

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS LONDRINA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

RODRIGO OLIVEIRA SILVA

**DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES VERDES NA FACHADA
NORTE EM MODELO REDUZIDO: UM ESTUDO PARA A ZONA
BIOCLIMÁTICA DE LONDRINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA
2019**

RODRIGO OLIVEIRA SILVA

**DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES VERDES NA FACHADA
NORTE EM MODELO REDUZIDO: UM ESTUDO PARA A ZONA
BIOCLIMÁTICA DE LONDRINA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria

LONDRINA

2019



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Londrina
Coordenação de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES VERDES NA FACHADA NORTE EM MODELO REDUZIDO: UM ESTUDO PARA A ZONA BIOCLIMÁTICA DE LONDRINA

RODRIGO OLIVEIRA SILVA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 11 de dezembro de 2019 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Aulus Roberto Romão Bineli
(UTFPR)

Prof. Dra. Miriam Jerônimo Barbosa
(UEL)

Profa. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria
(UTFPR)
Orientadora

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

AGRADECIMENTOS

É, foi difícil. Não que eu não soubesse que seria, mas superou as expectativas. Aliás, superação é a palavra. Superação. Todos os dias desde que o Rodrigo de ontem acordava, ele só pensava em uma coisa: Superação. Superação de expectativas postas (ou não) sobre ele, do nível de escolaridade da família, superação em cada dia que acordava e se via sozinho aqui. Pouco a pouco, mesmo que com saudade de casa, foi ganhando amigos e irmãos durante a jornada. Perdi meu pai, Rildo, dois avôs, Vô Flori e Vô Luiz; perdi parte de mim em cada episódio. Mas sigo a vida superando sempre. E para eles que eu dedico esse trabalho.

Quero agradecer primeiramente à minha mãe, Gisele, e à minha avó, Dulce; só estou onde estou hoje por causa delas. Aos meus irmãos, Guilherme e Pedro; meus espelhos para a infância. À minha namorada, Bruna, que compartilhou comigo todos os momentos do planejamento e execução desse trabalho, sempre me dando apoio no que eu precisar; você sempre poderá contar comigo.

Às minhas orientadoras, professoras Patrícia Carneiro Lobo Faria e Sueli Tavares de Melo Souza pela paciência, pelo comprometimento, dedicação e paciência na orientação. É impossível pôr em palavras o quanto sou grato a vocês. Aos professores Edson Valmorbidia e Ismael, pelas “consultorias” a toda hora. À banca examinadora, constituída pelos professores Miriam Barbosa e Aulus Bineli, que desde o começo do projeto já fizeram grandes contribuições.

Aos servidores Ademar e Aristídes, pela prestatividade e gentileza nos serviços prestados. Aos meus amigos de São Paulo, que sempre me ajudaram ao longo desses anos, e colaboraram para a base dos meus conhecimentos de Arduino. Aos meus amigos de Londrina, Pedro, Romulo, Taynara, Naldysia (que ia surtar se eu não agradecesse aqui), Karine, Maria, Johicy, em especial à Carolina Dinali, pela excelente parceria no projeto.

Quero agradecer à Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Londrina, universidade que me deu a oportunidade de crescer pessoalmente, e a todos os professores com quem de alguma forma eu interagi; seja em aula, projetos, ou apenas pequenas conversas. Vocês têm uma profissão maravilhosa, são exemplos.

Por último, mas não menos importante, quero agradecer ao meu pai Rildo Oliveira Silva, exemplo de vida pra mim. Espero ser metade do que ele foi.

RESUMO

O uso de jardins verticais (paredes verdes) é uma tecnologia em expansão no Brasil, que proporciona melhorias na qualidade de vida sob diversos aspectos: qualidade do ar, paisagismo e conforto. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o efeito de uma parede verde sobre o comportamento térmico do interior de construções, a partir da reprodução em escala reduzida de um prédio localizado no Câmpus da UTFPR Londrina, o Bloco S. Foram utilizados 2 modelos, em escala 1:12 com sua maior fachada voltada para o Norte, com os revestimentos de acordo com a NBR 15220 (2005), para a zona bioclimática de Londrina, sendo 1 deles com implantação de um jardim vertical adquirido no mercado. Com o uso de 15 sensores associados a 2 placas Arduino foram coletados dados de temperatura do ar em ambiente externo e interno, assim como das superfícies externa e interna da parede na fachada Norte. O modelo de parede verde utilizado é de material plástico, com 27 nichos que abrigam o substrato como suporte para as plantas. O sistema de irrigação foi por gotejamento e controle automatizado para fornecer rega de 30 minutos de 12 em 12 horas com uma vazão de 37ml/min. Foram utilizadas 9 mudas de cada uma das seguintes espécies: Aspargos (*Asparagus densiflorus*), Clorofito (*Chlorophytum comosum*) e Singônio (*Syngonium angustatum*). Foi possível verificar que o uso da parede verde promoveu uma redução na temperatura interna do modelo com parede verde (CPV) entre 8 e 10°C em relação ao modelo sem parede verde (SPV) e de 11°C em relação à temperatura externa (EXT), para os horários de maior temperatura que ocorreram no início da tarde. Verificou-se também um atraso térmico entre o modelo CPV e EXT de no máximo 6h. A menor amplitude térmica no interior do ambiente com parede verde foi evidente, assim como a manutenção de temperaturas mais confortáveis no período noturno (menor redução nos dias frios). Dentre as espécies utilizadas na parede verde, o Singônio se mostrou mais efetivo na redução da taxa de transferência de calor, já que no experimento obteve-se uma diferença da taxa térmica de 12 watts em relação ao revestimento convencional. As plantas de Aspargos utilizadas no sistema de parede verde mostraram um amortecimento de 42,1% do fluxo térmico, enquanto as de Singônio proporcionaram 80,3%. Assim, o modelo de parede verde modular pode ser considerado como uma alternativa eficaz para regularizar a temperatura interna de ambientes construídos, e gerar economia de energia.

Palavras-chave: Tecnologia verde. Construções sustentáveis. Atenuação térmica. Jardim vertical. Arduino.

ABSTRACT

The use of vertical gardens (living wall) is an expanding technology in Brazil, which provides improvements in quality of life in several aspects: air quality, landscaping and comfort. The aim of this study was to evaluate the effect of a living wall on the thermal behavior of the surroundings and the interior of buildings, from the small scale reproduction of a building located at UTFPR Londrina Campus, Block S. two reduced 1:12 scale models were used, with their largest north facing façade and coverings according to NBR 15220 (2005) for the bioclimatic zone of Londrina. Using 15 sensors associated with 2 Arduino plates, data were collected on the external and internal surface temperatures of the façade North, the external and internal air temperature of the two blocks built, one with a vertical garden purchased on the market. The model used is the plastic material, with 27 housing niches or substrate as support for plants. The drip irrigation system and automated control provide 30-minute watering every 12 hours with a flow of 37ml/min. Nine seedlings of one of the following species were used: Asparagus (*Asparagus densiflorus*), Chlorophyte (*Chlorophytum comosum*) and Singonium (*Syngonium angustatum*). It was possible to verify that the use of the living wall promotes a reduction in the internal temperature of up to 8°C (up to 10.4°C) in relation to the internal temperature of the model without living wall (SPV) and 11°C in relation to the external temperature (EXT), for the peak hours that occurred in the early afternoon. An average thermal delay of the 2 hours (up to 4,1 hours) CPV model was also observed. A lower thermal amplitude inside the living-walled environment was evident, as well as the maintenance of more comfortable temperatures at night (less reduction on cold days). Among the species used, the Singonium was more effective in reducing heat transfer rate, since in the experiment a difference of this thermal rate of 12 watts compared to the conventional coating was obtained. The system of green wall showed up a thermal damping of 42.1% of thermal flux in Asparagus and 80,3% in Singonium. Thus, the studied living wall model can be considered as an effective alternative to decrease the internal temperature of built environments, and generate energy savings.

Keywords: Green Technology. Sustainable constructions. Thermal attenuation. Vertical garden. Arduino.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Zoneamento bioclimático brasileiro.	20
Figura 2 – Tipos e características de paredes verdes.	22
Figura 3 – Sistema de parede verde implantado em Paris na França.	24
Figura 4 – Sistema de parede verde na Avenida 23 de maio em São Paulo.	24
Figura 5 – Modelos reduzidos (escala 1:12) com e sem parede verde na fachada norte, antes de receberem o novo revestimento.	25
Figura 6 – Implantação da ventilação cruzada nos modelos reduzidos.	26
Figura 7 – Adequação dos módulos à zona bioclimática de Londrina.	27
Figura 8 – Módulos finalizados.	28
Figura 9 – Espécies analisadas.	28
Figura 10 – Suporte pré-moldado da WallGreen modelo Eco 27.	29
Figura 11 – Disposição dos sensores de temperatura dentro do módulo.	29
Figura 12 – Desenho esquemático da localização dos sensores nos modelos.	30
Figura 13 – Foto do equipamento de prototipagem Arduino UNO.	30
Figura 14 – Sensor de temperatura DS18B20 <i>One Wire</i>	30
Figura 15 – Abrigo do sensor de temperatura DS18B20.	31
Figura 16 – <i>Shield Data Logger SD</i> ; (a) Vista oblíqua e (b) vista lateral do shield.	31
Figura 17 – Circuito elétrico de prototipagem Arduino® do projeto.	32
Figura 18 – Instalação da central do Arduino® do lado de fora do modelo.	32
Figura 19 – Esquema de balanço energético da face norte do módulo CPV.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de transmitância, capacidade e atraso térmicos para diferentes composições de paredes (Parte 1).....	17
Tabela 2 – Valores máximos e mínimos das temperaturas do ar do ambiente externo e das temperaturas internas dos blocos SPV e CPV ao longo das semanas de monitoramento.	36
Tabela 3 – Valores máximos e mínimos das temperaturas das superfícies externas e internas dos modelos SPV e CPV nos horários de pico e de mínimo na Semana 1.	48
Tabela 4 – Valores máximos e mínimos das temperaturas das superfícies externas e internas dos modelos SPV e CPV nos horários de pico e de mínimo na Semana 2.	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperaturas do ar do ambiente externo e precipitação diárias ao longo das duas semanas de monitoramento.	36
Gráfico 2 – Variação diária da temperatura externa e das temperaturas internas nos modelos SPV e CPV ao longo da Semana 1.	38
Gráfico 3 – Variação diária da temperatura externa e das temperaturas internas nos modelos SPV e CPV ao longo da Semana 2.	39
Gráfico 4 – Médias horárias das temperaturas do ambiente externo e dos ambientes internos SPV e CPV ao longo da Semana 1.	40
Gráfico 5 – Médias horárias das temperaturas do ambiente externo e das temperaturas dos ambientes internos SPV e CPV ao longo da Semana 2.	41
Gráfico 6 – Variação diária das diferenças entre a temperatura do ambiente externo e as temperaturas internas SPV e CPV ao longo da Semana 1.	43
Gráfico 7 – Variação diária das diferenças entre a temperatura do ambiente externo e as temperaturas internas SPV e CPV ao longo da Semana 2.	44
Gráfico 8 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo SPV, durante a Semana 1.	46
Gráfico 9 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo SPV, durante a Semana 2.	47
Gráfico 10 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo CPV, durante a Semana 1.	49
Gráfico 11 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo CPV, durante a Semana 2.	50
Gráfico 12 – Valores das taxas de condução de calor no modelo SPV durante a Semana 1.	53
Gráfico 13 – Valores das taxas de condução de calor no modelo CPV durante a Semana 1.	54
Gráfico 14 – Diferença entre as taxas de condução de calor dos pontos “a” e “c” dos modelos SPV e CPV.	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Geral	12
2.2	Específicos	12
3	REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1	Calor e seus métodos de transferência	13
3.2	Desempenho Térmico em Edificações – NBR 15220, (ABNT, 2005)	16
3.3	Sistemas de paredes verdes	21
4	MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1	Adequação dos modelos à zona bioclimática de Londrina - NBR 15220	25
4.2	Escolha e manutenção das plantas para implantação da parede verde	26
4.3	Coleta de dados e instrumentação – Arduino®	29
4.4	Inferência para estimativa de consumo energético com o sistema CPV implantado	33
4.4.1	Cálculo da taxa de transferência de calor.....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1	Caracterização da temperatura interna dos blocos SPV e CPV	36
5.2	Caracterização da temperatura das superfícies de parede – SPV e CPV	45
5.3	Contribuição do sistema de parede verde para a economia de energia	52
6	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

O homem, desde a antiguidade, em busca de segurança e conforto, construiu as edificações, assim se abrigando do perigo de animais, bem como das intempéries do ambiente. Frio e calor extremo, chuva, ventos, tudo isso é minimizado com o abrigo das edificações e, mesmo as rudimentares, cumpriram esse objetivo com excelência (SORTE, 2016). Com o passar do tempo, os materiais das paredes, pisos, forros, telhados, fundações, e tantas outras estruturas foram sofrendo alterações para melhorar o desempenho e o conforto térmico, a segurança e o bem-estar de quem mora, trabalha, estuda, ou de modo geral, frequenta o local.

Na busca da maximização do desempenho térmico de uma edificação deve-se levar em consideração os seguintes fatores: velocidade do vento, insolação, materiais das próprias edificações, presença e materiais de edificações ou estruturas geológicas (exemplo cadeias montanhosas) no entorno da edificação em questão (ABNT, 2005). Dentre esses fatores, o vento e a radiação solar são os mais relevantes. Desse modo, com o avanço da tecnologia e a busca de melhorias na qualidade de vida, o homem estudou outras formas de minimização e maximização da perda de calor em locais frios e quentes, respectivamente (ZHANG, 2019).

A atenuação da temperatura geralmente se dá pela recirculação do ar e sombreamento de fachadas (MONTENEGRO, 2019). Porém, os sistemas construtivos sustentáveis, ou verdes, buscam a maior eficiência energética, prevenindo o gasto excessivo de energia. E, dentre os diversos modelos de construções sustentáveis, destaca-se o sistema de jardim vertical, o qual foi estudado por Morelli (2016). Avaliando o comportamento térmico da fachada norte de três células na cidade de Campinas-SP, uma sem trepadeiras, uma com a trepadeira diretamente na parede e uma com a trepadeira apoiada sobre um sistema de treliça.

Nesse sentido, o presente trabalho pretende instalar um sistema de jardim vertical por meio de um modelo reduzido que irá simular o Bloco S da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Londrina-PR, de modo a propiciar a continuidade dos estudos realizados por Seixas (2019).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o desempenho térmico da parede verde implantada na fachada Norte do modelo reduzido do Bloco S da UTFPR Câmpus Londrina

2.2 Específicos

- Descrever a variação de temperatura interna do modelo reduzido com e sem a inserção da parede verde na fachada Norte;
- Caracterizar a transferência de calor na fachada Norte com e sem parede verde após as adaptações feitas nos modelos construído;

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Calor e seus métodos de transferência

Para entender a energia na forma de calor, bem como seus modos de transferência, primeiramente deve-se definir o que é calor. Segundo Incropera (2011), calor é exatamente a transferência de energia térmica devido a uma diferença entre temperaturas num espaço, sendo que o sentido da troca térmica se dá a partir da temperatura mais quente para a mais fria. A transferência pode ocorrer por meio da condução, convecção e radiação.

A transferência de calor por condução pode ser definida como a troca térmica pelo contato entre dois corpos sólidos ou fluídos, e é descrita pela Lei de Fourier (Equação 1) (INCROPERA, 2011).

$$\mathbf{q}(\mathbf{x}, t)_{\text{cond}} = -\lambda * \mathbf{A} * \nabla \mathbf{T}(\mathbf{x}, t), \quad (1)$$

Sendo:

λ : constante de condutividade térmica [W/m*K];

A: área de contato [m²];

∇T = gradiente de temperatura [K];

x : posição [m];

t : tempo [s];

q_{cond} : taxa de condução térmica [W/t].

Já a respeito da convecção, pode-se dizer que essa transferência de calor se dá pelo movimento interno de um fluído, isto é, movimento em relação a ele mesmo e movimento externo a ele, ou ainda, com o referencial no observador (uma movimentação entre dois fluídos); essa forma de calor é caracterizada pela Lei de Resfriamento de Newton (Equação 2) (INCROPERA, 2011).

$$q(\mathbf{x}, t)_{\text{conv}} = h * \mathbf{A} * \nabla \mathbf{T}(\mathbf{x}, t), \quad (2)$$

Sendo:

h : coeficiente de convecção térmica [W/m²*K];

∇T = gradiente de temperatura [K];

A : área de transferência de calor [m²];

x : posição [m];

t : tempo [s];

q_{conv} : taxa de convecção térmica [W/t].

E em relação à radiação, pode-se dizer que a radiação é a forma de transferência de energia devido à movimentação das ondas eletromagnéticas; caracterizada pela Equação 3, a Lei de Stefan-Boltzman (INCROPERA, 2011).

$$q(x, t)_{rad} = \varepsilon * A * \sigma * (T_S^4 - T_{viz}^4)(x, t), \quad (3)$$

Sendo:

ε : emissividade do material;

A : área de transferência de calor [m²];

σ : constante de Stefan-Boltzman ($5,67 * 10^{-8}$ W/(m²K⁴));

T_S : temperatura da superfície [K];

T_{viz} : temperatura da vizinhança [K];

x : posição [m];

t : tempo [s];

$q(x, t)_{rad}$: taxa de convecção térmica [W/t].

Quanto ao balanço de energia, Moran et al. (2009) definiram esse conceito como o método de cálculo de entrada e saída da energia do sistema analisado, pautado na primeira lei da termodinâmica. Em linhas gerais, a primeira lei da termodinâmica se baseia na conservação da energia, ou em outras palavras, a energia total transferida ao sistema é igual à variação da sua energia interna, mantendo o processo de conservação de energia, como demonstrado na Equação 4 (INCROPERA, 2011).

$$\Delta E_{acu}^{tot} = Q - W, \quad (4)$$

Sendo:

ΔE_{acu}^{tot} : energia total acumulada no sistema;

Q : quantidade de calor líquido transferido para o sistema;

W : trabalho líquido efetuado pelo sistema.

Assim, isolando a quantidade de calor (Equação 5), temos:

$$Q = \Delta E_{acu}^{tot} + W, \quad (5)$$

Na imensa maioria dos casos reais, os sistemas térmicos seguem o balanço energético com alguma variação temporal (INCROPERA, 2011), o que ocorre também com os sistemas de parede verde. Desse modo, tem-se a Equação 6.

$$\Delta \dot{E}_{acu} \equiv \frac{dE_{acu}}{dt} = \dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sai} + \dot{E}_{ger}, \quad (6)$$

Sendo:

$\frac{dE_{acu}}{dt}$: variação da energia acumulada em função do tempo;

\dot{E}_{entra} : variação da energia que entra no sistema em função do tempo;

\dot{E}_{sai} : variação da energia que sai no sistema em função do tempo;

\dot{E}_{ger} : variação da energia que é gerada no sistema em função do tempo.

As edificações, promotoras do conforto e segurança, recebem a radiação advinda do sol, e essa energia aquece o ar do ambiente externo e a superfície da parede receptora (SORTE, 2016). Desse modo, essa energia é transferida para o interior da edificação por condução ao longo da espessura da parede, aquecendo o ambiente interno. Para essa condução, um fator determinante nesse processo de transferência energética é a composição do material receptor da energia representado

pelo símbolo “ λ ”. Com a associação de vários materiais, a transferência de calor por condução tende a ser comprometida (INCROPERA, 2011).

3.2 Desempenho Térmico em Edificações – NBR 15220, (ABNT, 2005)

A norma brasileira que estabelece as diretrizes de avaliação de desempenho térmico em edificações é a ABNT NBR 15220 de 2005. Essa norma é dividida em cinco partes: 1) Definições, símbolos e unidades, 2) Métodos de cálculo de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico, fator de calor solar, 3) Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas, 4) Medição da resistência térmica pelo princípio da placa quente protegida e 5) Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico.

A respeito da parte 2, ela apresenta detalhadamente os cálculos de resistência, capacidade e atraso térmicos e fator de calor solar. Primeiramente, a norma traz o conceito de resistência térmica, análogo ao da elétrica, partindo de camadas homogêneas, conforme a Equação 7 (ABNT, 2005).

$$R = e/\lambda, \tag{7}$$

Sendo:

e: espessura de uma camada [m];

λ : condutividade térmica do material [W/m * K];

R: resistência térmica [m² * K/W].

Para camadas heterogêneas, utiliza-se a transmitância térmica ao invés da condutividade térmica (Equação 8). Além de se poder calcular a transmitância térmica do material de acordo com o método de cálculo apresentado na NBR 15220 (2005), a norma também disponibiliza alguns valores de materiais comumente utilizados (Tabela 1).

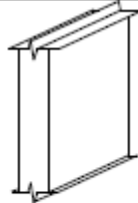
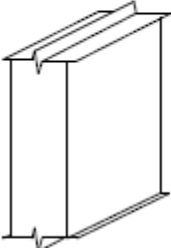
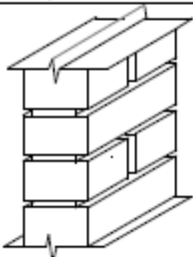
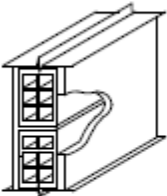
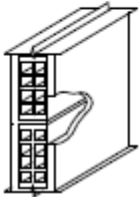
$$U = 1/R, \tag{8}$$

Sendo:

R: resistência térmica [$m^2 \cdot K/W$].

U: transmitância térmica [$W/m^2 \cdot K$].

Tabela 1 – Valores de transmitância, capacidade e atraso térmicos para diferentes composições de paredes (Parte 1).

Parede	Descrição	U [$W/(m^2 \cdot K)$]	C_T [$kJ/(m^2 \cdot K)$]	ϕ [horas]
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 5,0 cm	5,04	120	1,3
	Parede de concreto maciço Espessura total da parede: 10,0 cm	4,40	240	2,7
	Parede de tijolos maciços aparentes Dimensões do tijolo: 10,0x6,0x22,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura total da parede: 10,0 cm	3,70	149	2,4
	Parede de tijolos 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x14,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,48	159	3,3
	Parede de tijolos 8 furos quadrados, assentados na menor dimensão Dimensões do tijolo: 9,0x19,0x19,0 cm Espessura da argamassa de assentamento: 1,0 cm Espessura da argamassa de emboço: 2,5 cm Espessura total da parede: 14,0 cm	2,49	158	3,3

Fonte: ABNT (2005).

Após caracterização das camadas, é apresentado o sistema de camadas de ar, que é uma composição de tijolos ou outros elementos com câmaras de ar. Na

sequência, são apresentados os conceitos de transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator de ganho solar.

Após a definição de condução, convecção, radiação e da resistência térmica outros conceitos importantes devem ser definidos. A transmitância térmica é o inverso da resistência térmica total do sistema, enquanto a capacidade térmica de camadas homogêneas pode ser definida a partir das Equações 9 e 10 (ABNT, 2005).

$$C_T = \sum_{i=1}^n \lambda_i * R_i * c_i * \rho_i, \quad (9)$$

Como,

$e_i = \lambda_i * R_i$, temos que

$$C_T = \sum_{i=1}^n e_i * \rho_i * c_i, \quad (10)$$

Sendo:

λ_i : condutividade térmica do material da camada i;

R_i : resistência térmica da camada i;

c_i : calor específico da camada i;

ρ_i : densidade da massa aparente do material da camada i;

e_i : espessura da camada i;

C_T : capacidade térmica.

A capacidade térmica, segundo a NBR 15220 (2005), varia com a composição das camadas da parede; nesse sentido, caso a composição não seja homogênea, utiliza-se a Equação 11.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}}, \quad (11)$$

Sendo:

A_x : área da seção de análise;

C_T : capacidade térmica da seção de análise.

Quando existem camadas de ar, a capacidade térmica pode ser desprezada.

Quanto ao atraso térmico, a norma define como o “tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor” (ABNT, 2005), e no caso de elemento homogêneo, o mesmo pode ser estimado pela Equação 12 e no caso heterogêneo pela Equação 13.

$$\varphi = 0,7284 * \sqrt[2]{R_T * C_T}, \quad (12)$$

$$\varphi = 1,382 * R_T * \sqrt[2]{B_1 * B_2}, \quad (13)$$

Sendo:

R_T : resistência térmica da superfície;

$$B_0 = C_T * C_{Text};$$

$$B_1 = 0,266 * \frac{B_0}{R_T};$$

$$B_2 = 0,205 * \left(\frac{(\lambda * \rho * C)_{Text}}{R_T} \right) * \left(R_{ext} - \frac{R_T - R_{ext}}{10} \right);$$

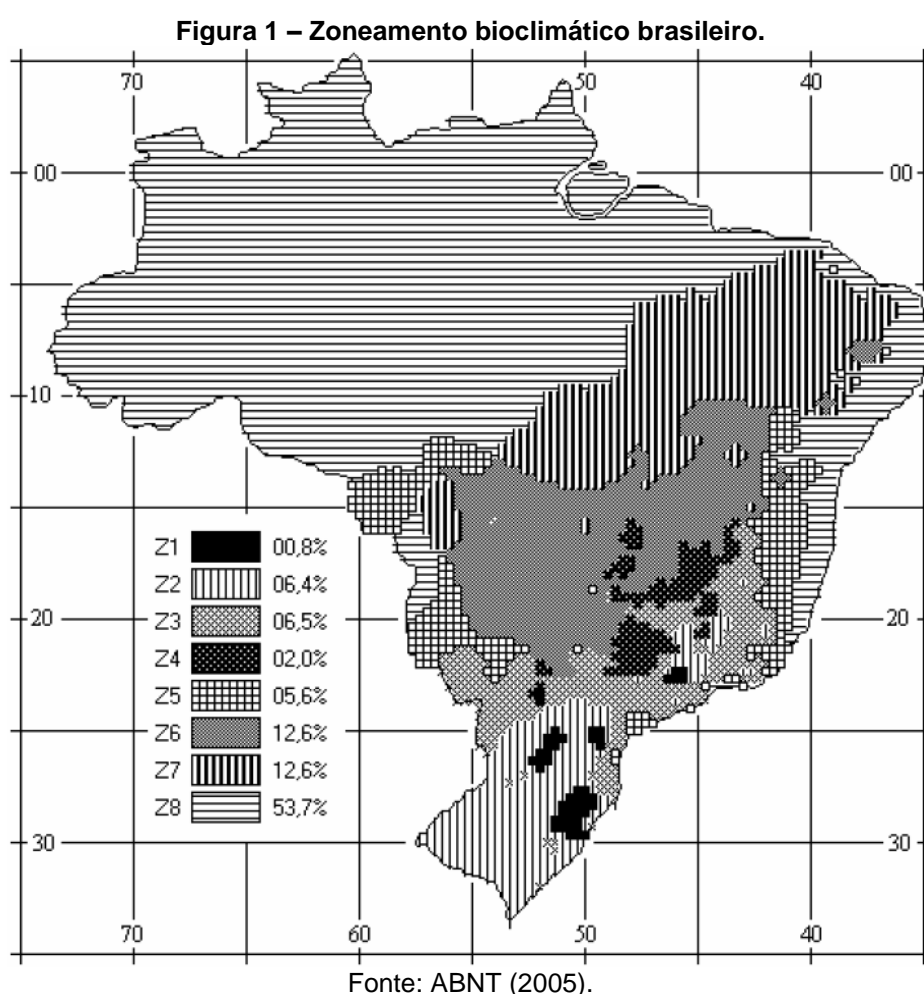
C_T : capacidade térmica da camada externa do componente;

φ : atraso térmico.

A parte 3 da NBR 15220 (2005) especifica as recomendações quanto ao desempenho térmico de habitações unifamiliares de até três pavimentos, a partir da fase de projeto, que devem ser consideradas de acordo com o zoneamento bioclimático do empreendimento (ABNT, 2005). O zoneamento bioclimático brasileiro está ilustrado na Figura 1.

As diretrizes construtivas da parte três da NBR 15220 (2005), fazem referências que variam de acordo com a zona bioclimática (Figura 1), para os seguintes parâmetros:

- Tamanho das aberturas para ventilação;
- Proteção de aberturas;
- Vedações externas (tipo de parede externa e tipo de cobertura); e
- Estratégias de condicionamento térmico passivo.



Ao final, a NBR descreve as quatorze estratégias de condicionamento térmico, de acordo com o zoneamento bioclimático, parâmetros e condições de controle (Quadro 1).

A partir das estratégias expostas no Quadro 1, o projetista deve estabelecer condições, tais como a retirada da umidade em ambientes, ou a promoção de uma

ventilação cruzada, visando à atenuação de altas temperaturas no interior das edificações.

Quadro 1 - Detalhamento das estratégias de condicionamento térmico.

Estratégia	Detalhamento
A	O uso de aquecimento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por frio.
B	A forma, a orientação e a implantação da edificação, além da correta orientação de superfícies envidraçadas, podem contribuir para otimizar o seu aquecimento no período frio, através da incidência de radiação solar. A cor externa dos componentes também desempenha papel importante no aquecimento dos ambientes através do aproveitamento da radiação solar.
C	A adoção de paredes internas pesadas pode contribuir para manter o interior da edificação aquecido.
D	Caracteriza a zona de conforto térmico (a baixas umidades).
E	Caracteriza a zona de conforto térmico.
F	As sensações térmicas são melhoradas através da desumidificação dos ambientes. Esta estratégia pode ser obtida através da renovação do ar interno por ar externo através da ventilação dos ambientes.
G e H	Em regiões quentes e secas, a sensação térmica no período de verão pode ser amenizada através da evaporação da água. O resfriamento evaporativo pode ser obtido através do uso de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar.
H e I	Temperaturas internas mais agradáveis também podem ser obtidas através do uso de paredes (externas e internas) e coberturas com maior massa térmica, de forma que o calor armazenado em seu interior durante o dia seja devolvido ao exterior durante a noite, quando as temperaturas externas diminuem.
I e J	A ventilação cruzada é obtida através da circulação de ar pelos ambientes da edificação. Isto significa que se o ambiente tem janelas em apenas uma fachada, a porta deve ser mantida aberta para permitir a ventilação cruzada. Também deve-se atentar para os ventos predominantes da região e para o entorno, pois o entorno pode alterar significativamente a direção dos ventos.
K	O uso de resfriamento artificial será necessário para amenizar a eventual sensação de desconforto térmico por calor.
L	Nas situações em que a umidade relativa do ar for muito baixa e a temperatura do ar estiver entre 21°C e 30°C, a umidificação do ar proporcionará sensações térmicas mais agradáveis. Essa estratégia pode ser obtida através da utilização de recipientes com água e do controle da ventilação, pois esta é indesejável por eliminar o vapor proveniente de plantas e atividades domésticas.

Fonte: ABNT (2005).

3.3 Sistemas de paredes verdes

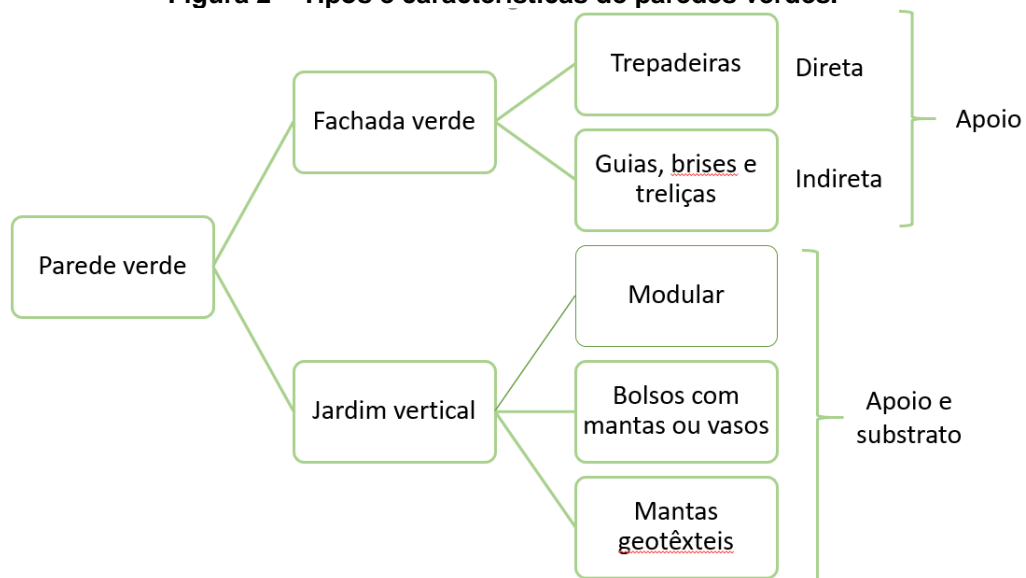
Define-se sistema de parede verde (ou jardim vertical) como sendo um sistema de plantas alocadas verticalmente em superfícies (BARBOSA; FONTES, 2016). Esses sistemas podem ter a função paisagística ou de eficiência térmica de edificações, devido à barreira que a vegetação fornece.

“O termo Paredes Verdes (green walls) engloba todas as formas de superfícies de parede com vegetação. No entanto, existem duas categorias de sistemas principais que se enquadram neste termo: as Fachadas Verdes

(green facades) e ou Jardins Verticais ou Paredes Vivas (living walls) (GREEN ROOFS, 2018 apud MANSANI; SANTOS; BERTEQUINI, 2018).”

Os dois grupos paredes verdes diferenciam-se quanto ao uso de plantas trepadeiras (fachadas verdes) ou não (paredes vivas) (Figura 2).

Figura 2 – Tipos e características de paredes verdes.



Fonte: Adaptado de MANSANI, SANTOS e BERTEQUINI (2018).

Muitas vezes tais sistemas de construções verdes são baseados na alocação de vasos de plantas ao longo dos parapeitos dos andares de prédios, voltados mais para o aspecto paisagístico do que para o desempenho térmico, mesmo fornecendo uma certa retenção de calor aos empreendimentos (MORELLI, 2016).

Atualmente, encontram-se no mercado diversos modelos de módulos de parede verde, com nichos para fixação das plantas e sistemas de irrigação. Com a implantação desse sistema consegue-se focar o lado paisagístico não deixando de lado o controle térmico no que diz respeito à resistência térmica e outros parâmetros. A implantação desse sistema proporciona redução de cerca de 25% na diferença entre a temperatura interna e externa na fachada Norte (LIMA, 2017).

Em relação à instalação, os sistemas podem ser implantados diretamente na parede ou em estruturas sobre a parede (BARBOSA; FONTES, 2016). As estruturas de fixação e apoio das plantas, bem como a irrigação desempenham papéis essenciais nos sistemas. Além das estruturas de fixação, deve-se verificar o regime de chuvas, já que as chuvas muitas vezes não suprem as necessidades fisiológicas

das plantas; por isso, um sistema de irrigação pode maximizar a eficiência da parede verde, bem como a durabilidade e saúde das plantas (OLIVEIRA et al., 2016).

Em projetos nos quais a vegetação é fixada diretamente na parede, segundo Morelli (2016), o regime de chuvas, na maioria dos dias, é o que promove a irrigação do sistema. A peculiaridade de cada espécie, isto é, textura, cor, forma, largura, espessura dentre outras características, interfere na evapotranspiração e na transferência de calor (o que traz umidade ao microambiente local) e corrobora para o aumento do atraso térmico (MORELLI, 2016). O atraso térmico aumenta o tempo de transferência de calor entre o meio externo e interno (INCROPERA, 2011).

De acordo com Oliveira et al. (2016), sistemas com conjuntos de módulos ligados à parede, servindo de apoio para as plantas, têm se mostrado mais eficientes do que os revestimentos de alvenaria comuns, devido à melhor retirada de calor, operação e manutenção.

Seixas (2019) elaborou um estudo de parede verde analisando a diferença de temperatura e umidade do ambiente interno e externo dos modelos reduzidos de bloco da Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Londrina – PR. Os modelos reduzidos foram construídos em escala de 1:12 em relação ao edifício real, e constituídos apenas por uma base de concreto, paredes de tijolos cerâmicos, uma espuma de poliuretano por baixo das telhas de fibrocimento e o telhado de fibrocimento formando uma água só cada um dos dois modelos. Apenas um dos modelos recebeu o sistema de parede verde utilizando quatro espécies de plantas: *Asparagus densiflorus*, *Chlorophytum comosum*, *Nephrolepis pectinata* e *Syngonium angustatum*.

Ao final do estudo Seixas (2019) concluiu que o sistema de parede verde foi capaz de reduzir a temperatura interna em aproximadamente 7°C, comparado ao bloco sem parede verde e a redução ultrapassou os 13°C, em relação ao ambiente externo.

Outro ponto importante mencionado por De Paula (2004) refere-se à economia energética promovida pela utilização de sistemas de jardins verticais e paredes verdes, seja por minimização ou ausência do uso de ar condicionado no verão, ou ainda pelo isolamento térmico no inverno.

Nas tecnologias de sistemas vegetais em edifícios de alvenaria, a aplicabilidade maior é o controle do conforto térmico, em sua maioria apoiados sobre as paredes ou em recipientes fixados nas paredes (LOH, 2008 apud BARBOSA;

FONTES, 2016). Ocorre também a perda de energia térmica em paredes verdes, que pode chegar a 20% em relação a paredes convencionais (MORELLI, 2016).

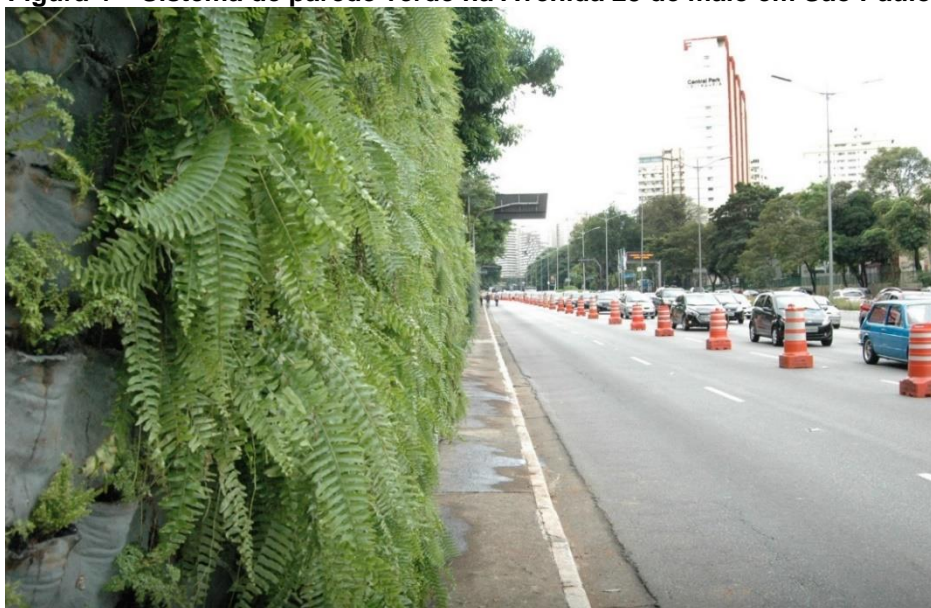
As Figuras 3 e 4 apresentam sistemas de parede verde instalados por Patrick Blanc - pioneiro na tecnologia, em Paris, França, e pela prefeitura da cidade de São Paulo na Avenida 23 de maio, respectivamente.

Figura 3 – Sistema de parede verde implantado em Paris na França.



Fonte: BLANC (2018).

Figura 4 – Sistema de parede verde na Avenida 23 de maio em São Paulo.



Fonte: S (2017).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 2 modelos em escala reduzida que fizeram parte dos estudos de Seixas (2019), os quais têm a finalidade de reproduzir as dimensões do Bloco S da UTFPR Câmpus Londrina (Figura 5). Um deles recebeu a parede verde (CPV) e o outro identificou o sistema convencional (SPV).

Figura 5 – Modelos reduzidos (escala 1:12) com e sem parede verde na fachada norte, antes de receberem o novo revestimento.



Fonte: SEIXAS (2019).

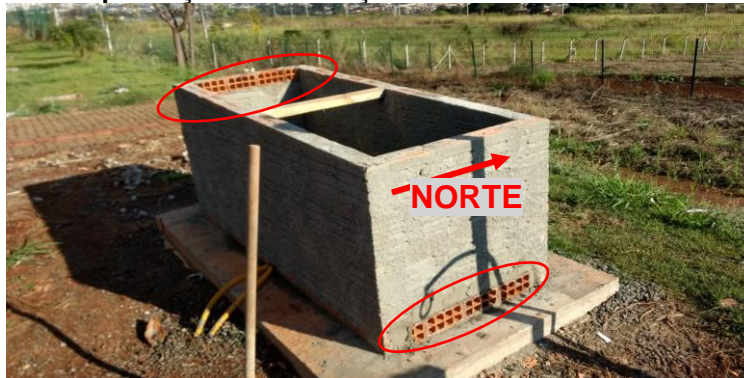
4.1 Adequação dos modelos à zona bioclimática de Londrina - NBR 15220

Segundo Giglio e Barbosa (2006), a cidade de Londrina é caracterizada como clima subtropical úmido e pertencente à zona bioclimática 3. De acordo com a NBR 15220 (2005) as edificações nesta zona devem receber aquecimento solar e possuir vedações internas pesadas no inverno e no verão possuir ventilação cruzada. Em relação às vedações externas sugere-se parede leve refletora e cobertura leve isolada. Assim, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Ventilação cruzada: tijolos virados com a face vazada no sentido Leste-Oeste; face oeste no topo do módulo e na altura do piso na face leste;
- Revestimento interno e externo dos blocos: chapisco, reboco e emboço;
- Pintura reflexiva nas paredes e tetos: cor branca;
- Isolamento da cobertura: forro de madeira, manta térmica, colchão de ar de 5 cm e placa de espuma de poliuretano com 7 cm de espessura.

O estabelecimento da ventilação cruzada para garantir o fluxo de ar entre o ambiente interno e externo foi feito pela colocação das faces dos tijolos com os furos voltadas para o plano horizontal, na base da fachada Leste e no topo da Oeste induzindo a troca de ar de dentro e de fora dos modelos. A área de ventilação representou 10% da área das faces leste e oeste (Figuras 6 e 7).

Figura 6 – Implantação da ventilação cruzada nos modelos reduzidos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os modelos finalizados após as adequações (revestimento das paredes e pinturas (paredes e telhado)) podem ser vistos na Figura 8.

4.2 Escolha e manutenção das plantas para implantação da parede verde

As espécies utilizadas no sistema de parede verde foram: Aspargos-pendente (*Asparagus densiflorus*), Clorofito (*Chlorophytum comosum*) e Singônio (*Syngonium angustatum*). As três espécies escolhidas foram utilizadas no trabalho desenvolvido por Seixas (2019), e encontram-se ilustradas na Figura 9.

Previamente ao início do experimento foi realizada a retirada de folhas secas, a poda dos ramos e a adubação.

Figura 7 – Adequação dos módulos à zona bioclimática de Londrina.



Fonte: Autoria própria (2019).

Legenda – a) ventilação cruzada e chapisco das paredes internas e externas; b) reboco e pintura reflexiva na cor branca; c) telha de fibrocimento pintada de branco, espuma de poliuretano, colchão de ar, manta aluminizada e forro de madeira.

Figura 8 – Módulos finalizados.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 9 – Espécies utilizadas na composição da parede verde.



Fonte: Autoria própria (2019).

Legenda – (a) Singônio, (b) Aspargos e (c) Clorofito.

Os módulos utilizados foram os mesmos de Seixas (2019). Trata-se de um conjunto de nichos formando um suporte pré-moldado, modelo Eco 27, da empresa WallGreen (Figura 10), utilizado para acomodar 9 plantas de cada espécie. O sistema de irrigação foi através do gotejamento de água a cada 12h, com duração de 30min e com uma vazão de 37ml/min.

Figura 10 – Suporte pré-moldado da WallGreen modelo Eco 27.



Fonte: WallGreen (2019).

4.3 Coleta de dados e instrumentação – Arduino®

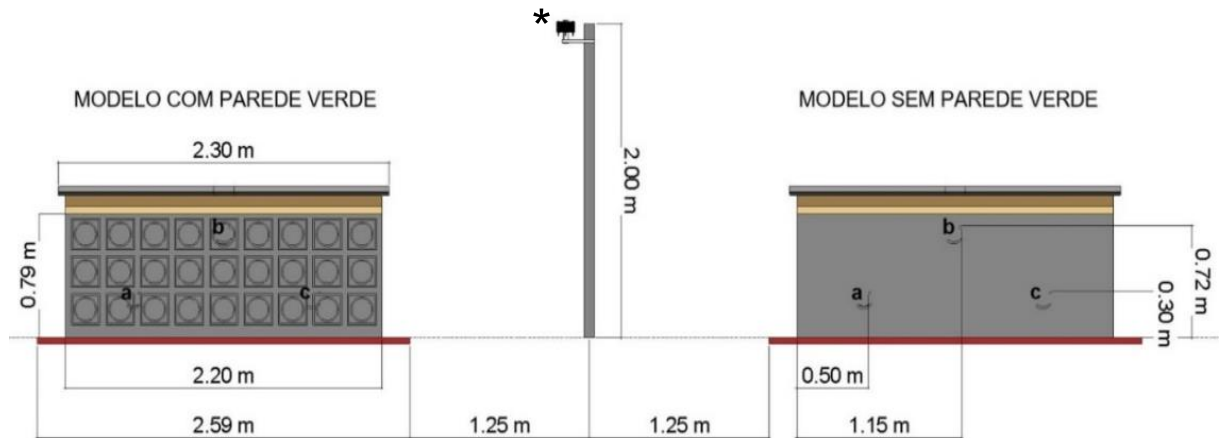
A coleta de dados de temperatura do ar iniciou-se no dia 27 de setembro de 2019 e terminou no dia 11 de outubro de 2019. Coletou-se os dados de 2 em 2min, que foram armazenados em um cartão de memória e descarregados a cada 7 dias. A temperatura foi monitorada em 15 pontos: 3 na superfície interna e 3 na superfície externa da parede na fachada norte de cada um dos modelos (Figura 11), um no interior de cada modelo e um externo (temperatura ambiente) situado a 2m do solo entre os módulos (Figura 12). A Figura 12 também mostra a nomenclatura usada nos pontos de coleta de dados nas superfícies dos modelos, denominados pontos “a”, “b” e “c”.

Figura 11 – Disposição dos sensores de temperatura dentro do módulo.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 12 – Desenho esquemático da localização dos sensores nos modelos.

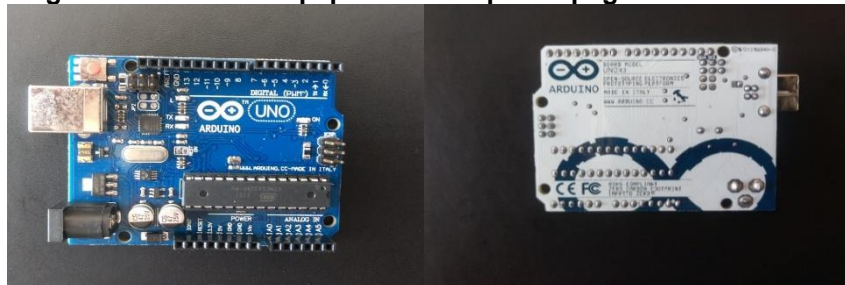


Fonte: Autoria própria (2019).

Legenda: ponto “a”, “b” e “c”: localização dos sensores de superfície externa e interna; *: sensor de temperatura externa.

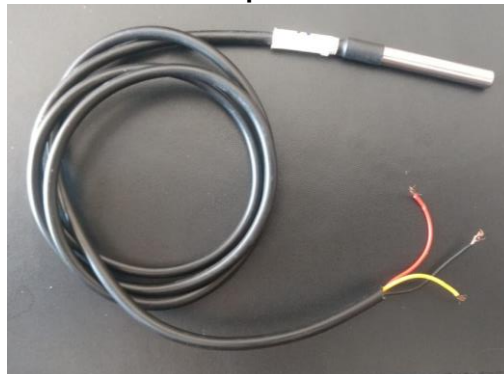
Em relação à instrumentação foi utilizado a prototipagem Arduino® modelo Uno (Figura 13) com o sensor de temperatura DS18B20 modelo *One Wire* (Figura 14). Esse modelo permite a conexão de vários sensores em uma porta de recepção de dados no Arduino, isso dá mais facilidade e possibilita a futura ampliação do sistema.

Figura 13 – Foto do equipamento de prototipagem Arduino UNO.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 14 – Sensor de temperatura DS18B20 *One Wire*.



Fonte: Autoria própria (2019).

O sensor localizado a 2m do solo foi envolvido no abrigo externo para sensores (WRF Comercial Produtos Profissionais), visando blindar o sensor dos efeitos do vento, da insolação direta e precipitação (Figura 15).

Segundo o fabricante *Aosong Eletronics Co., LTD*, o sensor DS18B20, possui incerteza de 0,5 °C. Esta incerteza não compromete as medições e esses sensores além de serem versáteis e práticos apresentam excelente custo-benefício.

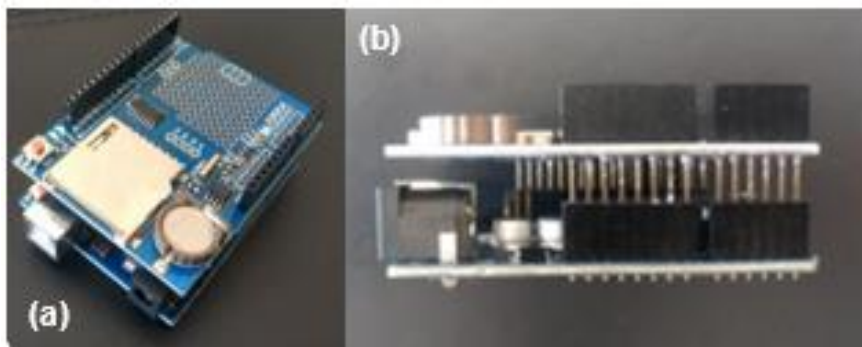
Figura 15 – Abrigo do sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Para o armazenamento de dados foi utilizado um *shield* (união de componentes eletrônicos) denominado *Data Logger SD* com RTC DS1307 (Figura 16). Esse *shield* fornece uma maior redução de espaço e praticidade na aquisição de dados e retirada de dados por serem salvos em um cartão de memória. Além disso, a sigla RTC (*Real Time Clock*) denota a presença de um relógio que retorna o horário e a data, facilitando o registro do tempo ao longo da coleta.

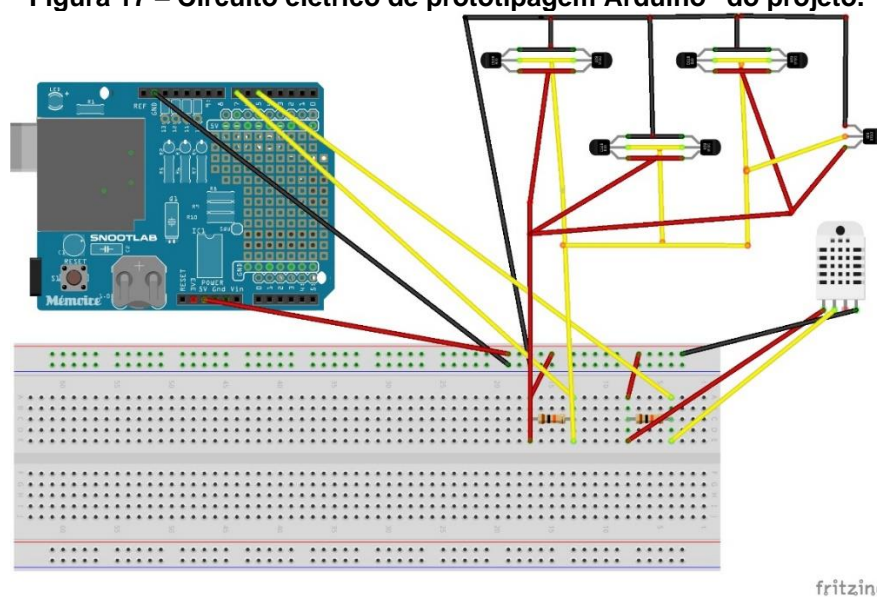
Figura 16 – *Shield Data Logger SD*; (a) Vista oblíqua e (b) vista lateral do shield.



Fonte: Aatoria própria (2019).

O circuito do sistema de prototipagem no Arduino®, elaborado no software Fritzing®, está evidenciado na Figura 17.

Figura 17 – Circuito elétrico de prototipagem Arduino® do projeto.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os sistemas de coleta de dados foram fixados fora dos módulos, facilitando a retirada de dados do cartão de memória SD (Figura 18).

Figura 18 – Instalação da central do Arduino® do lado de fora do modelo.



Fonte: Autoria própria (2019).

Os sensores foram dispostos em pares; ou seja, um sensor com a ponteira atravessando a parede de dentro para fora, e o outro atravessando a parede de fora para dentro (saindo e retornando para o interior do modelo). Vale ressaltar que os sensores das superfícies foram colocados nos pontos “a”, “b” e “c” e cada par ficou sob a influência de 9 nichos com as plantas. O ponto “a” ficou sob influência das plantas de Aspargos, o “b” sob influência do Clorofito e o “c” sob influência e Singônio.

Os sensores mais próximos das laterais ficaram a 0,50 m da extremidade e a 0,30 m do piso. Os sensores do centro (das superfícies e do interior do modelo)

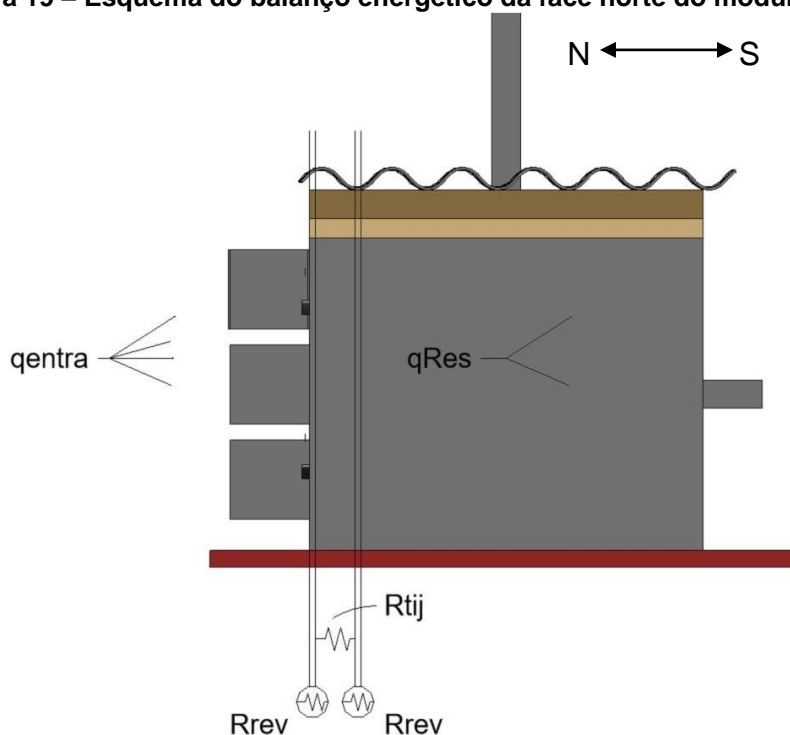
ficaram a uma distância de 1,15 m da extremidade e a 0,72 m do piso. A disposição dos sensores foi escolhida de forma a representar a variação de temperatura ao longo da superfície da parede.

A fim de contextualizar os dados de temperatura dos ambientes internos e externos, também foram analisados os dados de precipitação extraídos do banco de dados do portal do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

4.4 Inferência para estimativa de **redução de consumo energético com o sistema CPV implantado**

O cálculo da estimativa do consumo energético com o sistema de parede verde baseia-se no balanço energético do sistema, tomando como princípio o sistema ilustrado na Figura 19. Nessa ilustração a cobertura e a base são consideradas isoladas, com o objetivo de simplificar os cálculos para a melhor compreensão da economia energética. Além disso, para os cálculos considera-se que não há geração de energia no interior dos modelos.

Figura 19 – Esquema do balanço energético da face norte do módulo CPV.



Fonte: Autoria própria (2019).

Legenda: q_{entra} : energia que entra no sistema na forma de calor por condução; R_{rev} : resistência térmica do revestimento; R_{tij} : resistência térmica do tijolo cerâmico do modelo; q_{Res} : energia que chega até o interior do modelo.

4.4.1 Cálculo da taxa de transferência de calor

Tomando como base a Equação 6, e simplificando-a após as considerações de regime estacionário e da não geração de energia no interior do sistema, tem-se a Equação 14.

$$\Delta \dot{E}_{acu} \equiv \frac{dE_{acu}}{dt} = \dot{E}_{entra} - \dot{E}_{sai} + \dot{E}_{ger}, \quad (14)$$

Simplificando os termos após estabelecer as condições

$$\Delta \dot{E}_{acu} \equiv \frac{dE_{acu}}{t} = E_{entra} - E_{sai} + \cancel{E_{ger}}$$

Após essas simplificações, o balanço energético fica resumido apenas ao acúmulo de energia dentro do sistema (energia térmica), à entrada e à saída de energia no sistema (Equação 15).

$$E_{acu} = E_{entra} - E_{sai}, \quad (15)$$

A partir da Equação 15, pode-se notar, que nesse sistema considera-se apenas a condução como forma de transferência de calor, isto é, toda a energia que passa pelas paredes.

Assim, tomando os parâmetros de entrada e saída do sistema, e ainda, assumindo que a transmitância térmica da parede de alvenaria do sistema é de 2,49 W/m²K (ABNT, 2005), foi possível calcular a resistência térmica da parede a partir da Equação 8 remanejada.

$$R = 1/U, \quad (8)$$

A partir da Equação 16, pôde-se calcular a taxa de condução térmica.

$$q = \frac{\Delta T}{R}, \quad (16)$$

Sendo:

R : resistência térmica [$m^2 \cdot K/W$];

q : taxa de transferência de calor [W];

ΔT : diferença de temperatura entre as superfícies externa e interna da parede [$^{\circ}C$];

Assim, pela diferença de calor entre os sistemas, foi possível encontrar o valor da retirada de calor proveniente da parede verde (Equação 17).

$$\Delta q = q_{SPV} - q_{CPV}, \quad (17)$$

Sendo:

q_{SPV} : taxa de transferência de calor no sistema SPV [W];

q_{CPV} : taxa de transferência de calor no sistema CPV [W];

Δq : diferença da taxa de transferência de calor dos sistemas [W].

Com essas expressões foi possível estimar quanto um sistema implantado no bloco S impactaria na taxa de transferência de calor, através do fluxo de calor (Equação 18).

$$\dot{q} = \left[\frac{q_{xPV}}{A} \right] * 12 *, \quad (18)$$

Sendo:

q_{xPV} : taxa de transmissão térmica do sistema x (SPV ou CPV) [W];

A : área da superfície da fachada norte dos modelos [m^2];

\dot{q} : fluxo de calor ou taxa de condução de calor por unidade de área [W/m^2];

12 *: fator de redução dos modelos reduzidos (1:12).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O monitoramento da temperatura do ar no ambiente externo e dos 2 blocos construídos foi realizado no período de 27 de setembro a 11 de outubro de 2019, durante 2 semanas. Ao longo do período de monitoramento, verificou-se uma variação na temperatura externa entre 12,7 e 39,1°C (Tabela 2), em função da ocorrência de alguns dias com temperaturas mais baixas. Houve, ainda, queda de temperatura devido aos dias de chuva (07 e 08 de outubro) (Gráfico 1).

Tabela 2 – Valores máximos e mínimos das temperaturas do ar do ambiente externo e das temperaturas internas dos blocos SPV e CPV ao longo das semanas de monitoramento.

Parâmetro Semana 1/2	Data e Hora	Temperatura (°C)		
		EXT	ISPV	ICPV
Temperaturas máximas Semana 1	02/10 - 13:50	39,1	37,6	30,8
	02/10 - 13:58	39,0	38,2	30,6
	02/10 - 16:42	37,3	36,3	33,8
Temperaturas máximas Semana 2	05/10 – 15:30	39,3	36,9	32,0
	05/10 – 15:16	39,0	37,1	32,0
	05/10 – 15:54	36,4	35,3	32,3
Temperaturas mínimas Semana 1	28/09 – 06:30	12,9	13,1	17,3
	28/09 – 06:20	12,7	13,0	17,3
	28/09 – 08:24	16,1	18,3	16,6
Temperaturas mínimas Semana 2	08/10 – 06:10	15,5	16,1	18,4
	08/10 – 05:22	15,9	15,6	18,4
	08/10 – 08:24	18,6	20,0	17,9

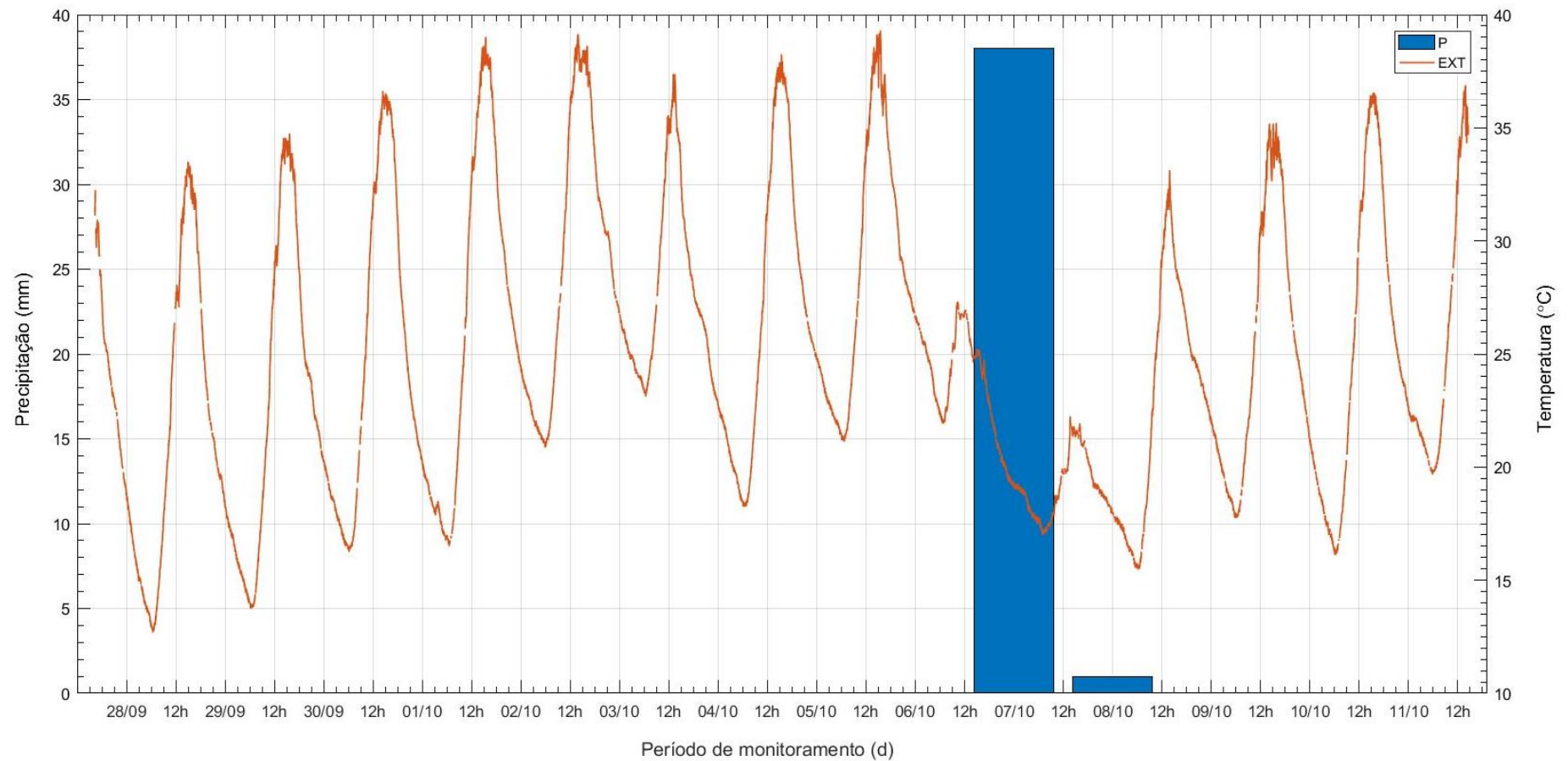
Autoria própria (2019).

Legenda – EXT: Temperatura do ar no ambiente externo; ISPV: Temperatura do ambiente interno do modelo sem parede verde; ICPV: Temperatura do ambiente interno do modelo com parede verde; os valores em negrito representam as temperaturas mais extremas dos ambientes nos respectivos dias e horários.

5.1 Caracterização da temperatura interna dos blocos SPV e CPV

As temperaturas internas nos modelos construídos foram sempre menores que a EXT no período entre 11:00 e 19:00h, sendo que a parede verde (CPV) promoveu uma atenuação mais acentuada da temperatura interna do que o revestimento convencional (SPV) (Gráficos 2, 3, 4 e 5). Já, no intervalo entre as 19:00 e 07:00h a temperatura interna no bloco CPV se manteve, no geral, sempre mais elevada que a EXT e a ISPV (Gráficos 4 e 5). Durante os dias mais frios a temperatura ICPV se manteve amena que as demais das 08:00h às 19:00 e mais quente das 19:00h às 08:00 (Gráfico 4 e 5).

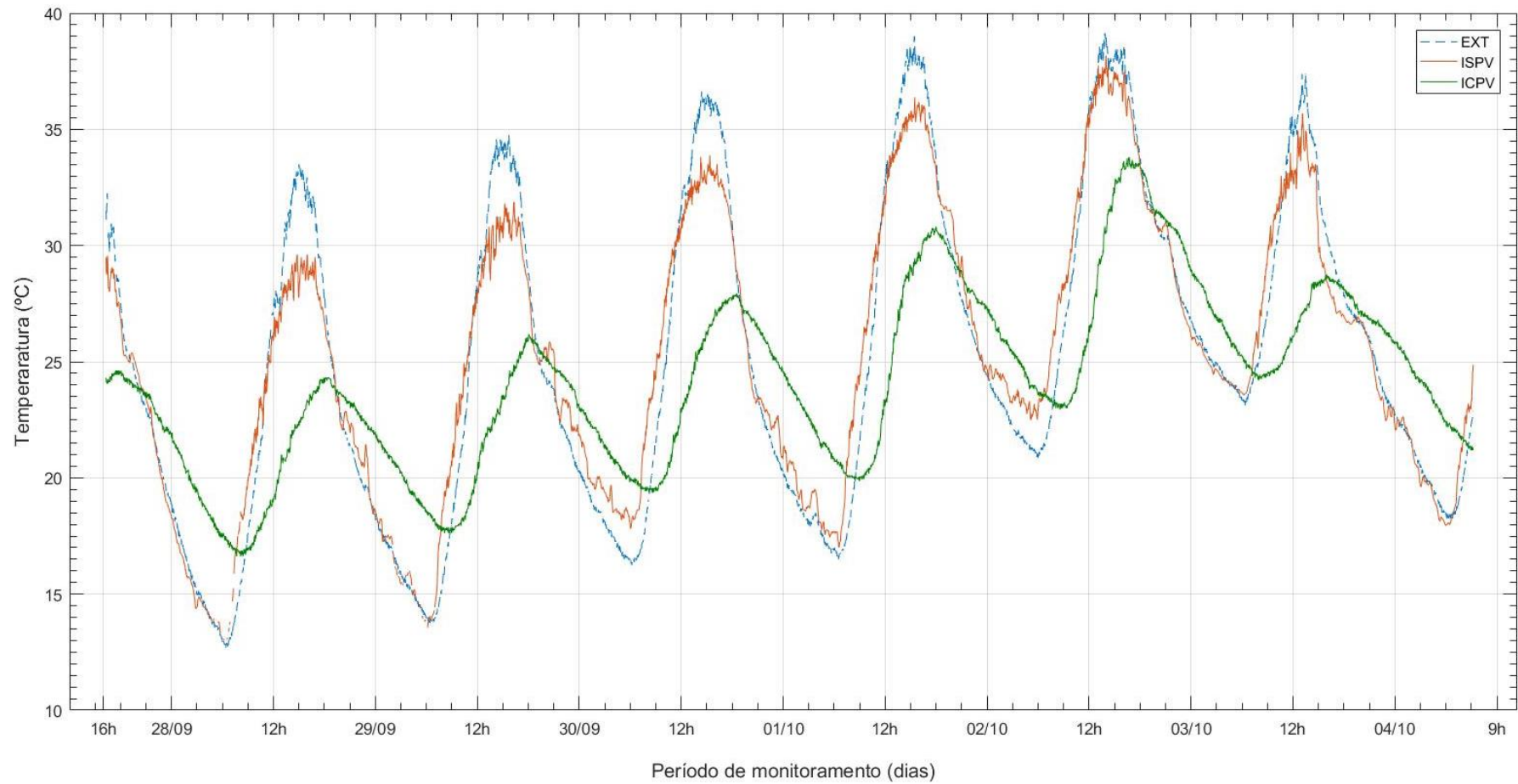
Gráfico 1 – Temperaturas do ar do ambiente externo e precipitação diárias ao longo das duas semanas de monitoramento.



Autoria própria (2019).

Legenda – EXT: Temperatura do ambiente externo; P: Precipitação (Fonte: INMET, 2019).

Gráfico 2 – Variação diária da temperatura externa e das temperaturas internas nos modelos SPV e CPV ao longo da Semana 1.

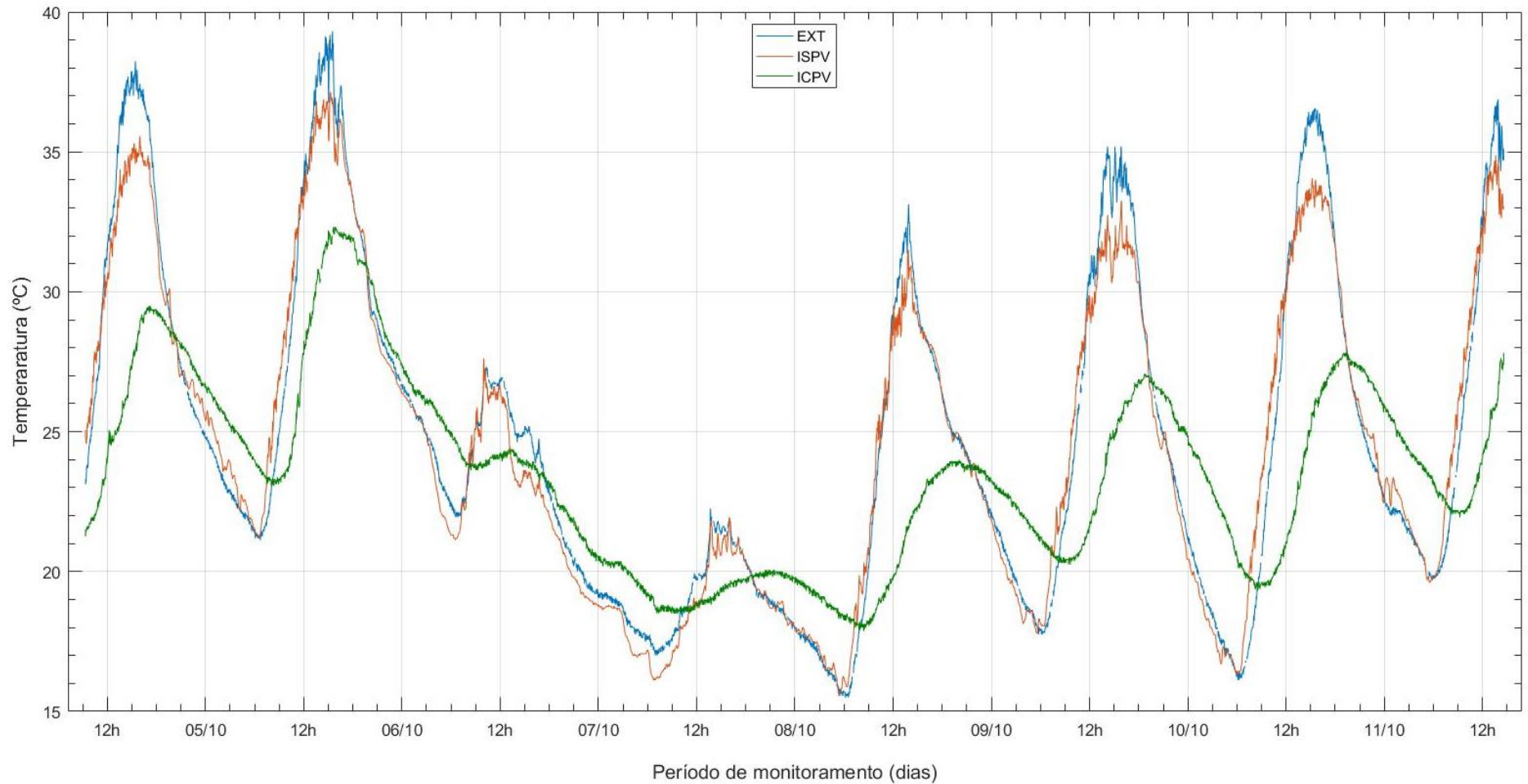


Período de monitoramento (dias)

Autoria própria (2019).

Legenda – EXT: Temperatura do ambiente externo; ISPV: Temperatura do ambiente interno sem parede verde; ICPV: Temperatura do ambiente interno com parede verde.

Gráfico 3 – Variação diária da temperatura externa e das temperaturas internas nos modelos SPV e CPV ao longo da Semana 2.

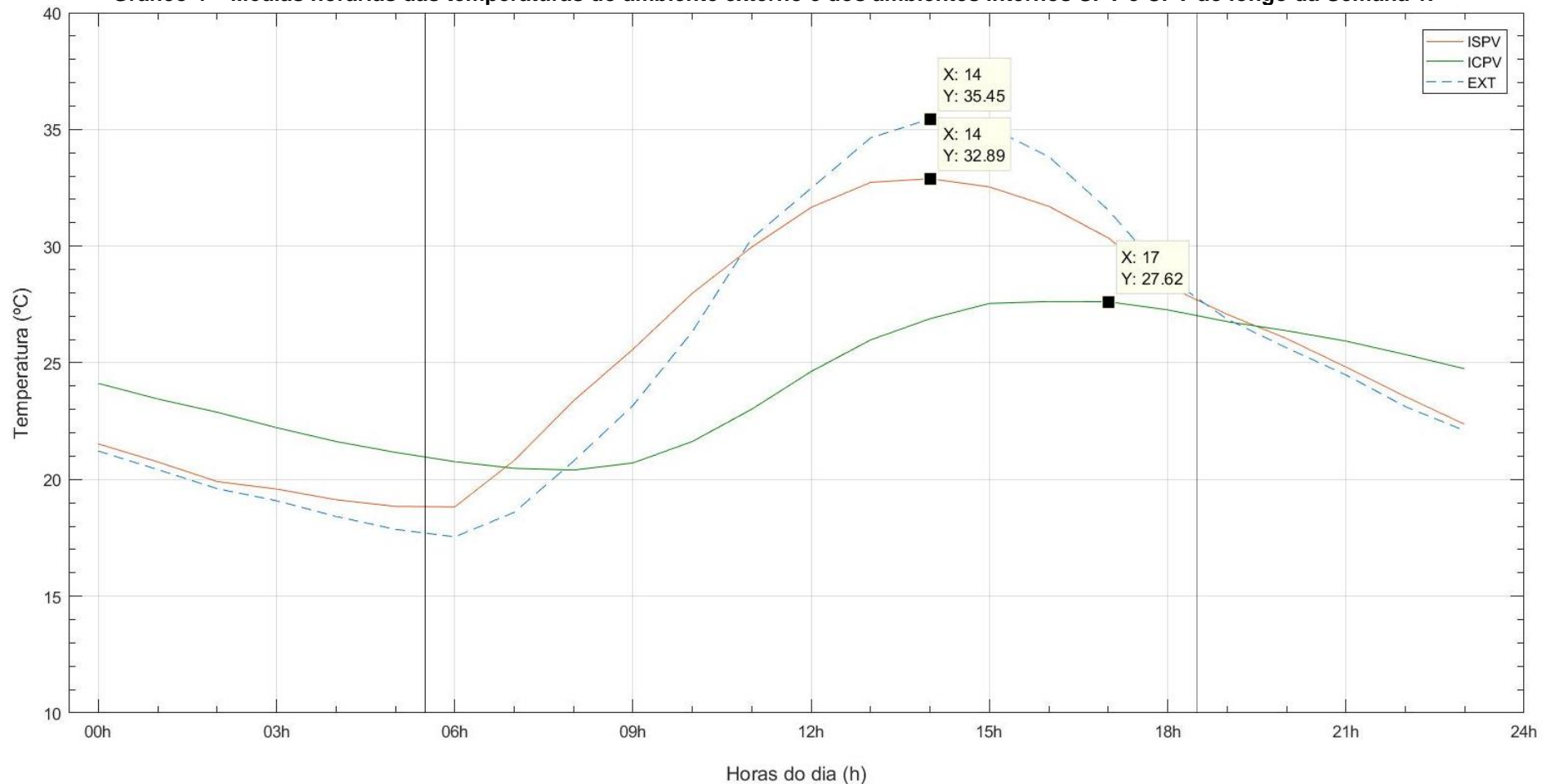


Período de monitoramento (dias)

Autoria própria (2019).

Legenda – EXT: Temperatura do ambiente externo; ISPV: Temperatura do ambiente interno sem parede verde; ICPV: Temperatura do ambiente interno com parede verde.

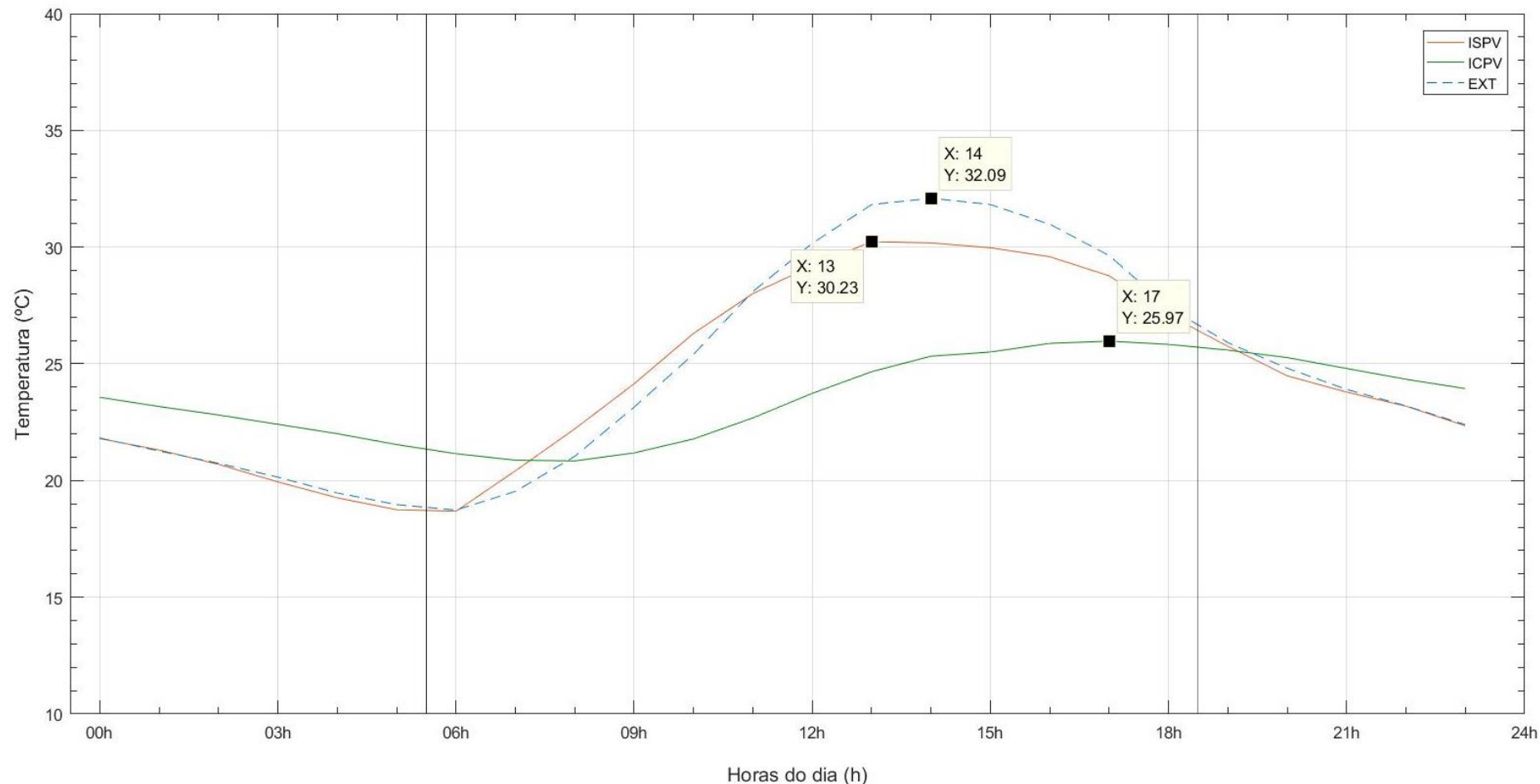
Gráfico 4 – Médias horárias das temperaturas do ambiente externo e dos ambientes internos SPV e CPV ao longo da Semana 1.



Autoria própria (2019).

Legenda – ISPV: Temperatura do ambiente interno no modelo sem parede verde; ICPV: Temperatura do ambiente interno no modelo com parede verde; EXT: Temperatura do ar do ambiente externo. Em destaque os valores de ISPV, ICPV e EXT máximos (y) e o horário de ocorrência (x).

Gráfico 5 – Médias horárias das temperaturas do ambiente externo e das temperaturas dos ambientes internos SPV e CPV ao longo da Semana 2.



Autoria própria (2019).

Legenda – ISPV: Temperatura do ambiente interno no modelo sem parede verde; ICPV: Temperatura do ambiente interno no modelo com parede verde; EXT: Temperatura do ar do ambiente externo. Em destaque os valores de ISPV, ICPV e EXT máximos (y) e o horário de ocorrência (x).

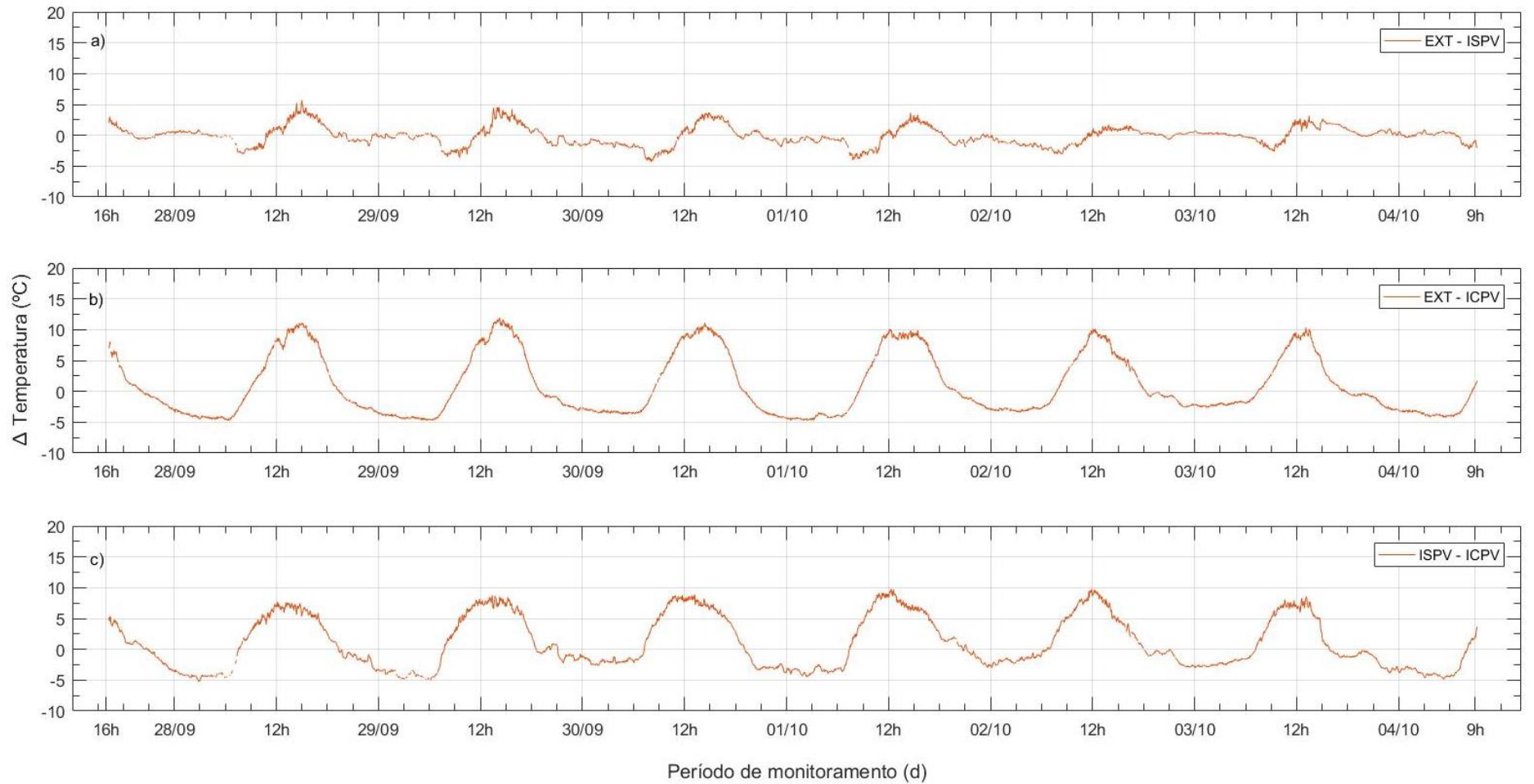
Outro parâmetro a ser destacado é a diferença entre as amplitudes térmicas do ambiente externo (EXT) e ambientes internos (SPV e CPV). Nas duas semanas, as temperaturas do modelo com parede verde (CPV) descreveram uma amplitude térmica menor do que o modelo sem parede verde (SPV) e do que o ambiente externo (EXT) (Gráficos 2 e 3).

Ainda, nos Gráficos 4 e 5, além da diferença de amplitude térmica já ressaltada, é possível perceber que a presença da parede verde, de modo geral, promoveu um atraso térmico de 3h, enquanto no bloco SPV o atraso foi de 1h (Semana 2). Já, o maior atraso térmico na hora do pico de temperatura foi de 7h no dia 08/10, o dia mais frio do monitoramento (Gráfico 3).

A atenuação promovida pelos diferentes revestimentos (SPV e CPV) gerou diferentes comportamentos de temperaturas máximas e mínimas à medida que se analisa diferentes dias e horários, em função da transferência de calor (Tabela 2). Observou-se que nos horários de pico de temperatura, na primeira semana, a diferença de temperatura entre os 2 sistemas foi em torno de 7°C, acompanhada de uma atenuação térmica máxima entre EXT e ICPV de cerca 10°C no dia 02/10 (Gráfico 6b). Enquanto na segunda semana essa diferença foi em torno de 7°C (ISPV-ICPV) no dia 05/10, com uma atenuação térmica máxima entre EXT e CPV de 7,3°C (Gráfico 7b). Já, no início da manhã, a temperatura ICPV foi de cerca de 4°C maior que a ISPV na Semana 1, e na Semana 2 essa diferença ficou entre 2 e 3°C, ou seja, um pouco mais amena visto que as temperaturas externas não eram tão extremas (Tabela 2). Com isso, pode-se concluir que a presença da parede verde proporcionou um isolamento térmico efetivo.

Analisando os dados contínuos da variação de temperatura observou-se que, no geral, durante o dia, na Semana 1, a atenuação promovida pelo bloco SPV foi de até 5,7°C enquanto na Semana 2 essa atenuação foi menor (cerca de 2°C). Já, no bloco CPV, a atenuação foi de cerca de 10°C nas duas semanas, para os dias mais quentes, chegando a 11,9°C e 11,7°C nas Semanas 1 e 2, respectivamente (Gráficos 6 e 7). Atenuações térmicas similares também foram apresentadas por Seixas (2019), que no seu trabalho piloto com os mesmos modelos (sem revestimento) e com as mesmas espécies (porém posicionadas de outra forma) obteve uma diferença entre os ambientes internos dos modelos SPV e CPV de cerca de 6,7°C e uma diferença entre o ambiente interno CPV e o ambiente externo que ultrapassou 13°C.

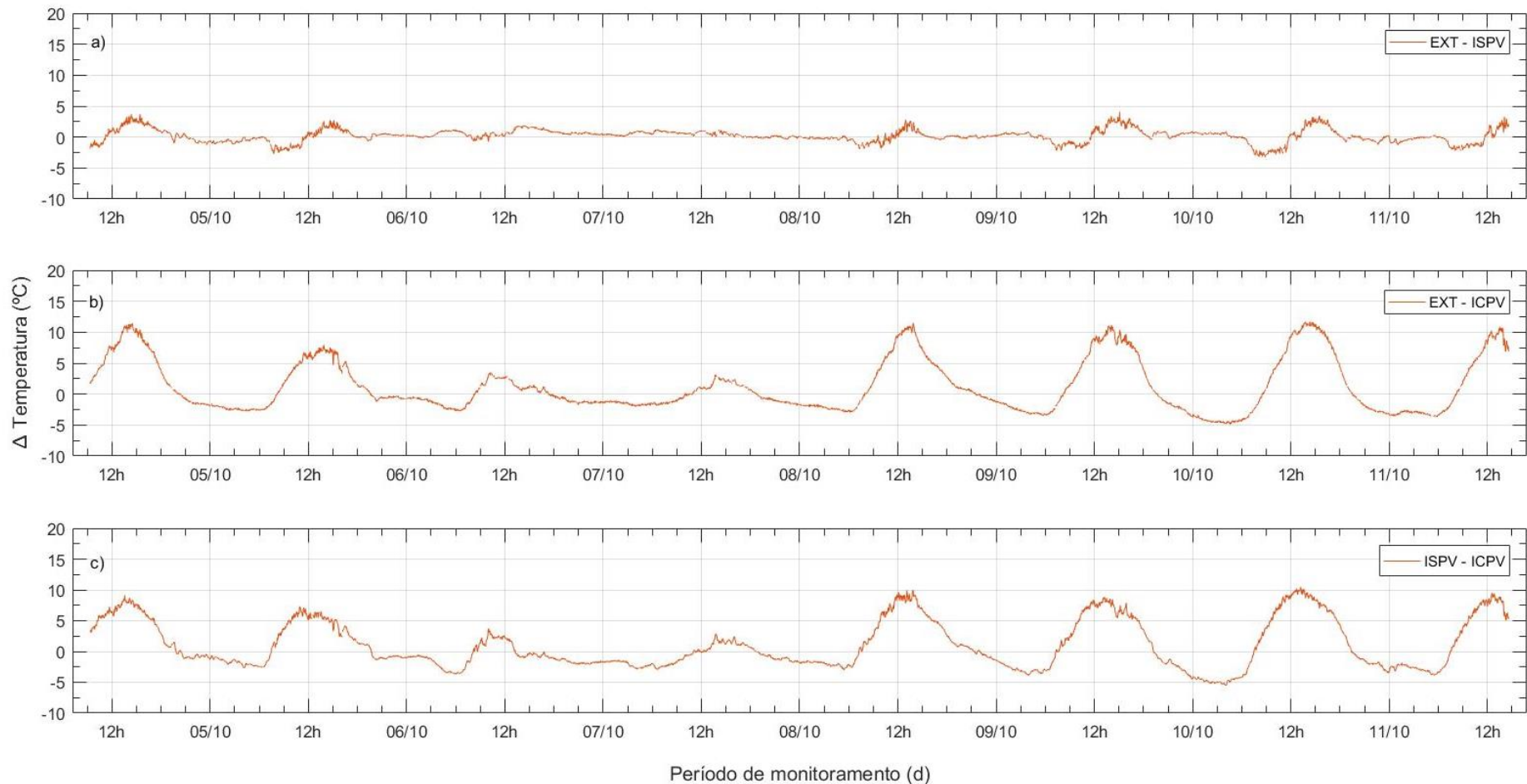
Gráfico 6 – Variação diária das diferenças entre a temperatura do ambiente externo e as temperaturas internas SPV e CPV ao longo da Semana 1.



Autoria própria (2019).

Legenda – EXT: Temperatura do ambiente externo; ISPV: Temperatura do ambiente interno sem parede verde; ICPV: Temperatura do ambiente interno com parede verde.

Gráfico 7 – Variação diária das diferenças entre a temperatura do ambiente externo e as temperaturas internas SPV e CPV ao longo da Semana 2.



Autoria própria (2019).

Legenda – EXT: Temperatura do ambiente externo; ISPV: Temperatura do ambiente interno sem parede verde; ICPV: Temperatura do ambiente interno com parede verde.

De acordo com Caetano (2014), a vegetação ameniza os fluxos de calor reduzindo as amplitudes térmicas, em razão da realização da evapotranspiração, do sombreamento e do isolamento térmico. No processo de isolamento térmico com a parede verde, Caetano (2014) ainda destacou que cerca de 30% do calor perdido pelo sistema é função da evapotranspiração das plantas e 4% é função da fotossíntese, ou seja, todo o microclima do entorno do sistema é beneficiado. Montanari e Labaki, após pesquisa bibliográfica sobre o assunto, apresentaram valores de máxima redução diurna da temperatura interna do ar em ambientes internos com envoltórias verdes entre 3 a 7,5°C, porém com sistema de vasos distribuídos ao longo da parede, com as plantas absorvendo o calor e ocasionando o atraso térmico.

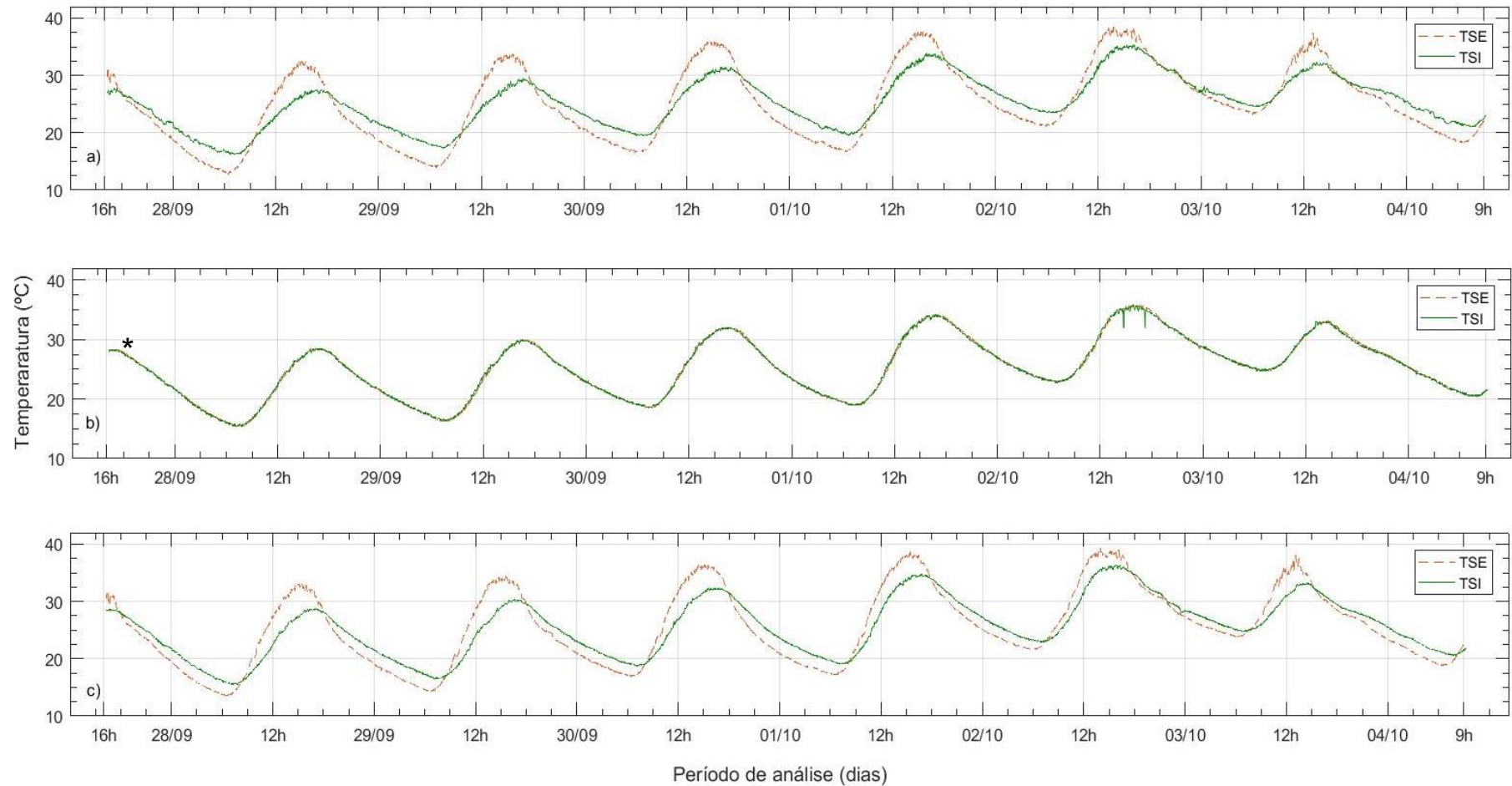
5.2 Caracterização da temperatura das superfícies de parede – SPV e CPV

As temperaturas da superfície externa (TSE) e interna (TSI) nos modelos sem parede verde (SPV) tiveram comportamentos semelhantes nas Semanas 1 e 2 (Gráficos 8 e 9). As temperaturas externas (TSE) foram, em geral, maiores a partir das 09:00 da manhã e menores a partir das 18:00 da noite quando comparadas com as temperaturas internas no caso dos pontos de extremidade designados como “a” e “c”. O ponto de maior temperatura externa ocorreu no dia 2 de outubro (Semana 1) às 13:50h horas e no dia 5 de outubro (Semana 2) às 15:30.

Notou-se que as diferenças entre as TSE e TSI máximas, no modelo SPV, na Semana 1 foram de 4,5°C (ponto “a”) e 3,8°C (ponto “c”) (Tabela 3). Estas diferenças na Semana 2 foram de 4,2°C (ponto “a”) e 4,0°C (ponto “c”) (Tabela 4). No ponto central de medição (“b”) do modelo SPV as duas temperaturas (TSE e TSI) foram praticamente iguais nas duas semanas (Gráficos 8b e 9b), o que denota alguma falha na coleta de dados, visto esse fato não ter ocorrido nos demais pontos e no mesmo ponto em semanas anteriores. Sendo assim, esses dados não serão mostrados nas Tabelas 3 e 4 e não foram analisados.

Quanto às temperaturas mínimas no modelo SPV, notou-se que as diferenças entre as TSE e TSI, no ponto “a”, nas Semanas 1 e 2, foi de -2,6°C e -2,3°C, respectivamente. No ponto “c” as diferenças de temperatura foram iguais nas duas semanas com valor de -1,7°C. Os valores negativos significam que a TSI foi maior do que a TSE, tornando o ambiente interno mais ameno (Tabela 4).

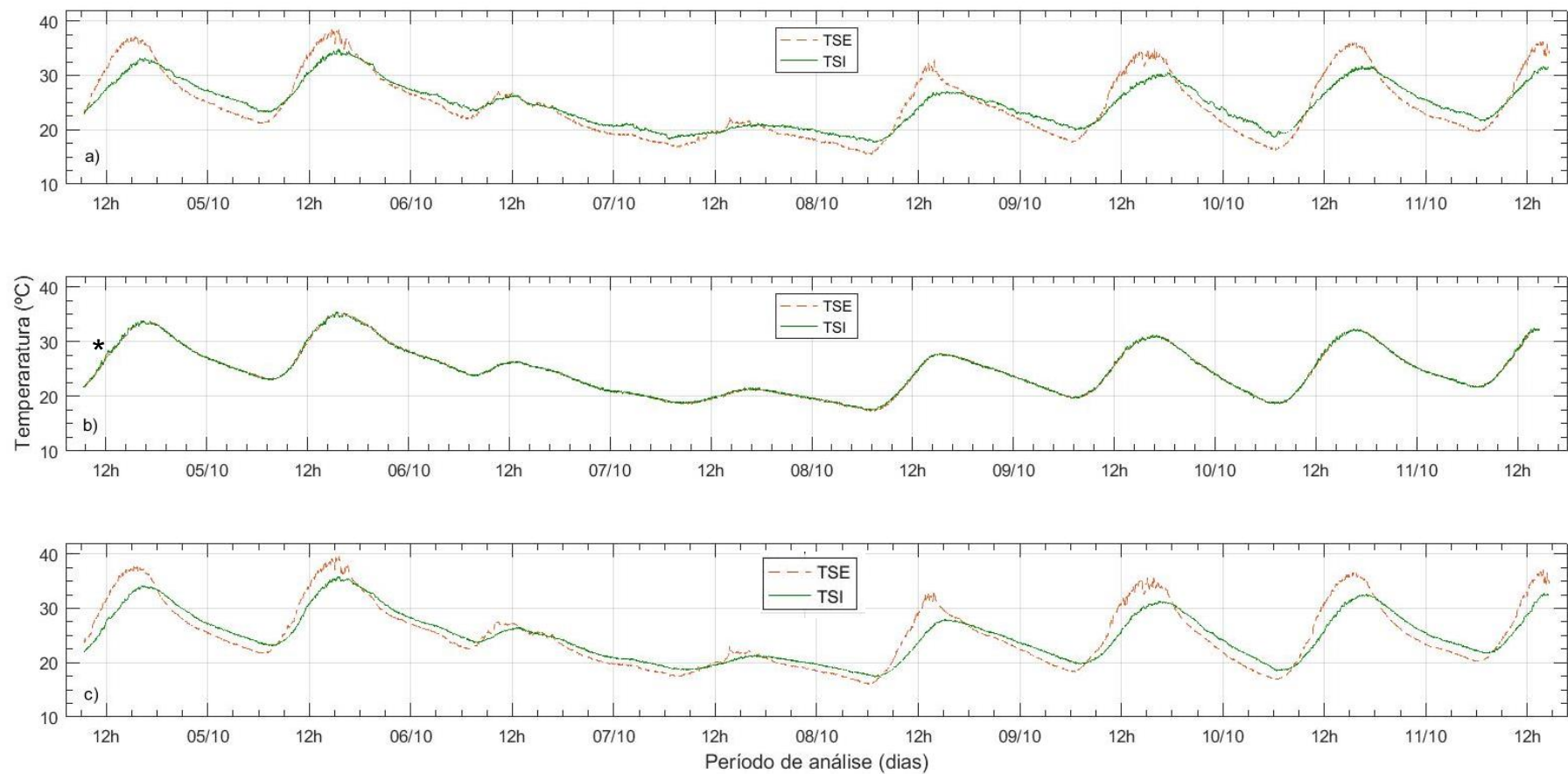
Gráfico 8 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo SPV, durante a Semana 1.



Autoria própria (2019).

Legenda – SPV: Modelo sem parede verde; TSE: Temperatura da superfície externa; TSI: Temperatura da superfície interna; *: valores de temperatura fora do padrão observado.

Gráfico 9 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo SPV, durante a Semana 2.



Autoria própria (2019).

Legenda – SPV: Modelo sem parede verde; TSE: Temperatura da superfície externa; TSI: Temperatura da superfície interna; *: valores de temperatura fora do padrão observado.

Tabela 3 – Valores máximos e mínimos das temperaturas das superfícies externas e internas dos modelos SPV e CPV nos horários de pico e de mínimo na Semana 1.

SEMANA 1							
MODELO	DATA	PONTO	SENSOR	T MAX	T MIN	(TSE – TSI)	(TSE - TSI)
				13:50	05:56	13:50	05:56
SPV*	02/out	a	TSE	38,5	21	4,5	-2,6
			TSI	34	23,6		
		c	TSE	39,1	21,6	3,8	-1,7
			TSI	35,3	23,3		
CPV	02/out	a	TSE	33,6	23,3	4,2	-1
			TSI	29,4	24,3		
		b	TSE	32,3	24,7	3,2	1
			TSI*	29,1	23,7		
		c	TSE	33,5	24	1,4	-0,4
			TSI	32,1	24,4		

Autoria própria (2019).

Legenda: SPV: modelo sem parede verde; CPV: modelo com parede verde; TSE: temperatura da superfície externa; TSI: temperatura da superfície interna; T MAX: temperatura máxima; T MIN: temperatura mínima. *no modelo SPV não foram mostrados os dados do ponto “b”, erro nos sensores.

Tabela 4 – Valores máximos e mínimos das temperaturas das superfícies externas e internas dos modelos SPV e CPV nos horários de pico e de mínimo na Semana 2.

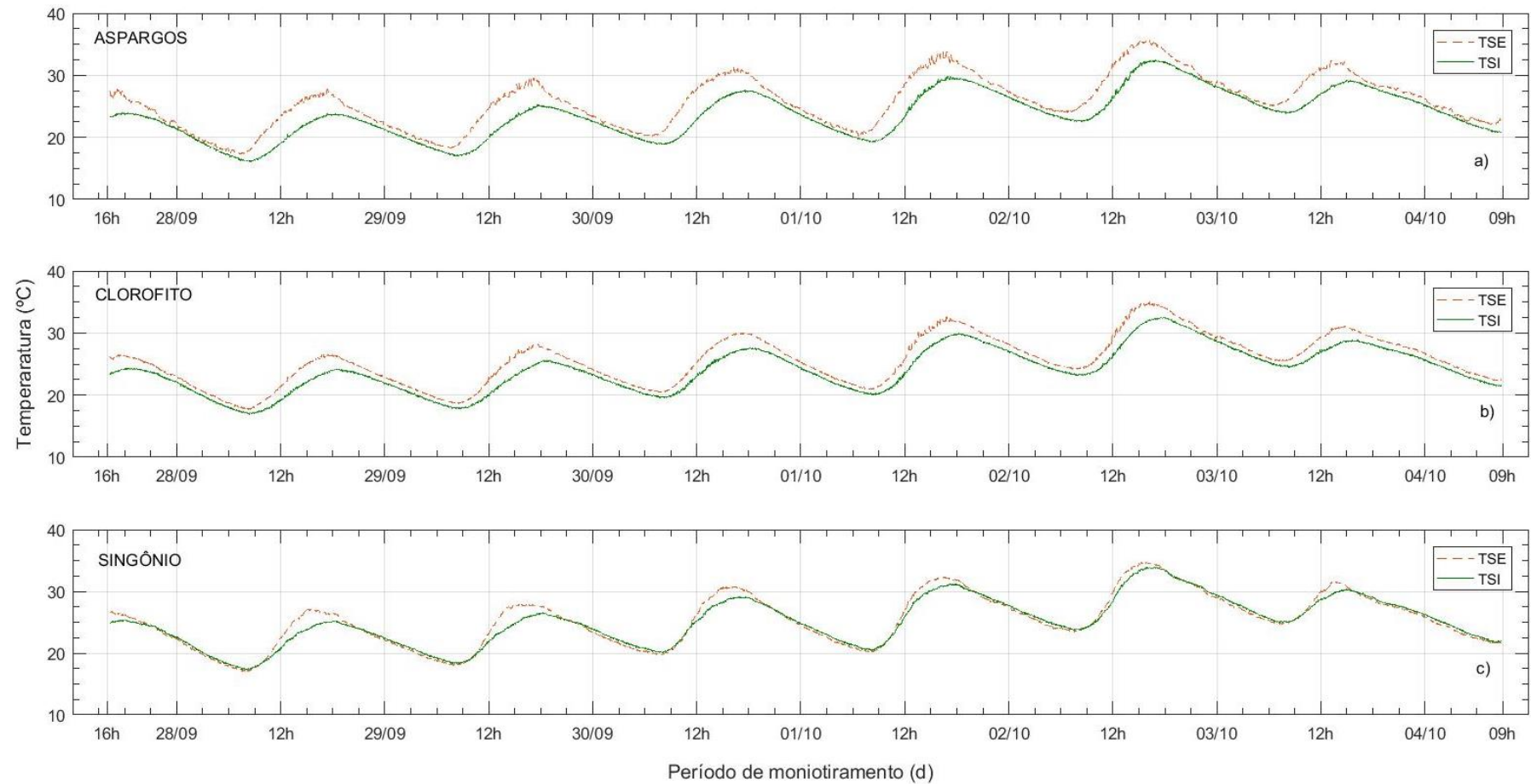
SEMANA 2							
MODELO	DATA	PONTO	SENSOR	T MAX	T MIN	(TSE – TSI)	(TSE - TSI)
				15:30	06:36	15:30	06:36
SPV*	05/out	a	TSE	38,5	21	4,2	-2,3
			TSI	34,3	23,3		
		c	TSE	39,6	21,9	4	-1,7
			TSI	35,6	23,6		
CPV	05/out	a	TSE	34,2	24,2	3,5	0,7
			TSI	30,7	23,5		
		b	TSE	33,3	24,9	2,5	0,8
			TSI	30,8	24,1		
		c	TSE	33,8	24	1,1	-0,5
			TSI	32,7	24,5		

Autoria própria (2019).

Legenda: SPV: modelo sem parede verde; CPV: modelo com parede verde; TSE: temperatura da superfície externa; TSI: temperatura da superfície interna; T MAX: temperatura máxima; T MIN: temperatura mínima. *no modelo SPV não foram mostrados os dados do ponto “b”, erro nos sensores.

De acordo com as informações apresentadas por Sorte (2016), que relata que quanto maior a resistência térmica do material da superfície, maior a dificuldade da entrada de energia na edificação. Essa dificuldade promove o conforto e a segurança térmica das edificações (SORTE, 2016; ZHANG, 2019).

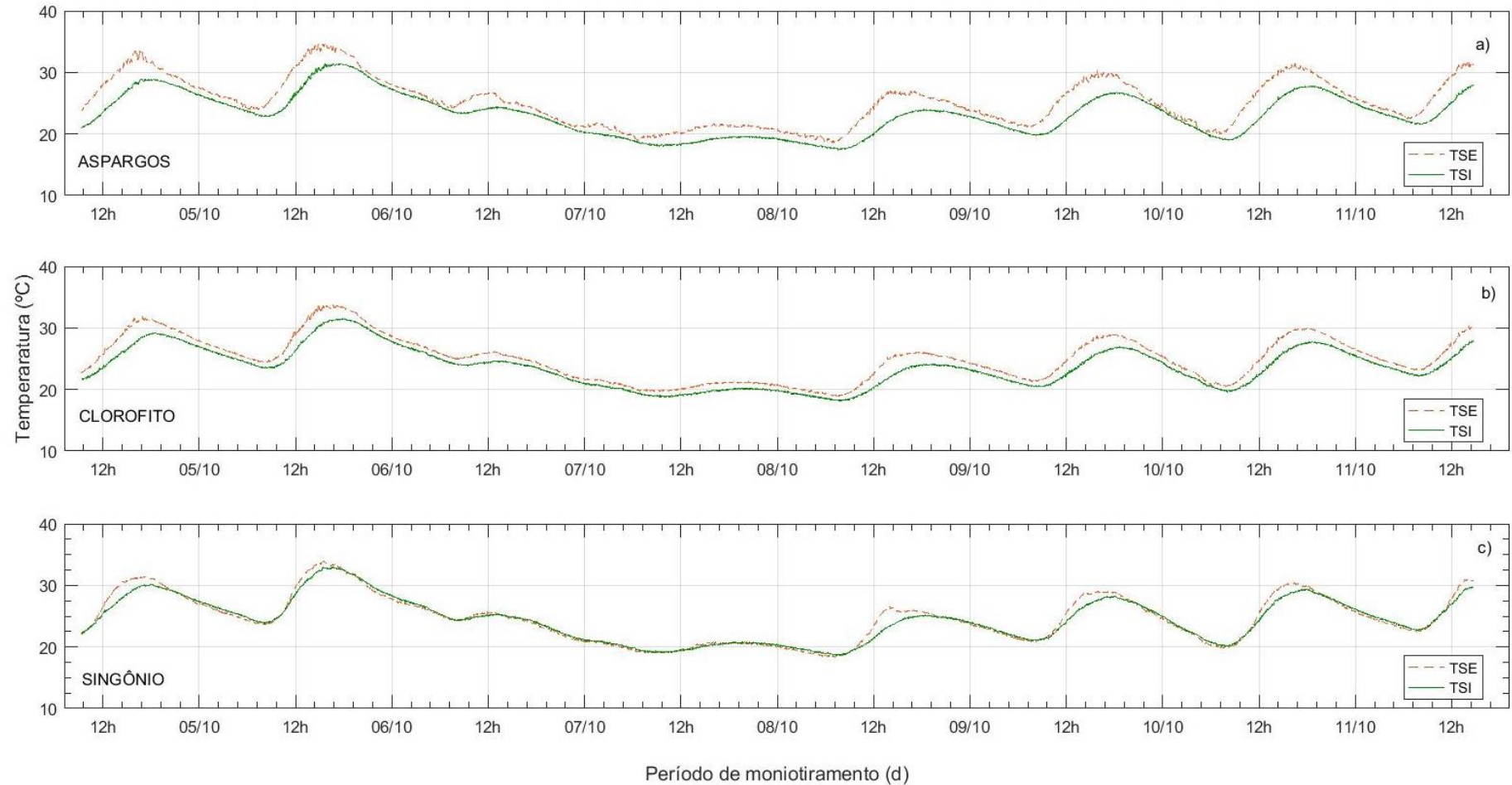
Gráfico 10 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo CPV, durante a Semana 1.



Autoria própria (2019).

Legenda – TSE: Temperatura da superfície externa; TSI: Temperatura da superfície interna; “a”: sensores localizados atrás de plantas de Aspargo; “b”: atrás de Clorofito e “c”: atrás de Singônio.

Gráfico 11 – Variação diária da temperatura das superfícies externa (TSE) e interna (TSI) do modelo CPV, durante a Semana 2.



Autoria própria (2019).

Legenda: TSE: Temperatura da superfície externa; TSI: Temperatura da superfície interna; “a”: sensores localizados atrás de plantas de Asparago; “b”: atrás de Clorofito e “c”: atrás de Singônio.

Os valores de TSE e TSI do modelo com parede verde (CPV) medidos nas Semanas 1 e 2 (Tabelas 3 e 4, Gráficos 10 e 11) foram mais similares entre si no ponto “c” do que nos demais, indicando que a temperatura da superfície externa foi mais atenuada nesse ponto do que nos demais. Já nos pontos “a” e “b” houve uma diferença mais acentuada, com a superfície externa mais quente, tanto durante o dia quanto à noite. As diferenças máximas entre TSE e TSI do modelo CPV mostram o quanto de atenuação térmica ocorreu naquele ponto.

A respeito dessas diferenças entre os pontos na parede do modelo CPV (Gráfico 10), na Semana 1, o comportamento foi bastante variável em comparação ao modelo SPV (Gráfico 8), provavelmente devido à inserção da vegetação, a qual atua como isolante térmico. Morelli (2016), utilizou um sistema de treliça como apoio de trepadeiras (Hera japonesa), e obteve uma diferença máxima de 0,2°C entre a superfície interna e externa da parede, bem como uma atenuação média entre os ambientes interno com a parede verde e externo de 2,6°C no verão, mostrando o isolamento térmico promovido pela vegetação.

Com relação às temperaturas TSE e TSI do modelo CPV nas Semanas 1 e 2, ao longo do dia TSE foi mais alta, enquanto à noite, TSE foi mais baixa em comparação com TSI (Gráfico 10c e 11c). Nos demais pontos sob as plantas de Aspargos e Clorofito (Gráficos 10a, 10b, 11a e 11b), em qualquer horário, as TSE foram mais quentes do que as TSI.

Diante do comportamento apresentado pelos Gráficos 10 e 11, pode-se dizer que a espécie que mostrou a tendência de mais contribuir para a atenuação da temperatura foi o Singônio, mesmo sendo considerada de meia sombra (SOUZA; JASMIN, 2004), visto que as diferenças de temperaturas, nas Semanas 1 e 2, entre EXT e TSE foram as maiores entre as espécies de plantas; e as diferenças TSE e TSI foram as menores registradas. Essa atenuação térmica é provavelmente devida a sua maior área foliar, capaz de absorver e bloquear mais radiação solar, realizar mais evapotranspiração, razões essas, atribuídas às plantas nas paredes verdes, conforme Morelli (2016), Mascaró e Mascaró (2015 apud CAETANO, 2014) e Scherer, Alves e Redin (2019).

Apesar da maior área foliar do Singônio, as 3 espécies apresentaram uma cobertura densa, uniforme e similar da parede verde, mostrando um crescimento

vigoroso, sob as condições experimentais. As plantas de Aspargos e Clorofito inclusive floresceram e frutificaram ao longo do experimento.

5.3 Contribuição do sistema de parede verde para a economia de energia

Assumindo a transmitância térmica de 2,49 W/m²K de acordo com a uma parede de tijolos cerâmicos de 8 furos duplamente revestida com argamassa (ABNT, 2005), calculou-se o valor da resistência térmica a partir da Equação 19.

$$R = 1/U, \tag{19}$$

$$R = 1/2,49 = 0,40 \text{ m}^2\text{K/W}$$

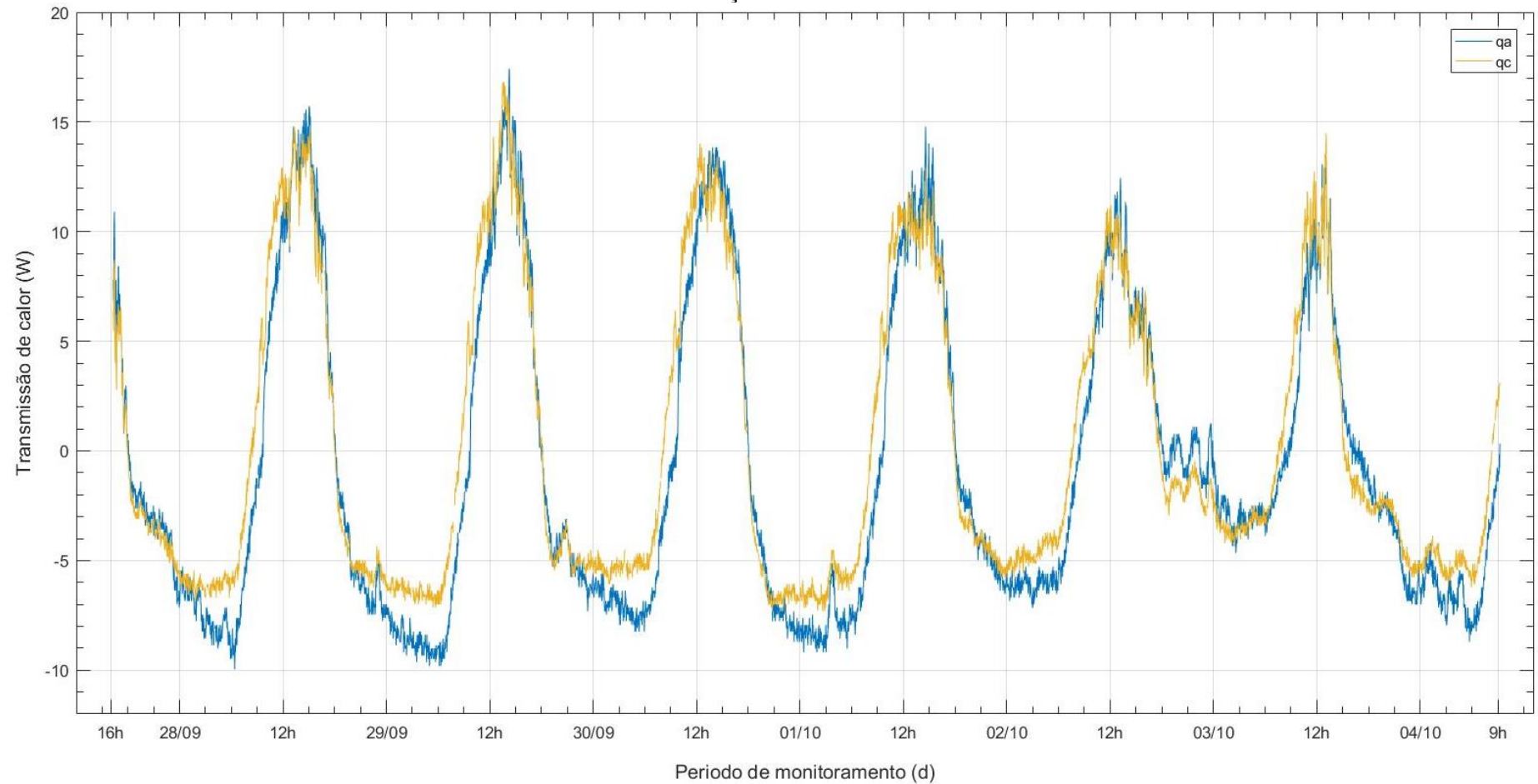
Após determinar a resistência térmica, utilizou-se a Equação 16 para encontrar a taxa de transferência de calor (“q”) de cada ponto (“a”, “b” e “c”) nos modelos SPV (Gráfico 12) e CPV (Gráfico 13) para a Semana 1.

$$q = \frac{\Delta T}{R}, \tag{16}$$

A taxa de transmissão de calor no modelo SPV (Gráfico 12), ocorrida entre as 06:00 da manhã e às 18:00 da tarde, se mostrou bastante similar entre os pontos “a” e “c”, e teve seu pico próximo das 15:00. Já no período noturno, foi possível perceber que no ponto “a”, em geral, foi maior (em módulo) do que no ponto “c”, já que os valores negativos significam a inversão de sentido na transferência de calor. Cabe lembrar que a curva da taxa de transferência de calor do ponto “b” não foi construída em razão dos valores muito semelhantes de TSE e TSI, descrevendo valores fora do padrão até então observado (dados não apresentados), indicando algum problema com os sensores. Vale destacar, ainda, que de modo geral, 60% do calor que entra durante o dia no modelo, sai durante o período noturno (Gráfico 12).

A respeito da taxa de transmissão de calor no modelo CPV, durante o dia, os valores da taxa de transmissão de calor do ponto “a”, em geral, foram maiores do que nos pontos “b” e “c” (Gráfico 13). Ao longo da noite, o comportamento das taxas se

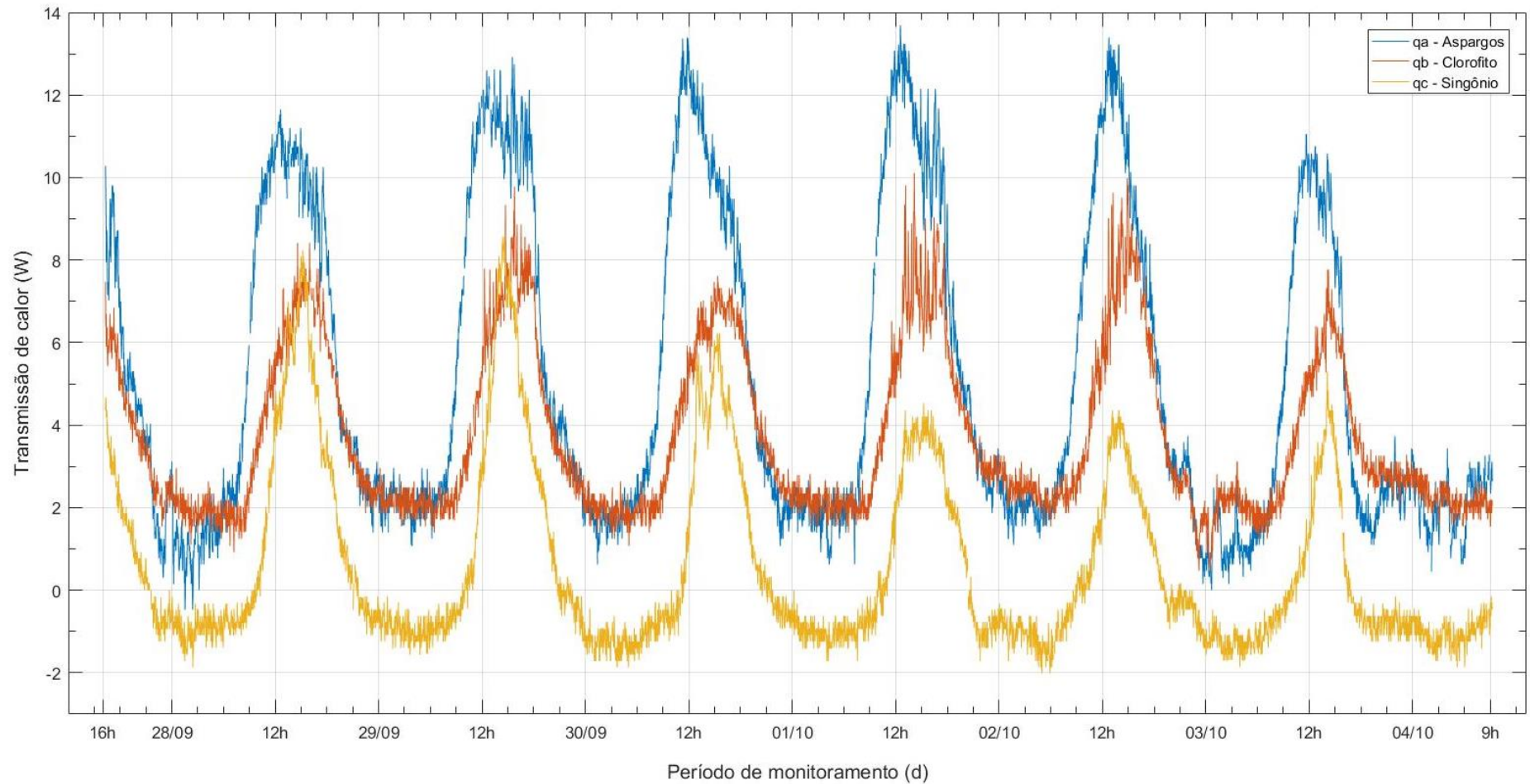
Gráfico 12 – Valores das taxas de condução de calor no modelo SPV durante a Semana 1.



Fonte: Autoria própria (2019).

Legenda: qa: taxa de condução de calor no ponto “a”; qc: taxa de condução de calor no ponto “c”; Obs.: as TSE e TSI do pondo “b” SPV não corresponde com dados reais, por isso qb não é evidenciado.

Gráfico 13 – Valores das taxas de condução de calor no modelo CPV durante a Semana 1.



Fonte: Autoria própria (2019).

Legenda: qa: taxa de condução de calor no ponto “a”, sob influência do Aspargos; qb: taxa de condução de calor no ponto “b”, sob influência do Clorofito; qc: taxa de condução de calor no ponto “c”, sob influência do Singônio.

mantém similares ao período diurno, em “a” valores mais altos e em “c” valores mais baixos (Gráfico 13). Ainda quanto ao Gráfico 13, é possível dizer que a amplitudes das taxas foram menores no ponto “b” (ponto sob influência do Clorofito), resultando que pode ser justificado pela posição dos sensores desse ponto que estão a somente 7cm da cobertura, sendo assim mais suscetível ao sombreamento causado pelas telhas. A partir dos comportamentos analisados pode-se dizer que a espécie que demonstrou ter maior capacidade de isolamento térmico foi o Singônio, uma vez que, as taxas de transferência de calor sob influência do Clorofito e Aspargos foram mais altas.

A partir da Equação 17, obteve-se a maior diferença entre as taxas de transferência de calor (Gráfico 14) e verificou-se que a maior diferença foi entre os pontos “c” do modelo CPV (ponto sob influência do Singônio) e do modelo SPV, 12,0W às 11:22 do dia 30/09. Já a diferença entre os pontos “a” dos modelos SPV e CPV, mesmo horário e data, foi de -4,8W (Gráfico 14). Essas diferenças das taxas de transmissão de calor entre os pontos dos modelos SPV e CPV denotam o quanto de calor é retido pela parede verde.

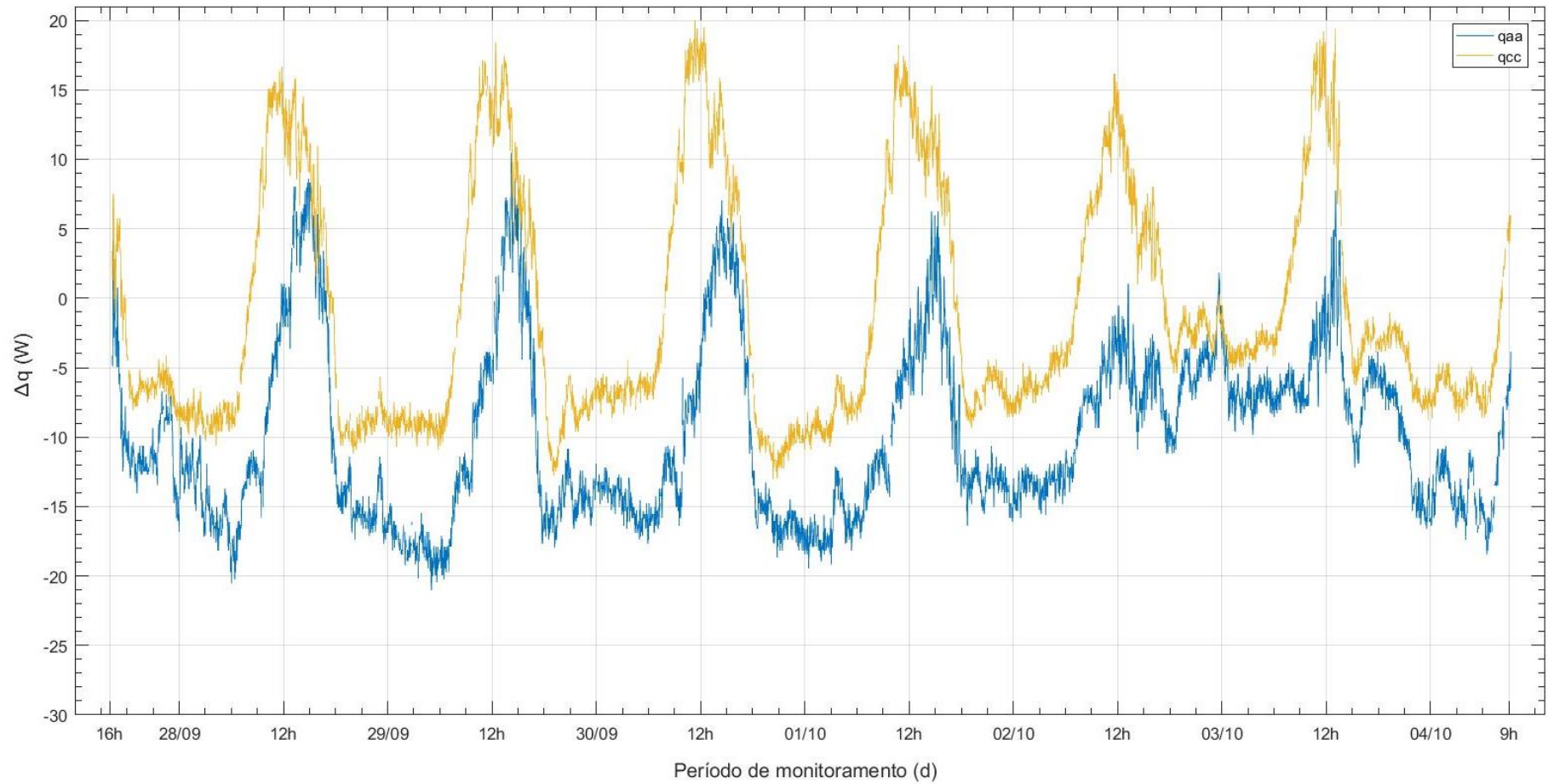
$$\Delta q = q_{SPV} - q_{CPV}, \quad (17)$$

Nesse sentido, a menor carga térmica entrando no módulo CPV, no ponto sob o Singônio, pode promover uma diminuição da necessidade de climatização artificial, levando à economia no consumo de energia. Para a estimativa dessa economia no bloco S da UTFPR, calculou-se o fluxo de calor utilizando a Equação 18.

$$\dot{q} = \left[\frac{q_{xPV}}{A} \right] * 12, \quad (18)$$

Fazendo o cálculo para o fluxo de calor para ambos os sistemas com os valores máximos das taxas de transmissão de calor obteve-se, para o ponto “a” do modelo SPV de 208,8W/m² e 120,9W/m² passando pelo Aspargos, ou seja, ponto “a” no modelo CPV. Já, para o ponto “c” do modelo SPV o fluxo foi de 201,6W/m², enquanto no ponto sob plantas de Singônio, foi de 39,7W/m². Assim, pode-se concluir que o Aspargos promoveu um amortecimento térmico de 42,1% e o Singônio de 80,3%. Pan e Chu (2016 apud MONTANARI; LABAKI, 2017) citam uma economia diária de 16% no consumo de energia com o uso de paredes verdes em Hong Kong, nos meses mais quentes do ano. Uma economia de energia de 37% anualmente também já foi estimada (DJEDJIG et al., 2017 apud MONTANARI; LABAKI, 2017), o que reforça a perspectiva de ampliar o uso dessa tecnologia nos prédios em áreas altamente urbanizadas, concentradoras de calor.

Gráfico 14 – Diferença entre as taxas de condução de calor dos pontos “a” e “c” dos modelos SPV e CPV.



Fonte: Autoria própria (2019).

Legenda – q_{aa} : diferença entre as taxas de condução de calor no ponto “a” dos modelos SPV e CPV; q_{cc} : diferença entre as taxas de condução de calor no ponto “c” dos modelos SPV e CPV

6 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados, pode-se dizer que o sistema de parede verde se mostrou eficiente a respeito do desempenho térmico na fachada norte. O sistema promoveu, de modo geral, uma atenuação de cerca de 4°C na temperatura interna do modelo SPV e 10°C no modelo CPV ao longo da Semana 1. Já na Semana 2, em geral, a atenuação térmica foi de 2°C no modelo SPV e 11°C no modelo CPV. Entre os modelos SPV e CPV, as diferenças das temperaturas internas foram de 8°C e 10°C nas Semanas 1 e 2, respectivamente.

A partir das temperaturas das superfícies externas (TSE), internas (TSI) dos modelos SPV e CPV, pode-se dizer que a parede verde promoveu um isolamento térmico satisfatório, tanto no período diurno quanto no noturno. Além disso, o atraso térmico promovido pelo revestimento convencional (SPV) foi de cerca de 2h nos pontos analisados ao longo das duas semanas de monitoramento. Já com relação ao modelo CPV, a cobertura vegetal nas TSE e TSI foi de 1h para o Aspargos, 1,5h para o Clorofito e 2h pelo Singônio. O atraso térmico máximo entre TSE e TSI do modelo CPV ocorreu no dia 08/10 no ponto sob influência do Singônio com valor de 4,1h.

Com relação às taxas de transmissão de calor, na Semana 1, o Singônio contribuiu para uma diferença máxima de taxa de transmissão de calor de 12,0W em comparação com o ponto “c” do modelo SPV, enquanto o Aspargos contribuiu com uma diferença máxima de 4,5W, com ambas as diferenças ocorrendo no horário das 09:00 às 15:00 (horário de maior incidência solar). Foi possível inferir também uma redução de 42,1% do calor sob o Aspargos e uma redução de 80,3% do calor sob o Singônio.

A partir desses resultados, pode-se dizer que todas as espécies obtiveram resultados significativos quanto à transferência de calor através da parede verde. Dentre as espécies estudadas, o Singônio demonstrou características superiores às outras espécies quanto ao isolamento térmico. No entanto, os critérios de escolha das espécies que constituem os sistemas de jardins verticais não se limitam aos aspectos de transferência de calor. Aspectos como a composição paisagística também devem ser levados em consideração, por isso instalar diversas espécies e com posições predefinidas promovendo um arranjo mais belo são frequentemente vistos nos sistemas instalados.

A respeito do sistema de coleta de dados, pode-se dizer que tanto os sensores de temperatura DS18B20 utilizados, quanto a placa de prototipagem Arduino, dentro das incertezas de medida, apresentaram valores em geral confiáveis e tornaram a

coleta e o processamento de dados mais facilitados, já que os dados puderam ser coletados ininterruptamente ao longo do monitoramento. Sugere-se um cuidado especial na instalação dos sensores e na aquisição de dados. Propõe-se para trabalhos futuros, além da estimativa do consumo energético em comparação com sistemas de ar condicionado, uma implementação no código do Arduino que permita o descarregamento à distância e o acompanhamento dos dados coletados em tempo real.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro: Moderna, 2005. 36 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15567**: Folhas de alumínio e suas ligas - Barreiras de radiação térmica para uso em edificações - Instalação. Rio de Janeiro: Moderna, 2008. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 16401**: Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários. Parte 2: Parâmetros de conforto térmico. 3. ed. Rio de Janeiro: Moderna, 2017. 79 p.

BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. de C. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC: Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 114-124, jun. 2016. Disponível em: <http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8646304>. Acesso em: 27 set. 2019.

BLANC, P. **Vertical Garden - Patrick Blanc**. 2018. Disponível em: <https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/node/4676>. Acesso em: 18 set. 2019.

CAETANO, F. D. N. **Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2014. Disponível em: http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/258059/1/Caetano_FernandoDursoNaves_M.pdf. Acesso em: 15 nov. 2019.

CRUCIOL BARBOSA, Murilo; FONTES, Maria Solange G. de C. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC PESQUISA EM ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO**, Campinas, SP, v. 7, n. 2, p. 114-124, jun. 2016. ISSN 1980-6809. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8646304>. Acesso em: 30 set. 2019.

DE PAULA, R. Z. R. **A influência da vegetação no conforto térmico do ambiente construído**. 2004. 110 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

GIGLIO, T. G. F.; BARBOSA, M. J. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 91-103, jul. 2006. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3715/2061>. Acesso em: 29 ago. 2019.

INCROPERA, F. P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7. ed. Hoboken, NJ: John Wiley, 2011.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 17 out. 2019.

- LIMA, L. F. **Estudos de eficiência energética em aparelhos condicionadores de ar e técnicas para redução da carga térmica nas edificações**. 2017. 132 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.
- MANSANI, A. F.; SANTOS, L. R.; BERTEQUINI, A. B. T. Paredes verdes em edifícios. In: ENCONTRO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 18., 2018, Toledo. **Anais...** Toledo: Unitoledo, 2018. p. 1-14. Disponível em: <https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/2172/1/PAREDES%20VERDES%20EM%20EDIF%20C%20CIOS.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2019.
- MONTANARI, Ketlin Bruna; LABAKI, Lucila Chebel. Comportamento térmico de ambientes internos sob a influência de envoltórias verdes. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 3, p. 181-193, set. 2017. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8650241>>. Acesso em: 21 nov. 2018. doi:<http://dx.doi.org/10.20396/parc.v8i3.8650241>
- MONTENEGRO, G. A. (Autor) **Ventilação e cobertas: A arquitetura tropical na prática**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2019. 144 p.
- MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. (Autor). **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009, 800 p.
- MORELLI, D. D. O. **Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática**. 2016. 161 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- OLIVEIRA, P. L.; SOARES, R. G.; SANTOS, S. X. Desempenho térmico das edificações: estudo comparativo entre o telhado verde e outros tipos de coberturas. **Revista Petra**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, p.36-55, jul. 2016.
- SAI GRAFITE, ENTRA MURO VERDE: A NOVA CARA DA 23 DE MAIO. **Jornal São Paulo Zona Sul**, São Paulo, 13 abr. 2017. Urbanismo. Disponível em: <https://jornalzonasul.com.br/sai-grafite-entra-muro-verde-nova-cara-da-23-de-maio/>. Acesso em: 19 set. 2019.
- SANTA CATARINA. Ministério do Meio Ambiente. UFSC (Org.). **PROJETEEE – Projetando Edificações Energeticamente Eficientes**. 2019. Disponível em: <<http://projeteee.mma.gov.br/glossario/atraso-termico/>>. Acesso em: 30 jul. 2019.
- SCHERER, M. J.; ALVES, T. S.; REDIN, J. Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, v. 7, n. 1, p. 84-101, out. 2018. Disponível em: <https://seer.imed.edu.br/index.php/arqimed/article/view/2693>. Acesso em: 02 dez. 2019.
- SEIXAS, C. D. S. **Efeito do uso de parede verde na temperatura interna de bloco construído com tijolo cerâmico**. 2019. 45 f. Monografia (Graduação em

Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2019.

SORTE, P. D.B. **Simulação térmica de parede verdes compostas de vegetação nativa do cerrado**. 2016. 120 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SOUZA, N. A.; JASMIM, J. Crescimento de singônio com diferentes tutores e substratos à base de mesocarpo de coco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p.39-44, jan-mar 2004.

WALLGREEN. Disponível em: <https://www.wallgreen.com.br/>. Acesso em: 30 ago. 2019.

ZHANG, J.; LI, H.; OLANIPEKUN, A. O.; BAI, L. A successful delivery process of green buildings: The project owners' view, motivation and commitment. **Renewable Energy**, v. 1, n. 138, p.651-658, jan. 2019.