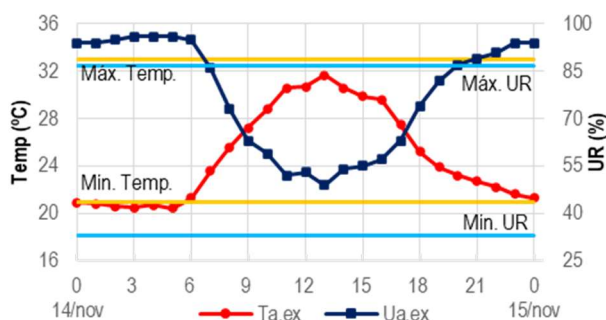


Figura 9 – Gráfico do comportamento da Ta.ex e Ua.ex no dia 14/11/2019 e valores médios mensais das máximas e mínimas dessas variáveis, conforme Silva (2019). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 6 - Valores máximos e mínimos diários registrados pela estação meteorológica no dia 14/11/2019. Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Parâmetro	14/11/2019		Média mensal NOV (SILVA, 2019)	
	Ta.ex (°C)	Ua.ex (%)	Ta.ex (°C)	Ua.ex (%)
Máxima	31,7	96,0	33,0	86,7
Mínima	20,4	49,0	20,9	32,9
Amplitude / Variação	11,3	47,0	12,1	53,8

A *Desmodium triflorum* (TV-dt) não resistiu às condições climáticas do período quente e seco, devido à sazonalidade da espécie, que proporciona melhor desenvolvimento no período chuvoso, evento não esperado pela pesquisa. Assim, a cobertura TV-dt foi renomeada para cobertura sem vegetação (SV) por não apresentar nenhuma cobertura vegetal, mas conter todos os demais componentes de um telhado verde e continuar recebendo irrigação diária como os telhados verdes (Figura 10).

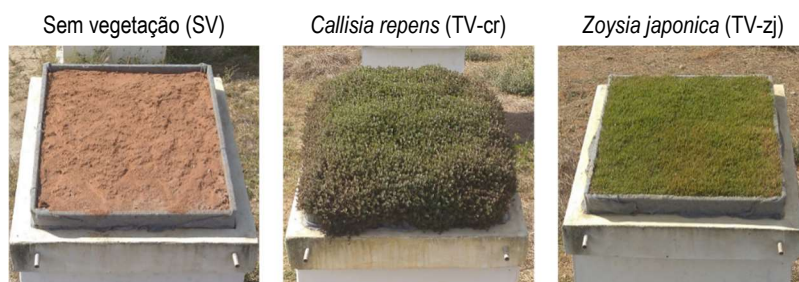
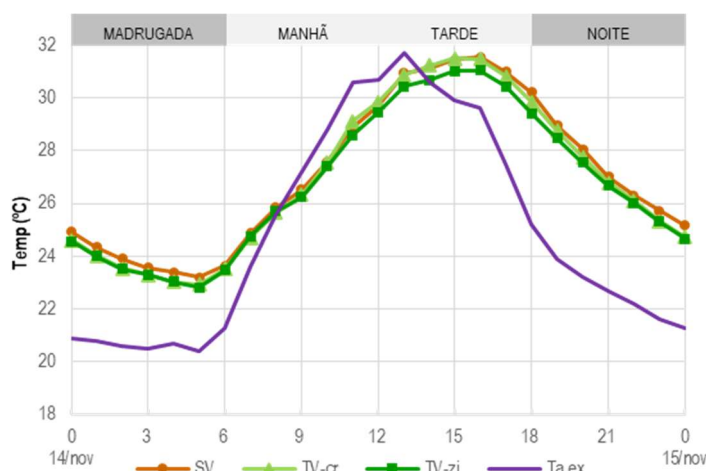


Figura 10 – Aparência dos telhados verdes no dia 14/11/2019 (período quente e seco). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

#### 4.2.1. Temperatura do ar - QS

O gráfico da Figura 11 apresenta o comportamento da temperatura do ar interno ( $T_{a.in}$ ) das células-teste no dia monitorado. O sistema sem vegetação (SV) apresentou maiores valores de  $T_{a.in}$  que os demais sistemas no final da tarde, noite e madrugada, alcançando uma diferença com a espécie *Zoysia japonica* (TV-zj) de  $0,81^{\circ}\text{C}$  (18h). Esta espécie apresentou valores menores de  $T_{a.in}$  que a *Callisia repens* (TV-cr), alcançando uma diferença de  $0,56^{\circ}\text{C}$  às 14h.

No trabalho de Savi (2015), para dados de temperatura superficial interna coletados em plataforma de testes no mês de janeiro em Curitiba-PR, a *Zoysia tenuifolia* reduziu a troca de calor do substrato com o meio externo, comparada a outras espécies (*Bulbine frutescens*, *Tradescantia zebrina*, *Sedum Mexicanum* e *Callisia repens*), devido à formação de uma massa densa e uniforme na cobertura, característica de uma planta rizomatosa, ou seja, com caules subterrâneos que crescem lateralmente e formam touceiras (LORENZI; SOUZA, 2008). Esse mesmo efeito pode ser aplicado à *Zoysia japonica*, por serem espécies do mesmo gênero e morfológicamente semelhantes, explicando seus menores valores de temperatura do ar interno em comparação às outras espécies analisadas neste trabalho.



NOTA: SV: Sem vegetação; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ta.ex: Temperatura do ar externo.

Figura 11 – Gráfico do comportamento da temperatura do ar interno ( $T_{a.in}$ ) nas células-teste no dia 14/11/2019 (período quente e seco). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Entre 6h e 10h, as diferenças entre SV e os telhados verdes foram pequenas, menores que  $0,3^{\circ}\text{C}$ . Entre 5h e 22h o sistema sem vegetação (SV) e o telhado verde com *Callisia repens* (TV-cr) apresentaram valores próximos, com máxima diferença de  $0,38^{\circ}\text{C}$  (18h e 23h). Comportamento semelhante foi verificado no período úmido, em que a temperatura do ar interno no telhado verde com *Callisia repens* foi próxima aos valores encontrados no telhado verde com *Desmodium triflorum*, que não possuía o substrato completamente coberto, condição amplificada nesta etapa (período seco) no sistema sem vegetação (SV). Isso reforça a influência da inércia térmica no clima analisado e confirma que a espécie *Callisia repens* apresentou maiores valores de temperatura do ar interno que a espécie *Zoysia japonica* em ambos os dias monitorados, com uma elevação de temperatura do ar interno comparável a um telhado verde com substrato totalmente exposto.

É importante destacar que o sistema sem vegetação (SV) recebeu irrigação com a mesma frequência que os telhados verdes, o que pode ter evitado a alta elevação da temperatura nessa cobertura, pois parte da radiação solar absorvida foi utilizada para evaporação da água e não diretamente para a elevação da temperatura superficial. Outro aspecto que deve ser considerado é a variável analisada, temperatura do ar no ambiente interno. Silva (2020) encontrou uma diferença de, pelo menos,  $3,3^{\circ}\text{C}$  na temperatura superficial de um substrato exposto em comparação a telhados verdes com *Zoysia japonica* e *Callisia repens*. Savi (2015) e Liu *et al.* (2012) encontraram maiores valores de temperaturas superficiais em espécies suculentas e que apresentam cores mais escuras, características da espécie *Callisia repens*, corroborando com os resultados deste trabalho, pois a temperatura superficial externa da cobertura influencia na temperatura do ar interno.

Os parâmetros da Tabela 7 apresentam a *Zoysia japonica* (TV-zj) como única cobertura que apresentou pico de temperatura do ar interno ( $T_{a.in}$ ) abaixo ( $0,7^{\circ}\text{C}$ ) da temperatura do ar externo ( $T_{a.ex}$ ), considerando a faixa de  $\pm 0,21^{\circ}\text{C}$  de precisão do equipamento. Apesar disso, o atraso de 3h registrado por essa espécie também foi alcançado pelo sistema sem vegetação (SV).



A menor amplitude térmica (8,2°C) e a menor máxima (31,0°C) foram encontradas no telhado verde com *Zoysia japonica*, mas a cobertura sem vegetação apresentou amplitude próxima (8,3°C) e se destacou no amortecimento das mínimas. O telhado verde com *Callisia repens* apresentou a maior amplitude térmica (8,6°C) e temperatura do ar máxima igual ao sistema sem vegetação (31,5°C), confirmando os resultados de maiores temperaturas em espécies de metabolismo CAM (Metabolismo do Ácido das Crassuláceas) citado por Cao *et al.* (2019).

Tabela 7 - Ta.in máxima, Ta.in mínima, amplitude térmica, amortecimento térmico e atraso térmico no dia 14/11/2019 (período quente e seco).

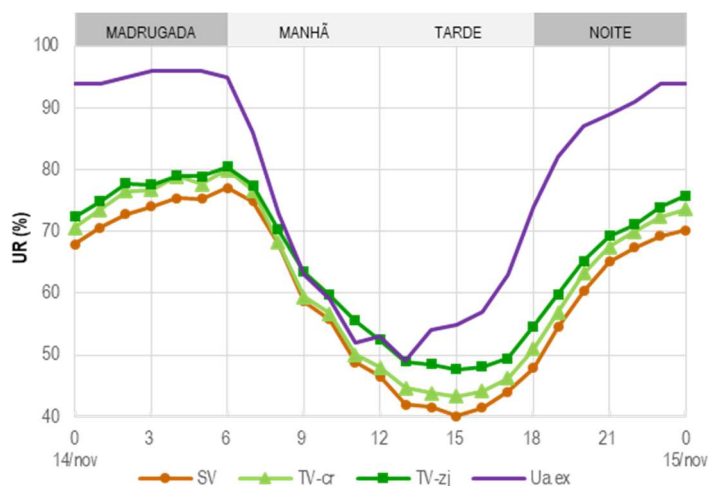
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Telhado verde	Ta.in (°C)		Amplitude Térmica (°C)	Amortecimento Térmico (°C)		Atraso Térmico (h)	
	Máx.	Mín.		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
SV	31,5	23,2	8,3	-0,2	2,8	3	0
TV-cr	31,5	22,9	8,6	-0,2	2,5	2	0
TV-zj	31,0	22,8	8,2	-0,7	2,4	3	0
Ta.ex	31,7	20,4	11,3	-	-	-	-

NOTA: SV: Sem vegetação; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ta.ex: Temperatura do ar externo; Ta.in: Temperatura do ar interno.

#### 4.2.2. Umidade relativa do ar - QS

Os valores da umidade relativa do ar interno (Ua.in) no sistema sem vegetação (SV) foram menores que nos telhados verdes durante todo o monitoramento (Figura 12). A espécie *Zoysia japonica* (TV-zj) apresentou os maiores valores, enquanto *Callisia repens* (TV-cr) se comportou próxima à *Zoysia japonica* (TV-zj) nos períodos madrugada e noite, e próxima ao sistema sem vegetação (SV) durante manhã e tarde. A maior diferença encontrada (7,6%) ocorreu às 15h, quando TV-zj apresentou 47,7% de Ua.in, SV 40,1% e TV-cr 43,7%. Os menores valores encontrados no sistema sem vegetação (SV) podem ser atribuídos à rápida evaporação da água devido ao substrato exposto. A menor variação de umidade foi encontrada no TV-zj (32,7%) e a maior no sistema SV (39,9%), como mostra a Tabela 8. Por fim, o comportamento da umidade relativa do ar interno (Ua.in) apresentou diferenças que chegaram a 7,6% (15h), nas quais a presença de vegetação aumentou o conteúdo de umidade no interior da célula-teste, sobretudo a espécie *Zoysia japonica*.



NOTA: SV: Sem vegetação; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ua.ex: Umidade relativa do ar externo.

Figura 12 – Gráfico do comportamento da umidade relativa do ar (Ua.in) nas células-teste no dia 14/11/2019 (período quente e úmido). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Tabela 8 - Ua.in máxima, Ua.in mínima e variação de umidade no dia 14/11/2019 (período quente e seco). Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Telhado verde	Ua.in (%)		Variação de umidade (%)
	Máx.	Mín.	
SV	77,0	40,1	36,9
TV-cr	80,0	43,3	36,7
TV-zj	80,4	47,7	32,7
Ua.ex	96,0	49,0	47,0

NOTA: SV: Sem vegetação; TV-cr: Telhado verde com *Callisia repens*; TV-zj: Telhado verde com *Zoysia japonica*; Ua.ex: Umidade relativa do ar externo; Ua.in: Umidade relativa do ar interno.

## 5. CONCLUSÕES

No período úmido, as máximas diferenças (0,3°C para temperatura do ar interno - Ta.in, e 2,24% para umidade relativa do ar interno - Ua.in) entre *Desmodium triflorum* e *Callisia repens* não foram significativas, ou seja, foram valores menores ou próximos à precisão do equipamento. Tal comportamento pode ser explicado pela predominância dos efeitos de inércia térmica do sistema sobre os efeitos de variação da espécie, aspecto que poderá ser verificado em trabalhos futuros. O recobrimento parcial do substrato pela *Desmodium triflorum* e as características da *Callisia repens* (metabolismo e coloração) permitiram maiores Ta.in e menores Ua.in que na célula-teste com *Zoysia japonica*, com diferenças máximas de 0,60°C e 7,8%. No período seco, o substrato exposto, devido à morte da espécie *Desmodium triflorum*, apresentou maiores valores de Ta.in e menores Ua.in, alcançando uma diferença de 0,81°C e 7,6% dos dados na célula-teste com *Zoysia japonica*. Esta última apresentou menores valores de Ta.in (diferença máxima de 0,56°C) que a *Callisia repens*, porém com Ua.in próximas, resultado atribuído à formação de uma massa densa e uniforme na cobertura (planta rizomatosa) que permite reduzir as trocas de calor com o ambiente externo. É importante destacar o comportamento próximo

entre *Callisia repens* e a cobertura sem vegetação na temperatura do ar, semelhante ao observado no período úmido, entre *Callisia repens* e *Desmodium triflorum*.

De maneira geral, nas células-teste com *Desmodium triflorum* e *Callisia repens*, a variação da vegetação não foi influente no comportamento das variáveis analisadas. A espécie *Zoysia japonica* apresentou o melhor desempenho (menores Ta.in e maiores Ua.in) em ambos os monitoramentos. Apesar da *Callisia repens* ser uma suculenta e recomendada para telhados verdes, suas características proporcionaram variáveis internas nas células-teste semelhantes à um telhado verde com substrato totalmente exposto. Não se recomenda a espécie *Desmodium triflorum* para telhados verdes no clima analisado devido à sua sazonalidade, principalmente. Entretanto, é importante que uma maior campanha de dados seja realizada, além de outras espécies locais devem ser testadas, como a *Portulaca grandiflora*, para conclusões mais precisas que permitam elaborar recomendações de espécies vegetais para telhados verdes no clima analisado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.
- BASTOS, Sueynne Marcella Santana Leite. **Seleção de plantas para uso em telhados verdes extensivos na zona da mata de Pernambuco**. 2017. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.
- CAO, Junjun *et al.* Green roof cooling contributed by plant species with different photosynthetic strategies. **Energy & Buildings**, v. 195, p. 45-50, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.04.046>.
- FARRELL, C. *et al.* Green roofs for hot and dry climates: interacting effects of plant water use, succulence, and substrate. **Ecological Engineering**, v. 49, p. 270-276, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.036>.
- FURTADO, Daniela Cavalcanti de Medeiros. **Traço para substrato em telhado verde** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <wellington-souza94@hotmail.com> em 28 de junho de 2019.
- GARTLAND, Lisa. **Ilhas de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina dos Textos, 2010.
- GETTER, Krintin L. *et al.* Seasonal heat flux properties of an extensive green roof in Midwestern U.S. climate. **Energy and Buildings**, v. 43, p. 3548-3557, 2011. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.018.
- LIU, T.-C. *et al.* Drought tolerance and thermal effect measurements for plants suitable for extensive green roof planting in humid subtropical climates. **Energy and Buildings**, v. 47, p. 180-188, 2012. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.043.
- LIZ, Débora Stiegemeier de; ORDENES, Martin; GUTHS, Saulo. Análise experimental do comportamento térmico do telhado verde extensivo para Florianópolis. 2018. **Oculum Ensaios**, v. 15(2), p. 315–333. DOI: <https://doi.org/10.24220/2318-0919v15n2a4053>.
- LOPES, Daniele Arantes Rodrigues. **Análise do comportamento térmico de uma cobertura verde leve (CVL) e diferentes sistemas de cobertura**. 2007. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.
- LORENZI, Harri; SOUZA, Hermes Moreira de. **Plantas ornamentais no Brasil**: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 4. ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2008.
- MECHELEN, Carmem Van; DUTOIT, Thierry; HERMY, Martin. Adapting green roof irrigation practices for a sustainable future: a review. **Sustainable Cities and Society**, v. 19, p. 74-90, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2015.07.007>.
- MINK, Gernot. **Techos verdes**: planificación, ejecución, consejos prácticos. Montevideo. Fin de Siglo, [2003?]. 86p.
- NOBRE, Antônia Vilaneida Moraes; SARTORI, Ângela Lúcia Bagnatori; RESENDE, Ubirazilda Maria. As espécies de *Desmodium Desv.* (*Leguminosae-Papilionoideae-Desmodieae*) ocorrentes no Mato Grosso do Sul. **IHERINGIA**, Sér. Bot., v. 63, n. 1, p. 37-67, 2008.
- ONSET. HOBO® Temp/RH 3.5% Data Logger (UX100-003) Manual. Disponível em: <<https://www.onsetcomp.com/support/manuals/16209-f-ux100-003-manual>>. Acesso em: 01 abr. 2023.
- OSUNA-MOTTA, Iván; HERRERA-CÁCERES, Carlos; LÓPEZ-BERNAL, Oswaldo. Techo plantado como dispositivo de climatización pasiva en el trópico. **Revista de Arquitectura**, Bogotá, v. 19(1), p. 42-55, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14718/RevArq.2017.19.1.1109>.
- REFLORA. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Website. 2023. Disponível em: <[reflora.jbrj.gov.br](http://reflora.jbrj.gov.br)>. Acesso em: 22 abr. 2023.
- SAILOR, D. J. A green roof model for building energy simulation programs. **Energy and Buildings**, v. 40, p.1466-1478, 2008. DOI: 10.1016/j.enbuild.2008.02.001.
- SAVI, Adriane Cordon. **Telhados verdes**: uma análise da influência das espécies vegetais no seu desempenho na cidade de Curitiba. 2015. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- SILVA, Mônica Ferreira da. **Estratégias bioclimáticas para seis cidades alagoanas**: contribuições para a adequação da arquitetura ao clima local. 185 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2019.
- SILVA, Wellington Souza. **Desempenho do sistema de telhado verde como estratégia de condicionamento térmico passivo no semiárido alagoano**. 204 f. 2020. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.
- TADEU, A. *et al.* Canopy contribution to the energy balance of a building's roof. **Energy & Buildings**, v. 244, 111000, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111000>.
- WONG, Nyuk Hien *et al.* Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. **Building and Environment**, v. 38, p. 261-270, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5).

## AGRADECIMENTOS

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