

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CÂMPUS
LONDRINA**

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

LUTIANO PRATO DE ASSIS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES VERDES
NA ATENUAÇÃO DA TEMPERATURA EM AMBIENTES INTERNOS,
NO OUTONO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LONDRINA 2020

LUTIANO PRATO DE ASSIS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES VERDES
NA ATENUAÇÃO DA TEMPERATURA EM AMBIENTES INTERNOS,
NO OUTONO**

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

Co-orientadora: Profa. Dra. Sueli Tavares de Melo Souza

LONDRINA 2020



TERMO DE APROVAÇÃO**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC****AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAREDES VERDES NA ATENUAÇÃO DA TEMPERATURA EM AMBIENTES INTERNOS, NO OUTONO**

Por

Lutiano Prato de Assis

Monografia apresentada às 15 horas do dia 08 de dezembro de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Profa. Kátia Valéria Marques Cardoso Prates	Membro
Prof. Aulus Roberto Romão Bineli	Membro
Profa. Patrícia Carneiro Lobo Faria	Orientador
Prof. Orlando de Carvalho Junior	Professor(a) responsável TCCII

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, minha mãe Rachelina e ao meu pai José Luiz, meus maiores exemplos de vida, que me deram a oportunidade de fazer um curso de graduação, e me incentivaram em todos os momentos difíceis que passei, dando todo amor, suporte e carinho necessários durante toda minha vida.

Agradeço aos meus avós, dona Vitória e seu José Luiz, e à minha nona Dona Maria, por todo carinho e apoio ao longo desse período. Aos meus irmãos Giulia e Pietro, que com todas as brincadeiras, foram importantíssimos para a conclusão dessa caminhada. Gostaria de agradecer à minha namorada Mariana, por todo apoio, suporte e ajuda, tanto nos momentos bons quanto nos ruins, pois sempre esteve ao meu lado me auxiliando durante todo esse processo, e me dando forças para continuar. Não poderia deixar de mencionar meus cachorros, Billy, Julie e Sansão, que me trouxeram alegria em todos os momentos que passamos juntos.

Aos meus amigos, que se tornaram parte da minha família ao longo de todos esses anos, e foram fundamentais em todos os momentos, bons ou ruins, sempre me incentivando e proporcionando vários momentos de risadas e zueiras que fizemos juntos, um forte abraço a todos, em especial à minha família do 13, Mari e Will, e Pedro.

Gostaria de deixar meus agradecimentos e reconhecimento a todos os professores, servidores e funcionários, que me proporcionaram momentos de grandes aprendizados e crescimento, tanto profissional quanto pessoal, que tornam a UTFPR Londrina, um centro de excelência de ensino, em especial às minhas orientadoras, Profa. Dra. Patrícia Lobo e Profa. Dra. Sueli Souza, que sempre se mostram presentes em todos os momentos, me incentivando, com alguns puxões de orelha é verdade, mas que foram essenciais para que eu atingisse meus objetivos, aprendi muito com vocês, tanto no âmbito profissional, quanto no pessoal, foi de muito valor esses quase dois anos que passamos juntos no projeto e durante a monografia, muito obrigado.

Deixo meu registro de gratidão ao professor Roger Nabeyama, e aos alunos Leonardo Galice e Guilherme Vieira, que proporcionaram todo suporte técnico necessário para realização das coletas de dados. A UTFPR como um todo, em especial ao PROGRAD/PROREC, que contemplaram o projeto com uma ajuda de custo, bem como a empresa WallGreen, que forneceu o módulo de parede verde utilizado.

Por fim gostaria de agradecer a Deus, por me proporcionar toda força de vontade necessária para mesmo em momentos difíceis, não desistir de realizar o sonho de terminar a graduação.

DE ASSIS, Lutiano Prato. **Avaliação do desempenho térmico de paredes verdes na atenuação de temperatura em ambientes internos, no outono**. 2020. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

RESUMO

O uso de paredes verdes vem se apresentando como uma tecnologia sustentável, tornando-se uma opção viável para o controle de temperatura interna de edificações. O objetivo desse trabalho consistiu em avaliar, durante o outono, a contribuição dos diferentes componentes de um sistema de parede verde (substrato, irrigação e vegetação), na atenuação térmica de um modelo construído (escala 1:12), utilizando 3 espécies de plantas herbáceas: Aspargo-pendente, Singônio e Clorofito. Foi utilizado o sistema de parede verde modular da empresa WallGreen. Na primeira etapa do experimento foi utilizado o módulo de parede verde contendo apenas o substrato, sem irrigação e sem vegetação. Na segunda etapa, o sistema recebeu irrigação por gotejamento, com vazão média de 37ml/min, por 30 minutos, 3 vezes ao dia. Na terceira etapa, as plantas foram implementadas sendo 9 de cada espécie. Os valores de temperatura foram registrados a cada 5 minutos, com uso do Arduino-Mega, a partir de 9 sensores (modelo DS18B2), que monitoraram: temperatura externa (TEXT); temperatura interna do bloco com parede verde (TINT BPV) e do bloco sem parede verde (TINT BSPV); temperatura do substrato e junto à folhagem em 3 pontos (A, B e C) dispostos na parede da face norte do BPV. Na primeira etapa, com ausência de irrigação, a média de temperatura máxima do substrato foi de 46,5°C, muito acima da TEXT (média máxima de 31,1°C), porém não interferiu na média de temperatura máxima interna do BPV. Já, com a irrigação, a média de temperatura máxima do substrato foi de 31,3°C, semelhante à temperatura externa (30,8 °C), isso fez com que a média da TINT máxima do BPV ficasse 1,1 °C mais amena que a do BSPV. Durante o outono, o comportamento da TINT BPV (modelo completo, com as plantas) se mostrou muito semelhante à TINT BSPV. Os principais resultados observados pela presença da parede verde foram: i) atenuação da temperatura interna em até 2°C, no horário de pico de temperatura máxima, quando comparada com o BSPV e de até 7°C com relação à TEXT, entre 9h e 14h; ii) amortecimento médio para TMAX de 3,6°C no BPV, e de 2,2°C no BSPV; iii) atraso térmico médio de cerca de 1h, tanto em situações de máximas quanto de mínimas temperaturas, quando comparado com a temperatura externa; iv) amplitude térmica média de 7,8 °C, em comparação ao modelo sem parede verde, que foi de 9°C e à da temperatura externa, próximo de 15°C. Não se observou diferenças na temperatura junto à folhagem das três espécies utilizadas. Concluiu-se que, mesmo no outono, a parede verde se mostrou eficiente em promover uma atenuação térmica que garanta o conforto no interior da edificação, contribuindo para uma possível economia de energia, ao reduzir o uso de aparelhos de ar-condicionado.

Palavras-chave: Jardim vertical. Tecnologia sustentável. Edificações. Conforto térmico.

DE ASSIS, Lutiano Prato. **Evaluation of green walls thermal performance in internal temperatures attenuation, in autumn.** 2020. 74 p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

ABSTRACT

The use of green walls is a sustainable technology, that is becoming a viable option for controlling edifications internal temperature. The objective of this paper consisted in evaluate, on autumn, the contribution of the green wall different components, as substrate, irrigation, and vegetation, in the internal temperature attenuation on one constructed model (scale 1:12), three different herbaceous plants were used: Asparagopendente, Singônio e Clorofito. The modular green wall system used was fabricated by the WallGreen company. On the first stage of the experiment, the green wall module received only the substrate, without irrigation and vegetation. An irrigation dripping system was installed, which provided a 37l/min rate of irrigation, for 30 minutes, 3 times a day, configuring the second stage of the experiment. At last, in the third stage, 9 individuals of each species were implemented. In every 5 minutes the temperature values were registered using the Arduino Mega, by 9 sensors (DS18B2 model), that monitored: external temperature (TEXT); internal temperature in the model with the green wall (TINT BPV) and in the model without the green wall (TINT BSPV); The temperatures on the substrate and in between the leaf's were measured in three points (A, B, C) disposed on the north faced of the BPV. In the first stage, without irrigation, the substrate maximum temperature average was about 46.5°C, showing higher values when compared to the TEXT (maximum average of 31.1°C), however did not interfere on the internal maximum temperature average of the BPV. The substrate maximum temperature average was about 31.3°C, similar to the external temperature (30.8°C), when the irrigation system was installed, this made the TINT maximum average on the BPV to be 1,1°C more pleasant when compared to the BSPV, on average. On autumn, the TINT BPV (with vegetation) was similar to the TINT BSPV. The main results provided by the green wall presence were: i) internal temperature attenuation up to 2°C, in the higher temperature hours, when compared to the BSPV, and up to 7°C when compared to the external temperature, between 9h to 14h; ii) average thermal damping of 3.6°C on the BPV, and 2.2°C on the BSPV; iii) thermal lag of 1 hour on average, either in maximum or minimum temperatures situations, when compared to the external temperature; iv) thermal amplitude of 7.8°C on the BPV, when compared to the BSPV, which showed a 9°C amplitude, and to the external temperature, with a 15°C on average. The three different species did not show any differences in the temperature between the leaf's, were the average maximum temperatures were about 28°C, similar to the external temperature (26,8°C). In conclusion, even on autumn, the green wall showed an efficiency on promoting a thermal attenuation, which improved the edification internal comfort, contributing to a possible energy economy, reducing the use of air-conditioner.

Keywords: Vertical garden. Sustainable technology. Edification. Thermal comfort.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Radiação emitida por um corpo negro para diferentes temperaturas ..	18
Figura 2 -	Reflexão especular e difusa	19
Figura 3 -	Radiação solar incidente na superfície terrestre (%).....	21
Figura 4 -	Sistema de telhado verde extensivo	24
Figura 5 -	Sistema de telhado verde intensivo	24
Figura 6 -	Camadas que constituem o telhado verde.....	25
Figura 7 -	Irrigação por aspersão	26
Figura 8 -	Classificação de sistemas de paredes verdes	27
Figura 9 -	Fachada verde direta	28
Figura 10 -	Fachada verde indireta	28
Figura 11 -	Parede verde no museu Quai Branly em Paris	30
Figura 12 -	Componentes de um sistema in situ com substrato.....	30
Figura 13 -	Componentes de um sistema in situ hidropônico.....	31
Figura 14 -	Módulos utilizados em sistemas pré-fabricados de jardins verticais	32
Figura 15 -	Telhado verde no edifício da Fundação Casper Libero em São Paulo	34
Figura 16 -	Parede verde no edifício Mariano Torres em Curitiba.....	34
Figura 17 -	Plantas mortas em um sistema de parede verde implantada em São Paulo	35
Figura 18 -	Mecanismos de atenuação térmica, proporcionado por um sistema de parede verde	36
Figura 19 -	Espécies comumente utilizadas em paredes verdes	39
Figura 20 -	Espécies de pleno sol e meia sombra indicadas para paredes verdes	39
Figura 21 -	Modelos utilizados, ainda sem implantação do módulo de parede verde	43
Figura 22 -	Módulo de parede verde pré-moldado da empresa WallGreen instalado no modelo construído.....	44
Figura 23 -	Modelos construídos com e sem a implementação do módulo de parede verde	44
Figura 24 -	Vista do experimento com módulo contendo apenas substrato, instalado no BPV	45
Figura 25 -	Sistema modular de parede verde com a vegetação implantada no início	

	do experimento	46
Figura 26 -	Desenho esquemático da localização dos sensores nos modelos construídos e do dimensionamento dos mesmos.	47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 -	Comportamento da temperatura nos ambientes externo e interno aos modelos construídos, com e sem o módulo de parede verde, apenas com o substrato sem irrigação	49
Gráfico 2 -	Comportamento da temperatura nos ambientes externo e interno aos modelos construídos, com e sem o módulo de parede verde, apenas com o substrato irrigado.....	50
Gráfico 3 -	Distribuição de frequência das diferenças de temperatura interna e externa, com a utilização do módulo apenas com o substrato, com e sem irrigação	51
Gráfico 4 -	Variação de temperatura no substrato do módulo nas etapas sem e com irrigação nos 3 pontos de medição do BPV	54
Gráfico 5 -	Comportamento da temperatura nos ambientes externo e interno aos modelos construídos, com e sem o módulo de parede verde com a vegetação.....	56
Gráfico 6-	Distribuição de frequência das diferenças de temperatura interna e externa em 2 dias com a utilização do módulo com vegetação	57
Gráfico 7 -	Comportamento da temperatura em dias típicos de maio, utilizando módulo com vegetação no BPV	59
Gráfico 8 -	Comportamento da temperatura no substrato para módulo com Vegetação no BPV	60
Gráfico 9 -	Variação de temperatura atrás da folhagem de 3 espécies no módulo BPV	62
Gráfico 10 -	Variação de temperatura no substrato e entre a folhagem no módulo com vegetação, no dia 08/05, nos 3 pontos de medição do BPV	63
Gráfico 11 -	Variação de temperatura no substrato e entre a folhagem no módulo com vegetação, no dia 18/05, nos 3 pontos de medição do BPV	64

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios de temperatura, de amplitude, de amortecimento e de atraso térmicos em blocos construídos, com e sem irrigação, com influência de um módulo de parede verde com e sem vegetação.....52
- Tabela 2 - Valores médios para temperatura no substrato e entre a folhagem no BPV, nos 3 pontos de medição61

LISTA DE ABREVIações

AMOT-TMAX	Amortecimento térmico para temperaturas máximas
AMOT-TMIN	Amortecimento térmico para temperaturas mínimas
AMP TER	Amplitude térmica
AQUA	Alta Qualidade Ambiental
ATR TER	Atraso Térmico
BPV	Bloco Parede Verde
BSPV	Bloco Sem Parede Verde
DAAMB-LD	Departamento Acadêmico Ambiental Londrina
EP1	Primeira etapa do experimento
EP2	Segunda etapa do experimento
EP3	Terceira etapa do experimento
FOLH	Folhagem
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
LEED	do inglês <i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
LEED OP	do inglês <i>Leadership in Energy and Environmental Design operational</i>
MIN	Mínimo
MAX	Máximo
NBR 15220	Norma Técnica Brasileira 15220
PROCEL EDIFICA	Programa nacional de eficiência energética em edificações
SUB	Substrato
TEXT	Temperatura Externa, ou do ambiente
TINT	Temperatura Interna dos modelos construídos
TMAX	Temperatura Máxima
TMIN	Temperatura Mínima
TFOLH	Temperatura entre a Folhagem
TSUB	Temperatura no Substrato
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UTFPR-LD	Universidade Tecnológica Federal do Paraná Câmpus Londrina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	<i>Geral.....</i>	16
2.2	<i>Específicos.....</i>	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1	<i>Transferência de calor em edificações.....</i>	17
3.2	<i>Sistemas vegetados em edificações.....</i>	22
3.2.1	<i>Coberturas verdes.....</i>	23
3.2.2	<i>Paredes verdes</i>	26
3.2.3	<i>Fachadas verdes.....</i>	27
3.2.4	<i>Parede verde (Jardim vertical).....</i>	29
3.3	<i>Papel das Plantas no Controle Microclimático</i>	35
3.4	<i>Benefícios proporcionados pela parede verde em construções e edificações, contemplados por certificações e legislações ambientais..</i>	39
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.1	<i>Características dos modelos construídos.....</i>	43
4.2	<i>Influência do substrato sem irrigação na atenuação térmica do BPV</i>	44
4.3	<i>Influência do substrato irrigado na atenuação térmica do BPV.....</i>	45
4.4	<i>Influência do módulo de parede verde (substrato irrigado com vegetação) na atenuação térmica do BPV</i>	46
4.5	<i>Instrumentação para coleta de dados e monitoramento.....</i>	47
4.6	<i>Cálculo dos parâmetros analisados.....</i>	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	<i>Influência do substrato com e sem irrigação no comportamento térmico do BPV.....</i>	49
5.2	<i>Temperatura do substrato no módulo de parede verde (sem plantas) no experimento com e sem irrigação.....</i>	53

5.3	<i>Influência da vegetação no comportamento térmico do BPV</i>	55
6	CONCLUSÃO	68
	REFERÊNCIAS	69

1 INTRODUÇÃO

A partir da revolução industrial houve uma intensa migração populacional para os centros urbanos, que proporcionaram uso e ocupação inapropriado do solo, levando a altas taxas de impermeabilização e diminuição de áreas verdes (RAMIRES; MELLO-THÉRY, 2018). Sabe-se que a diminuição dessas áreas e utilização excessiva de concreto, material que possui capacidade de absorver calor, é capaz de gerar zonas superaquecidas, denotadas como ilhas de calor, o que comprova a necessidade de soluções sustentáveis que mitiguem os efeitos desse aquecimento (RIBEIRO, 2016).

Uma das possíveis soluções para a redução de zonas superaquecidas compreende tanto a criação quanto o aumento de áreas verdes nos ambientes urbanos. No entanto, a disponibilidade dessas áreas para recomposição da vegetação no meio urbano é escassa, uma vez que praças, parques e fundos de vale são considerados os principais locais públicos de áreas verdes (DI FIDIO 1990 apud LOBODA; ANGELIS, 2005). Em vista disso, uma alternativa a essa falta de espaço consiste na aplicação de sistemas vegetados em paredes e telhados de habitações novas ou já existentes, possibilitando uma atenuação da temperatura interior, redução das ilhas de calor, melhoria da qualidade do ar e diminuição de ruído (FEITOSA; WILKINSON, 2018).

O uso de paredes verdes promove a melhoria da eficiência energética das edificações, reduzindo a temperatura interna dos ambientes e diminuindo a necessidade de refrigeração. Além disso, melhora a qualidade do ar, uma vez que a vegetação remove parcialmente poluentes transportados pelo ar (MANSANI; SANTOS; BERTEQUINI, 2018).

Ambientes que promovem interações entre seus frequentadores e a vegetação presente no meio, apresentam um impacto positivo na saúde humana, visto que essas interações propiciam um alívio da carga emocional, a redução de estresse e aumentam o foco e atenção das pessoas (PECK et al., 1999).

Atualmente, as empresas de construção civil estão buscando construir edificações sustentáveis, no qual apresentam características e elementos construtivos compreendidos em certificações ambientais, como a certificação LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), PROCEL EDIFICA (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações) e selo da Caixa Econômica Federal (Casa Azul),

que contemplam o uso de sistemas vegetados em paredes e telhados como tecnologia de controle de desempenho térmico e energético (MORELLI, 2016). Alguns estados brasileiros contemplam esse tipo de tecnologia em legislações estaduais e municipais, como São Paulo, Curitiba e Recife.

Na UTFPR-LD é comum a reclamação entre servidores e alunos sobre o desconforto térmico nos blocos S e K, principalmente no verão, sendo necessária a utilização de máquinas térmicas para controle de temperatura. Com a crescente demanda e necessidade de utilização desse tipo de tecnologia, o presente trabalho pretende dar continuidade aos estudos previamente realizados com esses modelos (Seixas, 2019, Silva 2019), em busca de um melhor detalhamento dos benefícios proporcionados pela parede verde, e seus componentes, assim como avaliar o comportamento em outra estação do ano.

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, durante o outono.

2.2 Específicos

1. Caracterizar a influência do sistema de parede verde na atenuação da temperatura interna, utilizando apenas o substrato.
2. Avaliar a influência do sistema de parede verde na atenuação da temperatura interna do módulo utilizando somente o substrato com irrigação;
3. Caracterizar o desempenho do sistema de parede verde, com o uso de três espécies diferentes, avaliando a temperatura junto à folhagem.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 *Transferência de calor em edificações*

O processo de absorção da radiação ocorre por meio de transferência de calor, que pode ser definida como uma energia térmica em trânsito, em virtude da existência de um gradiente de temperatura, assim, sempre que existir uma diferença de temperatura entre dois pontos, deverá ocorrer a transferência de calor entre esses, até que ocorra o equilíbrio térmico, ou seja, que esses dois pontos alcancem a mesma temperatura (INCOPERA et al., 2011).

A transferência de calor pode ocorrer entre dois meios, ou em um único meio, desde que exista uma diferença de temperatura entre eles. Existem três mecanismos conhecidos que realizam a transferência de calor, que correspondem: condução, convecção e radiação (INCOPERA et al., 2011). Esses processos ocorrem de maneira espontânea, de modo que o fluxo da transferência de calor sempre será do meio de maior temperatura, para o meio de menor temperatura, buscando o equilíbrio térmico.

O mecanismo de transferência de calor por condução, ocorre dentro de um meio ou entre dois meios, desde que estejam em contato direto. A partir da absorção de calor por moléculas e átomos, ocorre o aumento da energia cinética dos mesmos. A condução de calor entre as moléculas e átomos com maior energia cinética para os de menor energia cinética ocorre por meio da colisão dessas partículas, até atingir o equilíbrio térmico (INCOPERA et al., 2011).

Já no mecanismo de convecção, é necessária a presença de um fluido, uma vez que o mesmo ocorre gerando movimento do fluido. Quando ocorre a incidência de calor em um fluido, como por exemplo o aquecimento de um líquido em um recipiente, a parte do fluido mais próxima à fonte de calor irá aumentar sua temperatura mais rapidamente. A partir desse aumento de temperatura, o fluido irá diminuir sua densidade (massa específica). Com isso o fluido fica mais leve, e tende a subir, já o fluido com menor temperatura, na parte superior do recipiente, tende a descer, e assim por diante, gerando um movimento interno do fluido (INCOPERA et al., 2011).

O mecanismo de transferência de calor por radiação, consiste na energia emitida por matérias que apresentam temperaturas maiores que zero absoluto. Essa

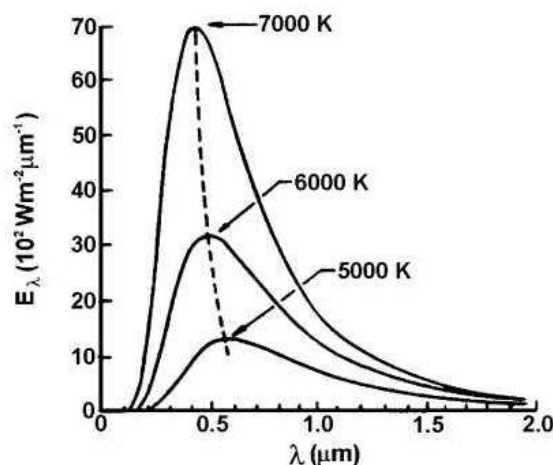
energia emitida se propaga por ondas eletromagnéticas, não precisando de nenhum tipo de matéria para se propagar, ocorrendo esse tipo de transferência de calor até no vácuo, ambiente no qual esse processo se mostra mais eficiente (INCOPERA et al., 2011). É por meio desse mecanismo de transferência de calor que a atmosfera e a superfície terrestre recebem a energia térmica irradiada pelo sol (GRIMM, 1999).

Para se observar os processos de absorção, por meio dos mecanismos de transferência de calor, que ocorrem entre a energia térmica emitida pelo sol e as superfícies terrestres, se faz necessária a observação dessas relações em uma superfície ideal, chamada de corpo negro, que serve como parâmetro para as outras superfícies.

Por ser considerada uma superfície ideal, o corpo negro apresenta características como: 1) é capaz de absorver toda radiação incidente, independentemente de sua direção e comprimento de onda; 2) para uma determinada temperatura e comprimento de onda, nenhuma superfície é capaz de emitir mais energia que o corpo negro; 3) é capaz de emitir a mesma intensidade de radiação em todas as direções (INCOPERA et al., 2011).

A partir da lei de Planck, foi possível determinar o poder de emissão de radiação de um corpo negro, que depende de sua temperatura e do comprimento de onda emitido (INCOPERA et al., 2011) (Figura 1).

Figura 1 - Radiação emitida por um corpo negro para diferentes temperaturas



Fonte: GRIMM, 1999.

Utilizando a lei de Planck foi possível observar importantes comportamentos com relação a sua emissão de radiação, são eles: 1) A radiação emitida varia dentro

do mesmo comprimento de onda; 2) Na medida em que a temperatura aumenta, a quantidade de radiação emitida aumenta; 3) Quanto maior a taxa de emissão de radiação, menor será seu comprimento de onda e maior será sua temperatura (INCOPERA et al., 2011).

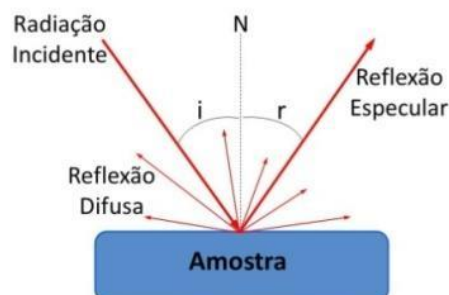
A partir da lei de Planck e utilizando a lei de deslocamento de Wien, estima-se a temperatura de uma fonte de radiação através de seu espectro de emissão. Utilizando-se a lei de Stefan-Boltzmann, conclui-se que fontes com maiores temperaturas possuem um poder de emissão maior que fontes com menores temperaturas (INCOPERA et al., 2011).

O comportamento de emissão de radiação em superfícies reais (emissividade) é diferente do comportamento do corpo negro. A emissividade consiste na divisão entre o poder de emissão de radiação de uma superfície real pelo poder de emissão de radiação do corpo negro. Para superfícies reais, a emissividade pode variar de acordo com o comprimento de onda emitida, bem como sua direção de propagação (INCOPERA et al., 2011).

Do mesmo modo, define-se como absortividade a diferença entre a irradiância absorvida pela irradiância total na superfície, essa propriedade também é influenciada pela direção e pelo comprimento de onda da radiação incidente (INCOPERA et al., 2011).

A reflexividade por sua vez é definida pela fração de radiação refletida pela superfície em relação à radiação total incidida na mesma. Superfícies difusas refletem a radiação incidida por todas as direções, independentemente do ângulo de incidência. Já, superfícies especulares refletem a radiação com o mesmo ângulo de incidência, como mostra a Figura 2 (INCOPERA et al., 2011).

Figura 2 - Reflexão especular e difusa



Fonte: SOUZA et al., 2013.

Essa radiação incidente pode ser absorvida ou refletida, quando entra em contato com uma superfície opaca, como por exemplo a superfície terrestre. Já quando entra em contato com superfícies não opacas, como por exemplo a atmosfera terrestre, ela pode ser espalhada, refletida e absorvida (GRIMM, 1999).

Apenas 25% de toda radiação incidente no planeta consegue penetrar em nossa atmosfera sem sofrer nenhum tipo de interferência, denotada como radiação direta. O restante sofre interferência da atmosfera, através de fenômenos como o espalhamento, absorção e reflexão. A ocorrência desses fenômenos depende de fatores como o comprimento de onda da radiação e o tamanho das partículas presentes na atmosfera (GRIMM, 1999).

A reflexão ocorre quando a radiação entra em contato com superfícies refletoras, esse potencial de reflexão da radiação por superfícies é denominado como albedo. Superfícies como neve e nuvens possuem um elevado albedo, refletindo mais de 70% da radiação incidente, já superfícies como florestas e solo descoberto refletem entre 10 e 20%. Em geral o albedo da terra como um todo é de 30% (GRIMM, 1999).

O espalhamento da radiação incidente ocorre através das moléculas de gases e aerossóis presentes na atmosfera. Esse fenômeno ocorre por meio de partículas que possuem um diâmetro bem menor que o comprimento de onda da radiação (moléculas de gás da atmosfera), as radiações com menores comprimentos de onda, são as mais afetadas, como a radiação ultravioleta e parte da visível. Já nos casos em que o diâmetro das partículas se aproximam ou excedem do comprimento de onda da radiação, como os pequenos cristais de gelo e gotículas de água que compõem as nuvens, o espalhamento deixa de ocorrer em função do comprimento de onda da radiação, e passa ocorrer de maneira homogênea em todo o espectro de radiação (GRIMM, 1999).

Tanto no caso da reflexão como do espalhamento, a radiação sofre mudanças de direção, já no caso da absorção, a energia presente na radiação incidente é convertida em calor, por meio da transferência de calor, resultando em um aumento do movimento molecular interno. Os principais responsáveis pela absorção da radiação na atmosfera são os gases, entre os quais se destacam: O₂, O₃, H₂O, CO₂, N₂, entre os principais gases absorvedores (GRIMM, 1999).

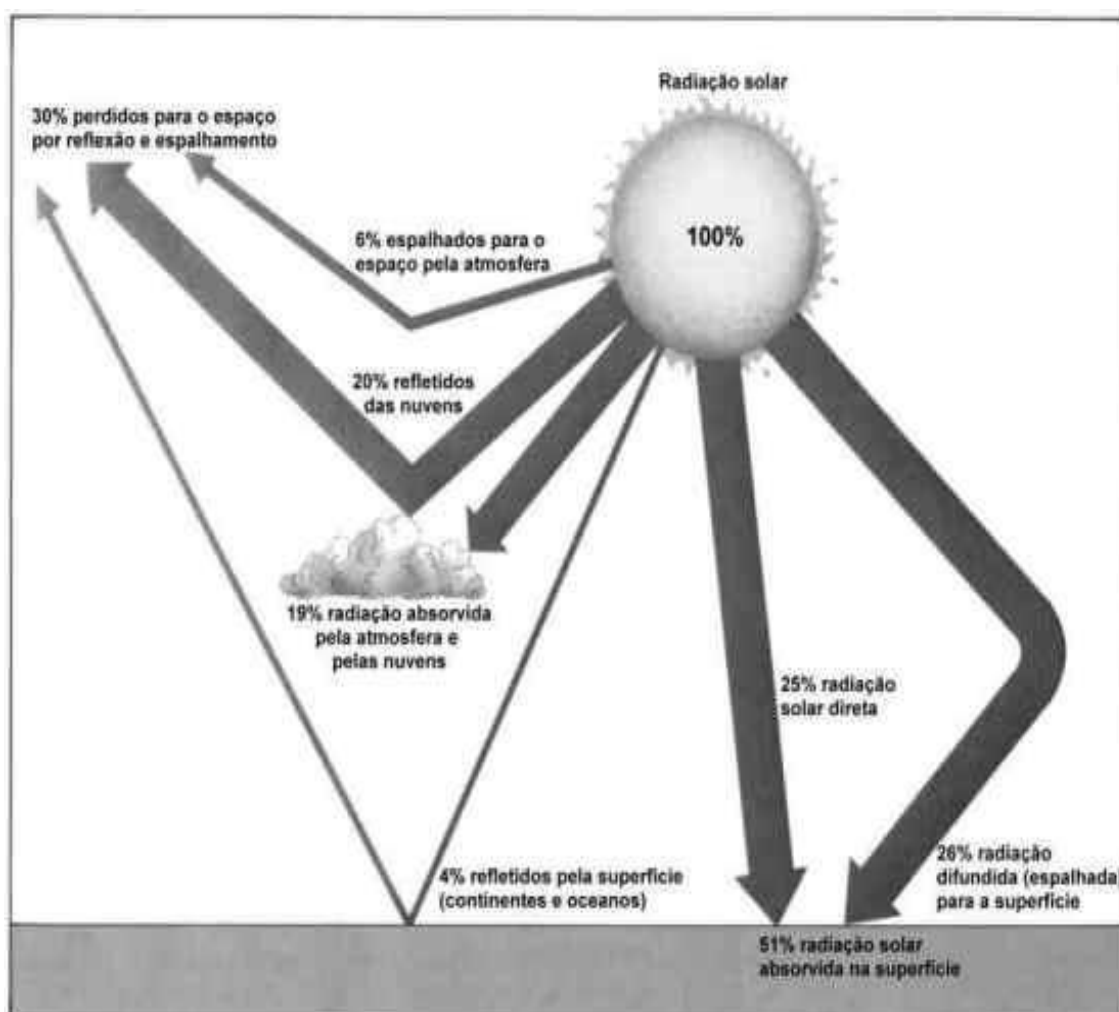
O espectro de radiação eletromagnética emitida pelo sol pode ser dividida em três grandes regiões: ultravioleta (comprimento de onda entre 290nm a 380nm), visível

(comprimento de onda entre 380 nm a 780 nm) e a região do infravermelho próximo (comprimento de onda entre 780 nm a 2.500 nm) (ODUM, 1990).

O nitrogênio e o ozônio são os principais responsáveis pela absorção da radiação ultravioleta, a qual é absorvida praticamente em sua totalidade. O vapor d'água é o principal responsável pela absorção da radiação infravermelha. Já com relação à radiação visível, não existem na atmosfera terrestre gases eficientes para absorver esse tipo de radiação (GRIMM, 1999).

De maneira geral, do total de radiação incidida (55%) na superfície terrestre, 51% é absorvido (Figura 3), promovendo seu aquecimento. Assim, a mesma irá irradiar essa energia absorvida, onde parte será emitida para a atmosfera, que irá irradiar novamente em direção à superfície terrestre, mantendo seu aquecimento (GRIMM, 1999).

Figura 3 - Radiação solar incidente na superfície terrestre (%)



Fonte: GRIMM, 1999.

Em centros urbanos a radiação incidente irá se deparar com superfícies construídas que, de acordo com suas características, apresentam diferentes comportamentos em relação a sua capacidade de armazenamento de calor. Segundo Gartland (2011), uma importante característica dessas superfícies é denominada difusividade térmica, determinada pela razão entre a condutividade térmica e capacidade calorífica do material. De acordo com a mesma autora, superfícies que apresentam “altos índices de difusividade térmica indicam que o calor chega a camadas mais profundas do material, e se mantem mais constantes com o tempo”. Superfícies que utilizam materiais cerâmicos, aço, concreto, rochas ou tijolo, assim como mantas asfálticas são alguns exemplos de superfícies que possuem altas difusividades térmicas (GARTLAND, 2011.).

Analogamente, por serem bons absorvedores, essas superfícies apresentam baixos albedos, diminuindo assim a porcentagem de energia térmica refletida para a atmosfera em centros urbanos (GARTLAND, 2011).

Com isso, a superfície de centros urbanos tende a armazenar uma grande quantidade de energia térmica, que por consequência acarretará em um aumento de sua temperatura. Assim, essas superfícies apresentam um alto poder de emissividade, emitindo essa energia térmica para o ambiente, proporcionando um aumento de temperatura próxima a essas superfícies (GARTLAND, 2011).

Esses fatores contribuem para o surgimento das ilhas de calor em centros urbanos, que consiste no aumento da temperatura ambiente, quando comparada com áreas rurais próximas aos centros urbanos, sendo influenciada pelo aumento da temperatura do ar e das superfícies nessa região (GARTLAND, 2011).

3.2 *Sistemas vegetados em edificações*

Atualmente, empresas de construção civil, juntamente com profissionais das áreas de arquitetura, engenharia e paisagismo estão disponibilizando espaços maiores com áreas verdes em suas edificações, com a finalidade de aumentar a permeabilidade do solo, além de propiciar conforto térmico e visual a seus usuários (MORELLI, 2016).

Em muitos locais, principalmente em regiões metropolitanas, ocorre uma mudança substancial na comunidade de plantas e animais silvestres, como consequência da supressão de áreas verdes em benefício do desenvolvimento

econômico. Isto implica na necessidade de utilização de sistemas vegetados em paredes e telhados de edificações como forma de aumentar as áreas verdes em ambientes urbanos, sem a necessidade da disponibilização de novos locais (DI FIDIO, 1990 apud LOBODA; ANGELIS, 2005).

Edifícios que possuem algum tipo de sistema vegetado proporcionam melhoria no conforto térmico, visto que superfícies externas vegetadas apresentam um potencial de diminuição de temperatura até 20% maior quando comparadas com superfícies externas sem vegetação (KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010).

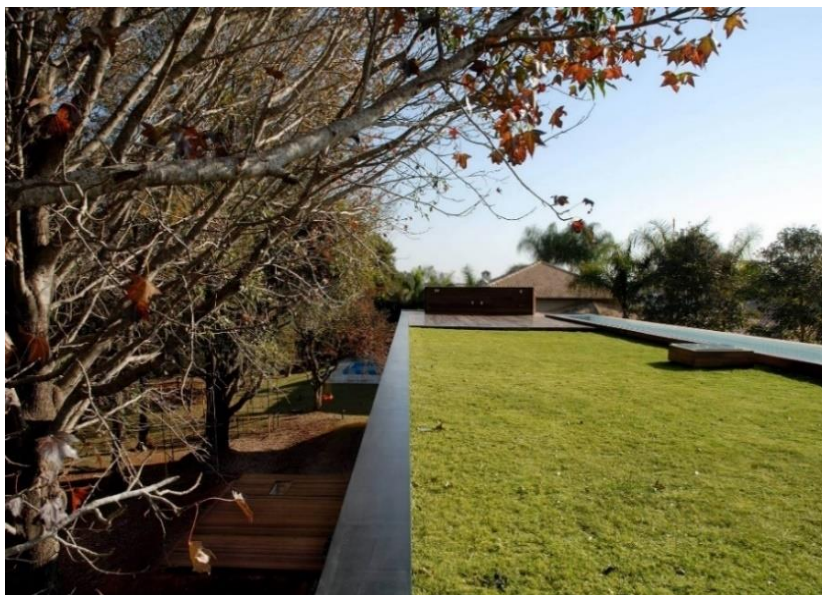
Os sistemas vegetados são comumente separados em dois grupos, o primeiro corresponde à cobertura verde ou telhados verdes, e segundo grupo representa os jardins verticais ou paredes verdes (MORELLI, 2016). Destaca-se que para implementação de qualquer sistema vegetado, deve-se assegurar que os elementos estruturais que compõem a edificação (lajes, vigas, pilares e fundação) sejam capazes de suportar e transmitir a carga adicional promovida pela instalação desses sistemas (COSTA; CARMO, 2020).

3.2.1 Coberturas verdes

Coberturas ou telhados verdes são definidos como espaços verdes em edificações ou construções antrópicas, no qual a vegetação implementada é plantada no substrato presente no local, e não no solo, e podem ser classificados como extensivos e intensivos (PECK et al., 1999).

Espaços com sistemas extensivos (Figura 4) possuem baixa profundidade (entre 5 cm e 15 cm de solo), utilizam espécies de pequeno porte, são resistentes a variações climáticas como ventos fortes e seca, conferindo assim pouco peso à estrutura, e em muitos casos, não é necessária a implementação de um sistema de irrigação (TASSI et al., 2014). Quanto aos sistemas intensivos (Figura 5), estes utilizam espécies de maior porte, podendo ser empregados arbustos e árvores, visto que utilizam uma maior quantidade de substrato (entre 20 cm e 60 cm), necessitando de manutenções periódicas e de um sistema de drenagem e irrigação (PECK et al., 1999).

Figura 4 – Sistema de telhado verde extensivo



Fonte: ECOTELHADO, 2020a.

Figura 5 - Sistema de telhado verde intensivo

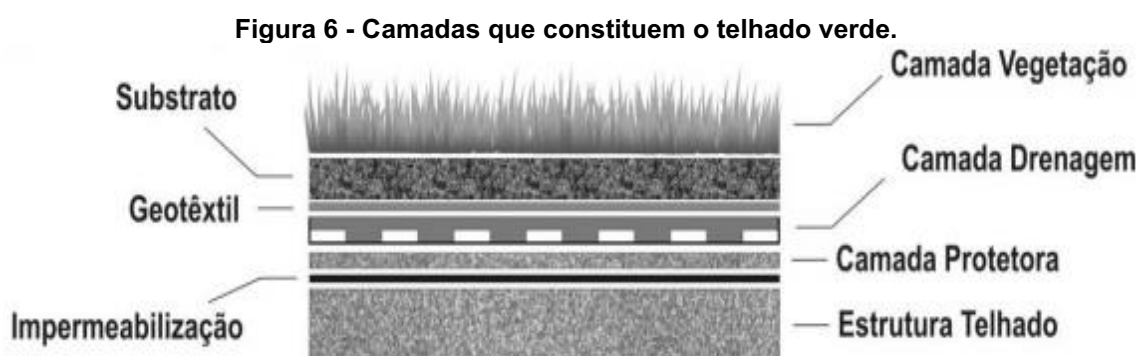


Fonte: BONDE, 2019.

Os benefícios promovidos pela implementação desses sistemas influenciam diretamente na qualidade de vida da população local, proporcionando melhoria na temperatura interna de edificações, bem como no isolamento térmico, além de aumentar a umidade do ar, o que torna o ambiente mais agradável. Além de apresentarem um aspecto similar aos jardins naturais, e dependendo da natureza do projeto, podem ser destinados a áreas de lazer e recreação (YANG; YU; GONG, 2008, ROSENZWEIG; GAFFIN; PARSHALL, 2006; DUNNETT; KINGSBURY, 2008 todos

apud TASSI et al., 2014).

Independentemente do tipo de sistema utilizado, a tecnologia de coberturas verdes possui os mesmos elementos estruturais (Figura 6). De acordo com Tassi e colaboradores (2014), as sete camadas constituintes são: a) camada de vegetação, no qual as espécies escolhidas devem ser apropriadas ao clima da região; b) substrato, camada no qual a vegetação será fixada, fornecendo nutrientes para mesma; c) geotêxtil, confere proteção para camada drenante; d) camada de drenagem, responsável por prevenir alagamentos nos telhados ou excesso de água para vegetação; e) camada protetora, confere proteção a membrana de impermeabilização, impedindo o contato entre a mesma e a umidade presente no substrato; f) camada de impermeabilização, no qual previne o contato entre o telhado e a água; e g) telhado, estrutura construída que deve ser capaz de suportar toda carga exercida pelas demais estruturas.



Fonte: TASSI et al., 2014.

Quando ocorre a necessidade de irrigação nesses sistemas, pode-se utilizar a água captada pela camada de drenagem e complementá-la se necessário com água fornecida pelo edifício. Em muitos casos, tais sistemas são automatizados e operam com um sistema de aspersão (Figura 7) ou gotejamento, evitando a irrigação excessiva e otimizando o consumo hídrico pela vegetação (BIANCHI, 2017).

O substrato utilizado para esse tipo de tecnologia pode variar na sua espessura, dependendo do tipo de sistema a ser implementado, no entanto, sua composição se mantém constante tanto no sistema intensivo quanto no extensivo, fazendo parte de sua composição: solo (terra) e matéria orgânica (SCHERER; ALVES; REDIN, 2018). Outros materiais que podem ser incorporados ao substrato utilizado são: areia, cascalho, tijolo triturado e turfa, que por sua vez, são capazes de conferir maior potencial nutricional ao mesmo (PECK et al., 1999).

Figura 7 - Irrigação por aspersão



Fonte: SANTOS, 2018.

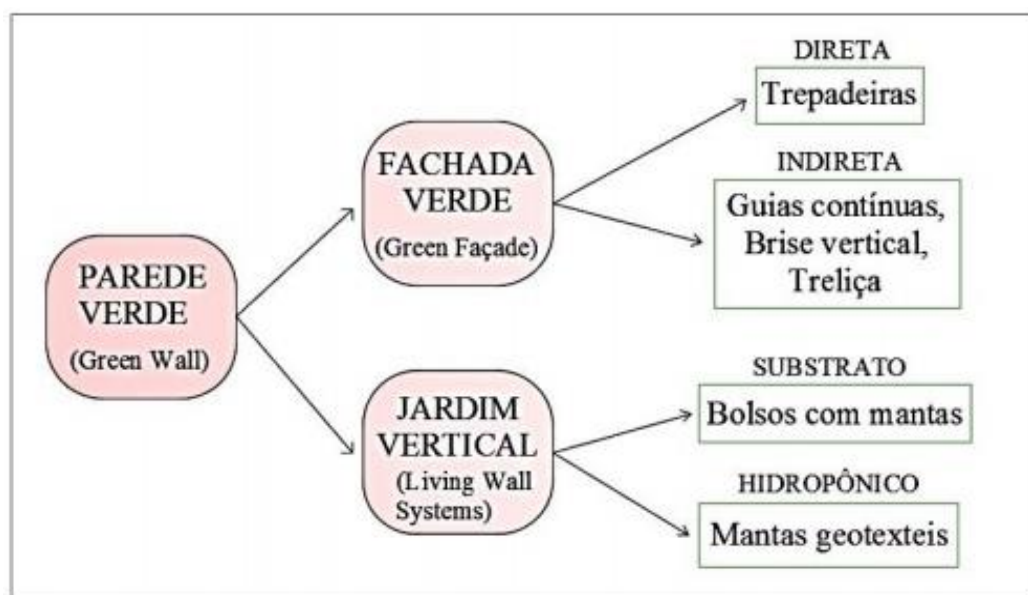
Estudos recentes comprovam o potencial de amortecimento térmico desse tipo de sistema vegetado. Andrade e Alves (2017) demonstraram que a implementação do telhado verde conferiu um maior conforto térmico à edificação, visto que, o protótipo com essa tecnologia instalada apresentou menores temperaturas durante o dia e maiores temperaturas durante a noite, quando comparado ao protótipo com telhado cerâmico, proporcionando menores amplitudes térmicas diárias ao modelo com o telhado verde instalado.

Oliveira, Soares e Santos (2016) destacaram o potencial de atenuação térmica conferido à edificação com o telhado verde implementado, assim, quando comparado aos materiais convencionais (cerâmica, fibrocimento), a edificação com esse tipo de tecnologia sustentável reduziu significativamente a necessidade de utilização de aparelhos elétricos (ar-condicionado), pois apresentaram temperaturas internas mais amenas.

3.2.2 Paredes verdes

O termo parede verde pode ser utilizado para comportar todas as formas de superfícies de paredes com vegetação, podendo ser divididas em fachadas verdes (*green facades*) e jardins verticais (*living wall systems*) (MANSANI; SANTOS; BERTEQUINI, 2018), conforme mostrado na Figura 8.

Figura 8 - Classificação de sistemas de paredes verdes



Fonte: MANSANI; SANTOS; BERTEQUINI, 2018.

Existem alguns cuidados e requisitos para a implementação de um sistema de parede verde, como: tipo de plantas utilizadas, local e forma de implementação, além da garantia que a vegetação não será afetada pela seca, calor excessivo e ação de vândalos (PUGH et al., 2012).

Segundo Caetano (2014) a tecnologia de paredes verdes é considerada uma tecnologia irmã da cobertura verde, porém com o benefício de poder ser aplicada em uma área maior, uma vez que ela pode abranger todos os pavimentos da edificação, não estando limitada apenas à cobertura. O autor também afirma que o custo de sua implementação é semelhante ao custo de um revestimento de alto padrão.

Para se observar melhores benefícios com a utilização de paredes verdes é de extrema importância sua correta localização na edificação, onde a fachada com maior incidência de luz solar é a mais indicada, sendo que no hemisfério sul, geralmente a face norte recebe a maior incidência de luz solar (MORELLI, 2016).

3.2.3 Fachadas verdes

“Fachada verde é um sistema vegetado no qual são utilizadas espécies de trepadeiras ou pendentes com a finalidade de promover o recobrimento de uma superfície vertical” (BARBOSA; FONTES, 2016). Existem dois tipos de fachadas verdes: diretas, na qual a vegetação cresce diretamente na parede (Figura 9), e

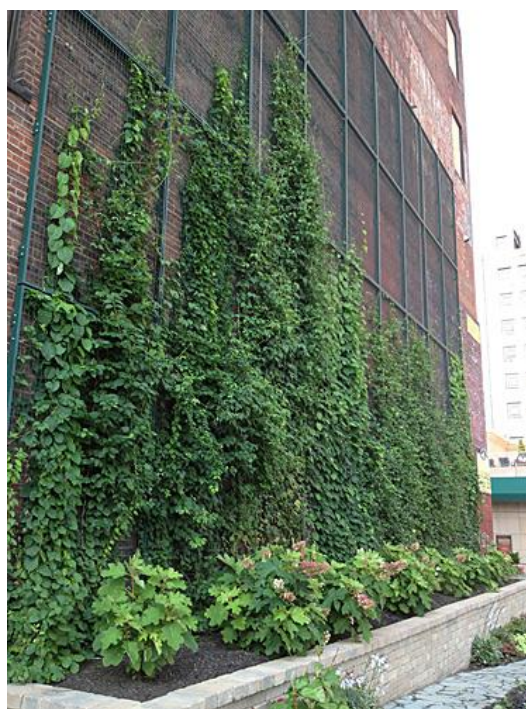
indiretas (Figura 10), que corresponde quando a vegetação cresce direcionada por sistemas adjacentes à superfície da edificação (BARBOSA; FONTES, 2016).

Figura 9 - Fachada verde direta



Fonte: MORIBE, 2018.

Figura 10 - Fachada verde indireta



Fonte: VERT PAISAGISMO, 2018.

Segundo Mansani, Santos e Bertequini (2018), as fachadas verdes demandam um certo tempo para começarem a trazer benefícios, em virtude do tempo necessário para as plantas crescerem e recobrirem toda a superfície. Os autores destacam que a superfície deve estar impermeabilizada, sem trincas e rachaduras e também possuir um acabamento com uma espessura pequena.

Nos sistemas de fachada verde direta e indireta, a vegetação é plantada no solo, sendo esse o substrato utilizado para implementação das fachadas verdes. Em alguns casos, ocorre a implementação de caixas suspensas com substrato (terra e matéria orgânica), no qual a vegetação será enraizada, e não no solo (SOUSA, 2012).

Tendo em vista que comumente são utilizadas espécies de trepadeiras nesse tipo de sistema, que se adaptam facilmente ao seu local de instalação, não existe a necessidade de um sistema de irrigação automático, podendo ser realizada irrigação manual, como em jardins tradicionais. O sistema de irrigação por gotejamento é utilizado no caso de sistemas automatizados (RIBEIRO, 2016).

3.2.4 Parede verde (*Jardim vertical*)

Também conhecidos como jardins verticais (Figura 11), as paredes verdes são sistemas modulares que possuem uma estrutura onde é colocado o substrato e a vegetação, que pode se desenvolver sem precisar enraizar no chão. A instalação é feita por meio de uma armação metálica ou de madeira na superfície da edificação, utilizada para sustentação de estruturas plásticas que são responsáveis por criar nichos modulares e permitir a deposição de substrato, vegetação e sistema de irrigação (MORELLI, 2016). Esses sistemas são divididos em dois grupos: *in situ* e pré-fabricados.

Os sistemas produzidos no local (*in situ*) dependem da instalação de uma estrutura que permite a implementação da parede verde e seu afastamento em relação à parede da edificação, permitindo a passagem de ar. Geralmente são utilizadas ripas de madeira, instaladas na vertical e horizontal, revestidas por um painel de plástico (polietileno ou PVC). Uma camada de material geotêxtil ou de feltro armado é instalado acima desta estrutura, sendo esse material o responsável pelo acolhimento da vegetação (GARRIDO, 2011 apud SOUSA, 2012).

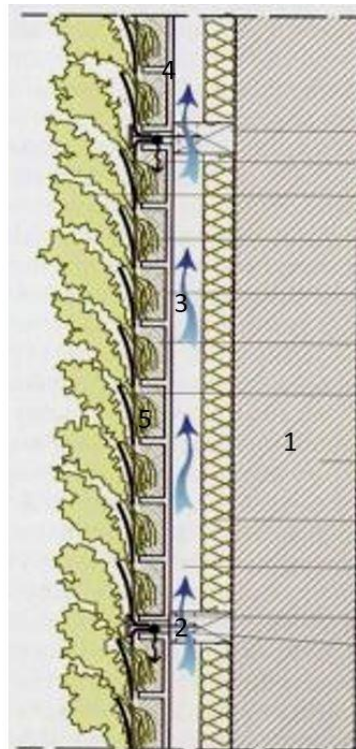
Figura 11 - Parede verde no museu Quai Branly em Paris



Fonte: BLANCK, 2004.

Esse sistema pode possuir substrato (Figura 12), na qual são instaladas bandejas de substrato no feltro, ou podem ser hidropônicos (Figura 13), nos quais a vegetação é acomodada pelo feltro, sem a necessidade de se colocar o substrato.

Figura 12 - Componentes de um sistema *in situ* com substrato

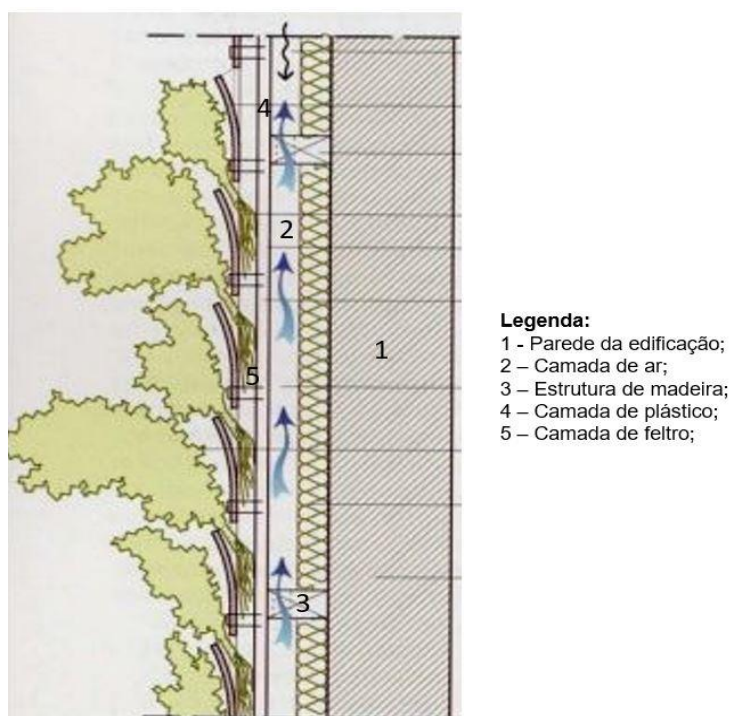


Legenda:

- 1 - Parede da edificação;
- 2 - Estrutura de madeira;
- 3 - Camada de ar;
- 4 - Camada de plástico;
- 5 - bandejas de substrato;

Fonte: Adaptado de SOUSA, 2012. Autor GARRIDO, 2011.

Figura 13 - Componentes de um sistema *in situ* hidropônico



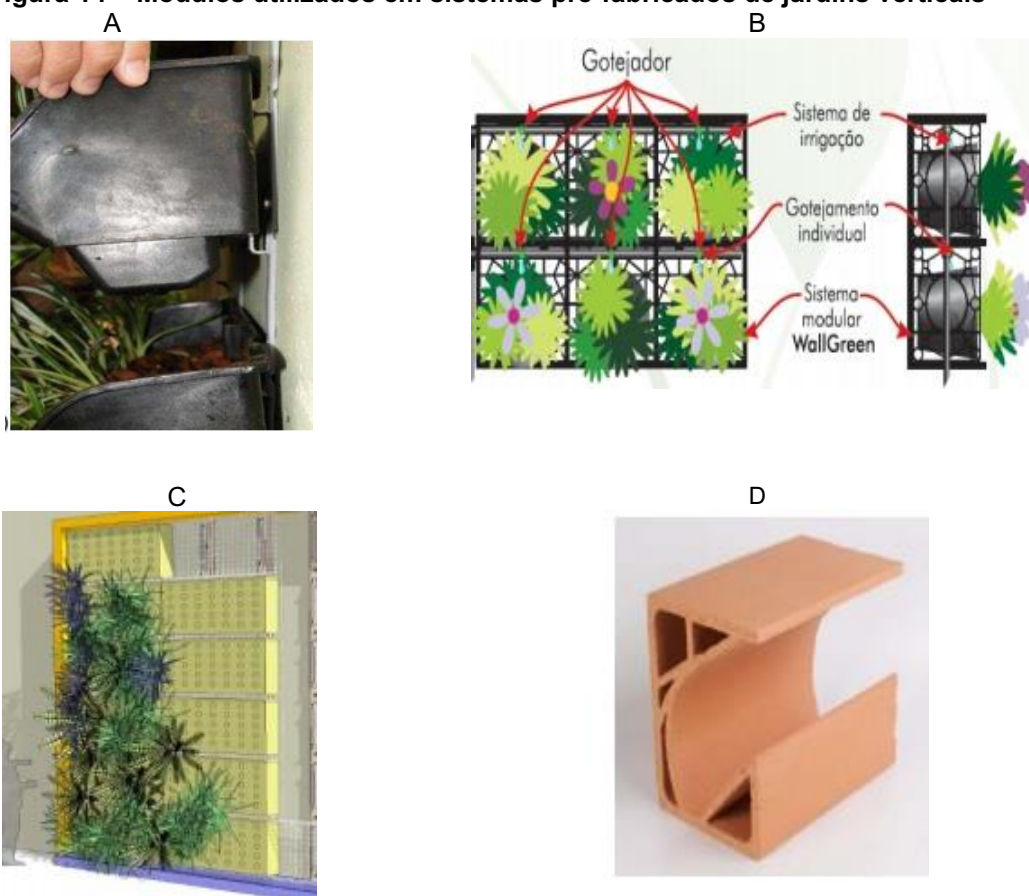
Fonte: Adaptado de SOUSA, 2012. Autor GARRIDO, 2011.

Nos dois casos existe a necessidade de um sistema de irrigação automático, geralmente por gotejamento, porém, no caso do sistema hidropônico, a necessidade de irrigação e fertirrigação (irrigação com nutrientes) é muito maior, uma vez que não possui o substrato, e portanto, tem menor capacidade de reter água e nutrientes para vegetação (GARRIDO, 2011 apud SOUSA, 2012).

Os sistemas pré-fabricados fornecem toda a estrutura necessária para implementação da parede verde, deixando de ser necessária a construção da mesma como no sistema *in situ*. Atualmente, existem inúmeras empresas que fabricam e instalam sistemas de jardins verticais. De acordo com Sousa (2012), existem diferentes tipos de sistemas pré-fabricados, onde cada empresa utiliza um modelo e material diferente. O autor destaca as seguintes empresas: Ecotelhado, Wallgreen, Fytogreen e a Green Wall Ceramic, que fabricam módulos de plástico reciclado, plástico, alumínio e cerâmica, respectivamente (Figura 14).

Segundo Morelli (2016) os sistemas pré-fabricados são constituídos por meio de nichos individuais (Figura 14B), que podem ser constituídos por bolsos de manta ou pequenos módulos com vasos que são montados individualmente e posteriormente aglomerados de modo a formar um painel único, recobrendo toda a superfície da edificação. Esse painel pode ser constituído de diferentes espécies vegetais.

Figura 14 – Módulos utilizados em sistemas pré-fabricados de jardins verticais



Fonte: SOUSA, 2012.

Legenda: A) ECOTELHADO, S.D. B) WALLGREEN, S.D. C) FYTOWALL (2010). D) D'ADDEZIO, S.D.

Em todos os sistemas existe a necessidade de irrigação automática, sendo comumente adotado em sistemas pré-fabricados a irrigação por gotejamento, no qual cada nicho possui sua própria saída de água, que é então direcionada por tubos até pequenos orifícios situados nos nichos dos módulos (MIR, 2011 apud SOUSA, 2012).

Já no sistema *in situ*, o mesmo mecanismo de irrigação automática também é utilizado, no entanto, os tubos de irrigação estão situados entre as camadas do feltro, sendo comumente necessário aplicar um volume maior de irrigação e fertirrigação (VIALARD, 2010 apud SOUSA, 2012).

Em vista disso, tanto em sistemas pré-fabricados como *in situ*, verifica-se que a irrigação automática é frequentemente empregada, uma vez que a fixação das plantas fora do solo e em um espaço limitado, torna o processo de irrigação um componente essencial para a consolidação dos sistemas de parede verde (DUNNETT; KINGSBURY, 2008).

Com relação ao substrato utilizado, a maioria dos sistemas utiliza o solo (terra + matéria orgânica) como substrato (MIR, 2011 apud SOUSA, 2012). Além disso, os mesmos componentes minerais utilizados nos telhados verdes como areia, cascalho, tijolo triturado e turfa (PECK et al., 1999) também podem ser empregados no sistema de parede verde, conferindo maior potencial nutricional ao substrato. Em alguns casos, como no sistema hidropônico, ou no modelo pré-fabricado da Fytogreen, o feltro e a espuma são os responsáveis por substituir o substrato e armazenar a água e os nutrientes necessários para o desenvolvimento da vegetação, respectivamente (SOUSA, 2012). Com a intenção de se diminuir o peso dessas estruturas, outros componentes estão sendo utilizados para compor o substrato, como é o caso da fibra de coco e o mineral perlita, que foram utilizados para avaliar o desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudoeste brasileiro (MATHEUS et al., 2016).

Segundo Sousa (2012), os jardins verticais trazem benefícios públicos e privados às edificações. Os benefícios públicos contemplam a diminuição dos efeitos das ilhas de calor, melhora da qualidade do ar exterior e aumento da biodiversidade. Os benefícios privados correspondem ao aumento da eficiência energética, melhoria da qualidade do ar interior e aumento do valor econômico da edificação.

O estudo de Akbarl e Taha (1992) demonstrou a eficiência desse sistema no controle de temperatura de ambientes internos, mostrando que em Toronto houve uma diminuição de 20% na demanda energética para o aquecimento e de 30% para o resfriamento de ambientes internos de edificações, quando comparados a edificações que não possuem recobrimento vegetal em sua fachada.

Em diferentes regiões do Brasil, edifícios comerciais ou residenciais, implantaram jardins verticais e telhados verdes, com o intuito de se obter os benefícios proporcionados por esse tipo de tecnologia sustentável (Figuras 15 e 16).

No câmpus Francisco Beltrão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, um sistema de fachada verde foi implementado em um dos blocos didáticos da universidade, melhorando o conforto térmico da edificação, onde em dias de altas temperaturas foi observada uma redução de 3°C no ambiente interno, proporcionando uma redução da demanda energética, referente à utilização de aparelhos de ar-condicionado nesse bloco, de acordo com a pesquisa realizada pela professora Cleila Navarini (UTFPR, 2020).

Figura 15 - Telhado verde no edifício da Fundação Casper Libero em São Paulo



Fonte: SKY GARDEN, 2020.

Figura 16 - Parede verde no edifício Mariano Torres em Curitiba

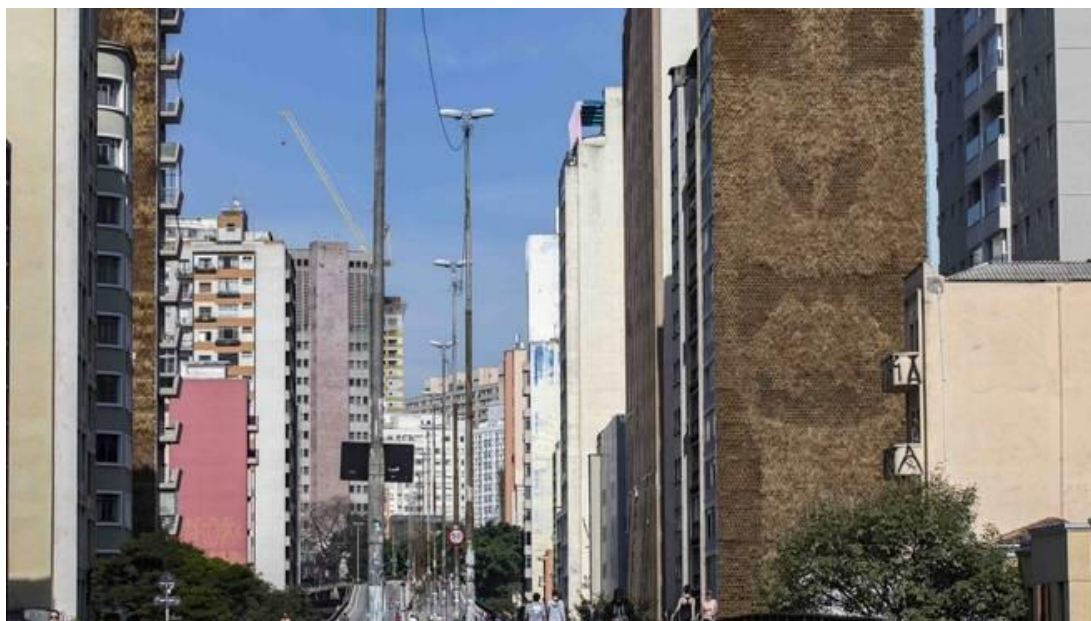


Fonte: STAMMER, 2020.

Para a obtenção dos benefícios proporcionados pela implementação desse tipo de tecnologia, é necessário realizar a manutenção de todos os componentes do sistema, caso contrário, ao invés de ser proporcionado benefícios, pode vir a causar

problemas, como destaca a reportagem do portal R7 de São Paulo, onde paredes verdes instaladas pela prefeitura no centro da cidade tiveram que ser removidas pela falta de manutenção, ocasionando a morte das plantas presentes no sistema, como demonstrado na Figura 17 (AGUIAR, 2019).

Figura 17 - Plantas mortas em um sistema de parede verde implantada em São Paulo



Fonte: (GARCIA, 2019).

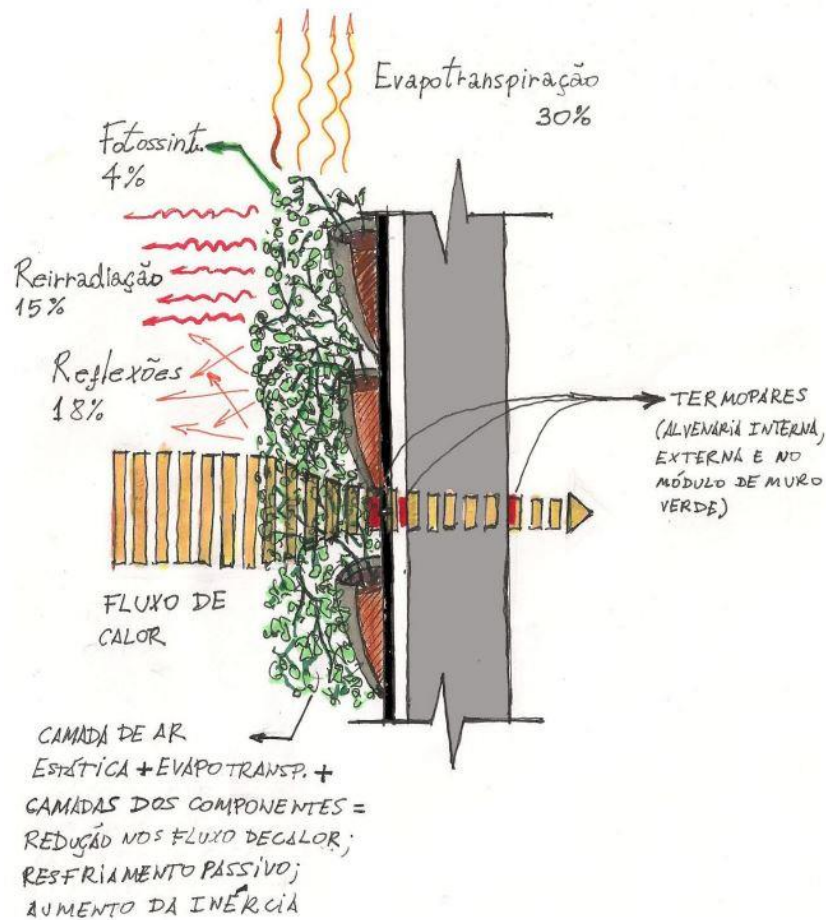
3.3 *Papel das Plantas no Controle Microclimático*

As plantas possuem a capacidade de moldar o clima em sua volta, influenciando, de modo geral, o balanço energético e a qualidade do ar (WILMERS, 1990). Essas influências podem ser visualizadas por diversas formas, como redução da temperatura, controle de umidade e da poluição (CANTUÁRIA, 1995).

A redução de temperatura está associada ao sombreamento proporcionado pela vegetação em seu local de implementação, reduzindo a incidência de radiação solar em superfícies de concreto e asfalto, e diminuindo o ganho térmico desses materiais (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003).

Caetano (2014) utilizou uma figura que ilustra o papel da presença da parede verde, no sentido de minimizar a radiação solar incidente na superfície da edificação, bem como de reduzir o fluxo de calor entre o ambiente externo e interno (Figura 18), como descrito por Dimoudi e Nikolopoulou (2003) e Peck et al. (1999).

Figura 18 – Mecanismos de atenuação térmica, proporcionado por um sistema de parede verde



Fonte: Caetano, 2014.

Outro fator preponderante para redução de temperatura consiste no efeito proporcionado pela evapotranspiração, que propicia um aumento de umidade do ar, permite uma maior transferência de calor entre as gotículas de água no ar e a energia térmica irradiada pelo sol (DIMOUDI; NIKOLOPOULOU, 2003), também exemplificadas na Figura 18. Uma vez que essa transferência ocorre, as gotículas de água alteram seu estado físico, se transformando em vapor, o que possibilita o retorno dessa energia para a atmosfera, reduzindo a quantidade de energia remanescente nos centros urbanos e proporcionando uma redução do efeito das ilhas de calor (GARTLAND, 2011).

Ao contrário do comportamento observado por superfícies como concreto e asfalto, em que grande parte da radiação solar incidente é irradiada em forma de calor, de toda radiação incidente nas folhas, aproximadamente 50% é absorvida e 20% é refletida, favorecendo uma atenuação em mudanças abruptas de temperatura

próximas ao seu local de implementação em um curto período de tempo (PECK et al., 1999).

Em relação ao controle de temperatura para ambientes internos, a implementação de plantas nas superfícies externas de edificações (paredes e telhados) contribui para redução dos ganhos de calor por absorção da radiação solar por condução e convecção, que por consequência diminui a demanda energética para controle térmico dentro da edificação (CANTUÁRIA, 1995).

Outro efeito está relacionado com a redução da taxa de transferência de calor entre o ambiente interno e externo da edificação (Figura 18). A vegetação localizada na fachada de uma edificação promove a retenção de uma camada de ar entre a folhagem que, em conjunto com a presença das plantas, dificultam o contato entre a superfície externa da edificação e o ambiente externo. Com isso, previne-se que o calor do ambiente externo entre em contato com sua superfície externa durante o verão, bem como o contato com temperaturas baixas durante o inverno, resultando em menores gradientes de temperatura observados entre a superfície interna e externa da edificação (PECK et al., 1999).

O mesmo efeito foi destacado por Mcpherson, Herrington e Heisler (1988), relatando que a presença da vegetação proporciona uma redução na velocidade do vento incidente na superfície em que está localizada, ocasionando uma diminuição nas trocas de calor por condução e convecção entre a superfície da edificação e o ar.

A influência das plantas na qualidade do ar ao seu redor ocorre por meio de sua capacidade de reter as partículas de poeira e sujeira presentes no ar, próximo à superfície da edificação. Por meio de suas folhas e caules, as plantações conseguem reter essas partículas, impedindo que as mesmas sejam espalhadas através dos ventos (PECK et al., 1999).

As características fisiológicas das plantas escolhidas para realizar o controle microclimático são de extrema importância para se conseguir uma maior eficiência. A luz possui um papel fundamental no desenvolvimento das plantas, podendo ser considerado o principal fator que influencia a produção de biomassa vegetal. Portanto, de acordo com a incidência solar em determinado local, deve-se determinar a escolha de plantas de pleno sol, ou com tolerância à sombra (POORTER; NAGEL, 2000 apud GAMA, 2013).

Plantas de pleno sol são as mais indicadas na implementação de técnicas para o recobrimento vegetal em edificações, pois possuem adaptações que possibilitam

uma melhor utilização da radiação incidente. Essas adaptações correspondem geralmente à menor área foliar e maior densidade estomática (BOEGER et al., 2009). Segundo Castro, Pereira e Paiva (2009 apud GAMA, 2013) podem ocorrer, também, o aumento de espessura em células epidérmicas e em seu revestimento hidrofóbico, gerando uma menor perda de água e aumento de temperatura foliar.

Em locais (superfícies) onde a incidência luminosa é baixa, deve-se utilizar plantas adaptadas à sombra, pois apresentam características que possibilitam um aumento em sua capacidade de absorção de luz em ambientes sombreados. A maior incidência de células coletoras de luz ocorre no parênquima esponjoso, assim como de clorofila 'b' e carotenoides, que são pigmentos fotossintéticos (TAIZ; ZEIGER, 2008 apud GAMA, 2013). Portanto, para realizar o controle microclimático é de extrema importância a correta seleção das espécies utilizadas, de acordo com as características encontradas no local de implantação, além de sua capacidade de recobrimento e densidade foliar (SHINZATO; DUARTE, 2009).

Atualmente, algumas empresas já utilizam a vegetação como uma alternativa sustentável ao auxílio do controle microclimático local, por meio da implementação de paredes verdes. Vasconcelos (2016) destacou alguns exemplos de empresas que fornecem esse tipo de serviço em Belo Horizonte, citando algumas espécies mais utilizadas: Samambaia (*Nephrolepis* sp.), Aspargos (*Asparagus sprengeri*), Columéia (*Aeschynanthus* sp.), Hera (*Hedera helix*) e Jibóia (*Epipremnum pinnatum*) (Figura 19). As empresas analisadas foram: Nativa Paisagismo, Mosaico Paisagismo, Jardins Comércio de Plantas e Junia Lobo Paisagismo, as quais destacam que o fator primordial para a escolha das espécies se dá com relação à incidência solar no local.

Outras empresas, como a Ecotelhado, destacam que plantas que possuem uma capacidade de adaptação para seu cultivo vertical, além de apresentarem características que as classificam como espécies de pleno sol ou meia sombra, se tornam espécies interessantes para serem utilizadas por esse tipo de tecnologia (ECOTELHADO, 2020b).

Diversas espécies são destacadas pelas empresas Ecovita, Ecotelhado e GardenWall, dentre elas estão o Aspargo-pendente (*Asparagus densiflorus*), Clorofito (*Chlorophytum comosum*) e Singônio (*Syngonium angustatum*) (Figura 20). As duas primeiras espécies são classificadas como plantas de pleno sol, já a terceira é classificada como planta de meia sombra (ECOTELHADO (b), 2020; ECOVITA, 2020; GARDENWALL, 2020).

Figura 19 - Espécies comumente utilizadas em paredes verdes



Legenda
 1 - Samambaia (*Nephrolepis* sp.);
 2 - Aspargos (*Asparagus sprengeri*);
 3 - Columéia (*Aeschynanthus* sp.);
 4 - Hera (*Hedera helix*);
 5 - Jibóia (*Epipremnum pinnatum*);

Fonte: (1) PATRO (a), 2013; (2) SODORÉ, 2020; (3) DALMUT, 2020; (4) PATRO (b), 2013; (5) PATRO (c), 2013.

Figura 20 - Espécies de pleno sol e meia sombra indicadas para paredes verdes



Legenda: (1) Aspargo-pendente (*Asparagus densiflorus*); (2) Clorofito (*Chlorophytum comosum*); (3) Singônio (*Syngonium angustatum*).

Fonte: (ECOTELHADO (b), 2020).

3.4 Benefícios proporcionados pela parede verde em construções e edificações, contemplados por certificações e legislações ambientais

Atualmente, existe um movimento global em prol da diminuição da utilização de recursos naturais não renováveis, além da promoção de técnicas sustentáveis para processos antes considerados não renováveis, ou que não praticam o uso racional dos recursos naturais. Nesse sentido, existem certificações globais ou locais que comprovam a sustentabilidade em construções e edificações.

O selo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) é uma certificação brasileira que visa obter a qualidade ambiental em construções e edificações. Dentre os vários critérios apresentados para se obter essa certificação, alguns podem ser obtidos aplicando a técnica de paredes verdes e jardins verticais, como gestão de água e energia, conforto visual, conforto térmico e qualidade do ar (MARTINS, 2009).

O PROCEL EDIFICA (Programa Nacional de Eficiência Energética em Edificações) e o selo da Caixa Econômica Federal (Casa Azul) também são certificações que contemplam o uso de sistemas vegetados em paredes e telhados como tecnologia de controle de desempenho térmico e energético, uma vez que a implementação desse sistema proporciona uma redução média da temperatura interna em edificações, que por consequência, reduz a demanda energética voltada para o controle de temperatura interna através de máquinas térmicas, além de proporcionar conforto visual e olfativo (MORELLI, 2016).

A certificação LEED (*Leadership in Energy and Environmental design*) consiste em uma ferramenta de certificação que busca incentivar e acelerar a adoção de práticas de construção sustentável reconhecida mundialmente (GBC BRASIL, 2014).

A Certificação LEED OP, consiste em uma das ramificações da certificação LEED referente ao processo de operação de edificações, onde a mesma possui níveis de implementação cuja pontuação irá classificar o empreendimento (GBC BRASIL, 2014).

Para se obter essa certificação são avaliados vários parâmetros, e alguns deles podem ser atingidos implementando sistemas vegetados na edificação, pois os mesmos auxiliam nos seguintes requisitos da certificação: proteção ou restauração do habitat; gestão de águas pluviais; redução de ilhas de calor; desempenho mínimo de energia; otimização do desempenho energético; programa de gerenciamento da qualidade do ar; conforto térmico; luz natural e vistas de qualidade (GBC BRASIL, 2014).

Esses requisitos são atendidos pois essa certificação considera que a implementação de sistemas vegetados proporciona o armazenamento e a utilização de águas pluviais através da retenção da água proveniente de precipitações. A existência da vegetação atrelada à irrigação atenua a temperatura interna em edificações, reduzindo a demanda energética, aumentando a umidade relativa do ar e fornecendo abrigo e proteção para a fauna local, como aves e insetos através da restauração ou substituição de seu habitat (GBC BRASIL, 2014).

Outros efeitos atribuídos à implementação desse tipo de tecnologia, compreendem o aumento do atraso térmico da edificação, que é definido como, a diferença de tempo apresentada entre uma variação térmica em um meio, e sua expressão em uma superfície oposta de uma estrutura construtiva que foi submetida a uma transmissão de calor proporcionada pela variação de temperatura do meio, durante um intervalo de tempo (LAMBERTS, 2016).

Caetano (2014) ressaltou que a implementação de paredes verdes em edificações contribui para o aumento desse atraso térmico, uma vez que em seu estudo ocorreu em média uma diferença de 4h entre a temperatura externa máxima, e a temperatura interna máxima apresentada na fachada com o sistema de paredes verdes implementada, no qual a temperatura interna se mostrou 8,4°C menor que a externa. Barbosa (2019) constatou um atraso térmico de até 06h entre as temperaturas máximas da superfície externa entre a sua fachada de controle e a fachada com a parede verde, a qual se mostrou 8,6°C mais fria.

Ambos os autores acima citados destacaram que o amortecimento térmico pode ser definido como a diferença entre as temperaturas de dois ambientes, que possuem um componente físico os separando, como por exemplo a temperatura ambiente e a temperatura interna de uma edificação.

Esse amortecimento auxilia na diminuição da amplitude térmica apresentada em edificações, uma vez que a mesma é definida por meio da diferença entre as temperaturas máximas e mínimas apresentadas durante um período de tempo (LAMBERTS, 2016).

Em algumas regiões do país, alguns municípios estão implementando legislações municipais que incentivam a utilização desse tipo de tecnologia em virtude dos benefícios proporcionados por sua implementação.

No caso de Recife - PE, por meio da Lei municipal 18.112/2015, se tornou obrigatória a implementação de telhados verdes em edificações novas que possuem mais de quatro pavimentos ou área construída superior a 400 m² (PERNAMBUCO, 2015). Em São Paulo – SP, o Decreto nº 555.994 de 2015 determina que a compensação de obras e serviços pode ser realizada por meio da implementação de paredes verdes e telhados verdes (SÃO PAULO, 2015). Já no estado do Paraná, em Curitiba, o plano diretor da cidade, juntamente com a legislação municipal 14.771/2015, determina a criação do IPTU (imposto predial e territorial urbano) verde, onde as edificações que apresentarem, entre outros requisitos, a implementação de

paredes ou telhados verdes receberão um desconto entre 5% e 15% no valor do imposto (PARANÁ, 2015).

Tendo em vista a crescente utilização desse tipo de tecnologia sustentável e seus benefícios proporcionados, sua implementação em órgãos públicos, com uso constante de aparelhos reguladores de temperatura (ar-condicionado), poderia proporcionar um maior conforto térmico à edificação, com menor custo. Sobretudo se sua implementação em universidades públicas fosse possibilitada pela contribuição por parte dos alunos, no sentido de produzirem as mudas e de construírem os sistemas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Características dos modelos construídos

Os modelos construídos utilizados neste trabalho foram os mesmos de Silva (2019), e estão localizados no Câmpus Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, entre o Bloco S e as estufas do DAAMB-LD, como demonstrado na Figura 21. Conforme Silva (2019), os modelos estão de acordo com a NBR 15220, que define as diretrizes construtivas para edificações em nosso país (ABNT, 2003), apresentando um sistema de ventilação cruzada, isolamento da cobertura, e pintura reflexiva.

Figura 21 - Modelos utilizados, ainda sem implantação do módulo de parede verde



Fonte: SILVA (2019).

O modelo de parede verde utilizado foi o suporte pré-moldado da empresa WallGreen, modelo ECO 27 (Figura 22), com 27 nichos para alocar os vasos, bem como uma estrutura para um sistema de irrigação por gotejamento. Esse módulo foi instalado na face norte de um dos modelos, nomeado bloco com sistema de parede verde (BPV), enquanto o outro serviu como modelo de controle, sem apresentar um sistema modular instalado, também chamado de bloco sem sistema de parede verde (BSPV) (Figura 23).

Figura 22 - Módulo de parede verde pré-moldado da empresa WallGreen instalado no modelo construído



Fonte: Autoria própria.

Figura 23 - Modelos construídos com e sem a implementação do módulo de parede verde



Fonte: Autoria própria.

Legenda: BPV – bloco parede verde; BSPV – bloco sem parede verde.

4.2 Influência do substrato sem irrigação na atenuação térmica do BPV

A primeira etapa do experimento (EP1) foi realizada durante os dias 23 a 28 de abril de 2020, com o intuito de avaliar a capacidade de atenuação térmica proporcionada apenas pela implementação dos vasos com substrato no BPV, sem irrigação.

O substrato utilizado foi preparado com as seguintes características:

- 1) 33,3% de areia proveniente da construção civil.

- 2) 33,3% de solo peneirado, retirado do câmpus Londrina, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- 3) 33,3% de matéria orgânica proveniente da poda de árvores, que sofreram uma decomposição natural (processo que se iniciou em 2018) sem qualquer intervenção antrópica.

Após o preparo do substrato, o mesmo foi colocado em bolsas confeccionadas de manta geotêxtil (bidim), que foram alocadas no suporte da WallGreen sem as plantas e sem irrigação (Figura 24).

Figura 24 - Vista do experimento com módulo contendo apenas substrato, instalado no BPV



Fonte: Autoria própria.

Legenda: bloco com parede verde;

Seta preta: local de ligação da mangueira utilizada para o fornecimento de água do sistema de irrigação, desligado, neste caso.

4.3 Influência do substrato irrigado na atenuação térmica do BPV

A segunda etapa do experimento (EP2) foi realizada durante os dias 28 de abril a 5 de maio de 2020, para avaliar a influência da irrigação na atenuação térmica no BPV.

Foi utilizado o temporizador da marca Watering Timer, modelo Irrigation Watering Timer, para automatizar o sistema de irrigação. Esse temporizador foi acoplado em uma torneira localizada dentro da estufa do DAAMB-LD, que forneceu a água para irrigação, conectada com a entrada no sistema do módulo (local

representado na Figura 24) e distribuída por meio de mangueiras e aspersores acoplados ao módulo BPV, possuindo apenas o substrato.

A irrigação foi proporcionada de 8 em 8 horas (às 06 h, 14 h e 22 h), durante um intervalo de 30 minutos, com uma vazão média de 37 mL/min.

4.4 Influência do módulo de parede verde (substrato irrigado com vegetação) na atenuação térmica do BPV

A etapa do experimento com o sistema de parede verde completo (EP3) foi montado no dia 5 de maio e acompanhado até 2 de junho de 2020. Foram utilizados 9 exemplares de cada uma das três espécies: Aspargo-pendente (*Asparagus densiflorus* “sprengeri”), Clorofito (*Chlorophytum comosum*) e Singônio (*Syngonium angustatum*), como mostrado na Figura 25, com a mesma disposição do trabalho de Silva (2019) que fez o monitoramento na primavera. O substrato e a irrigação utilizados foram os mesmos das etapas anteriores (EP1, EP2) permitindo, assim, a caracterização dos diferentes componentes do sistema de parede verde.

Figura 25 - Sistema modular de parede verde com a vegetação implantada no início do experimento



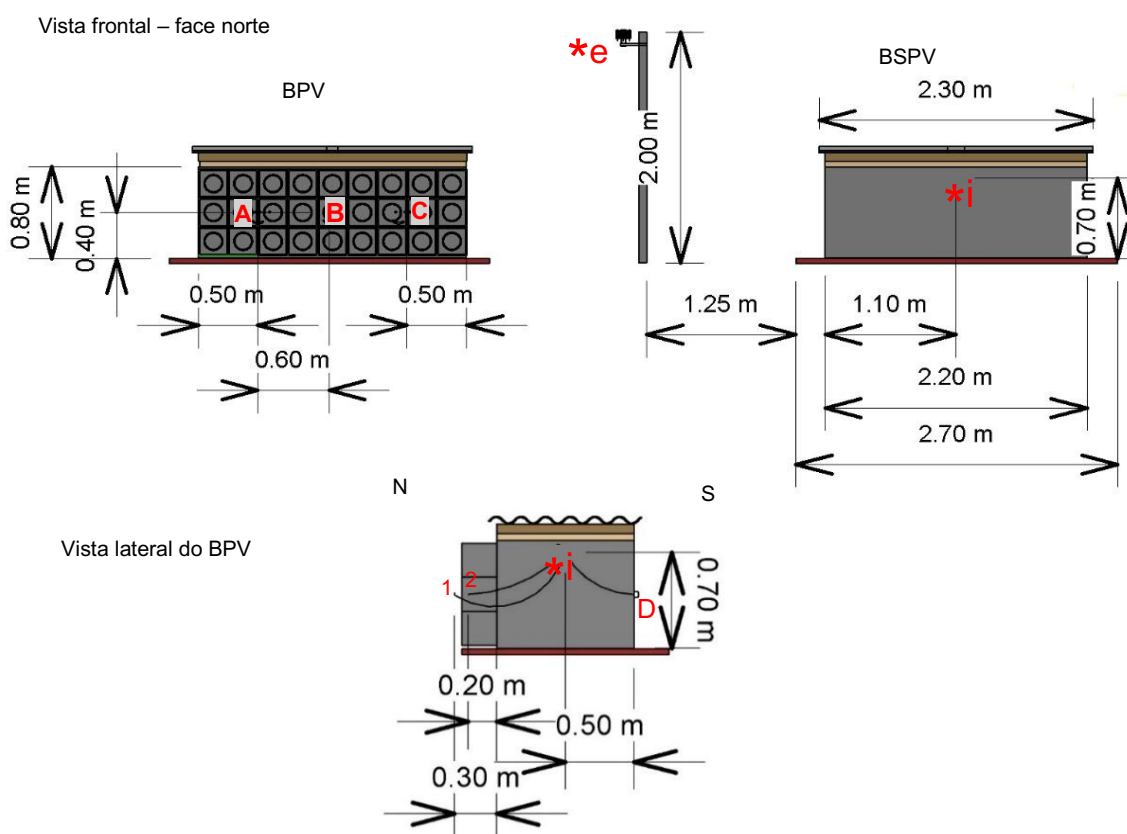
Fonte: Autoria própria.

Legenda: Ponto A: Aspargo-pendente; Ponto B: Clorofito; Ponto C: Singônio.

4.5 Instrumentação para coleta de dados e monitoramento

A influência do módulo de parede verde no controle térmico do modelo construído (BPV) foi analisada pela instalação de 9 sensores (modelo DS18B20) para o monitoramento da temperatura em 4 locais, a saber: a) ambiente externo no qual um sensor (I) ficou localizado em um suporte de madeira entre os dois modelos, que forneceu os valores para temperatura externa (TEXT); b) um sensor localizado no interior de cada modelo construído, em posição central, gerando valores de temperatura interna (II - TINT BPV e III - TINT BSPV); c) sensores nos pontos A, B e C na parede da face norte do BPV, que ficaram localizados junto ao substrato (IV, V, VI); d) sensores nos pontos A, B e C localizados junto à folhagem das plantas (VII, VIII, IX) (Figura 26).

Figura 26 - Desenho esquemático da localização dos sensores nos modelos construídos e do dimensionamento dos mesmos.



Legenda: pontos “A”, “B” e “C” - localização dos sensores junto ao substrato e à folhagem; *i - sensor de temperatura interna (TINT), para os dois módulos. *e - sensor de temperatura externa. 1 – posição do sensor junto à folhagem. 2 – posição do sensor junto ao substrato. BPV – bloco parede verde. BSPV - bloco sem parede verde. N – face norte. S – face sul. D – localização do Arduino Mega 2560.

Destaca-se que os sensores foram posicionados em pares, visando minimizar a perda de dados caso ocorresse falha em algum deles, exceto quando 1 foi direcionado ao substrato e o outro junto à folhagem das plantas, na terceira etapa do experimento.

4.6 Cálculo dos parâmetros analisados

Além dos valores médios de temperatura interna e externa foram calculados as médias para os seguintes parâmetros:

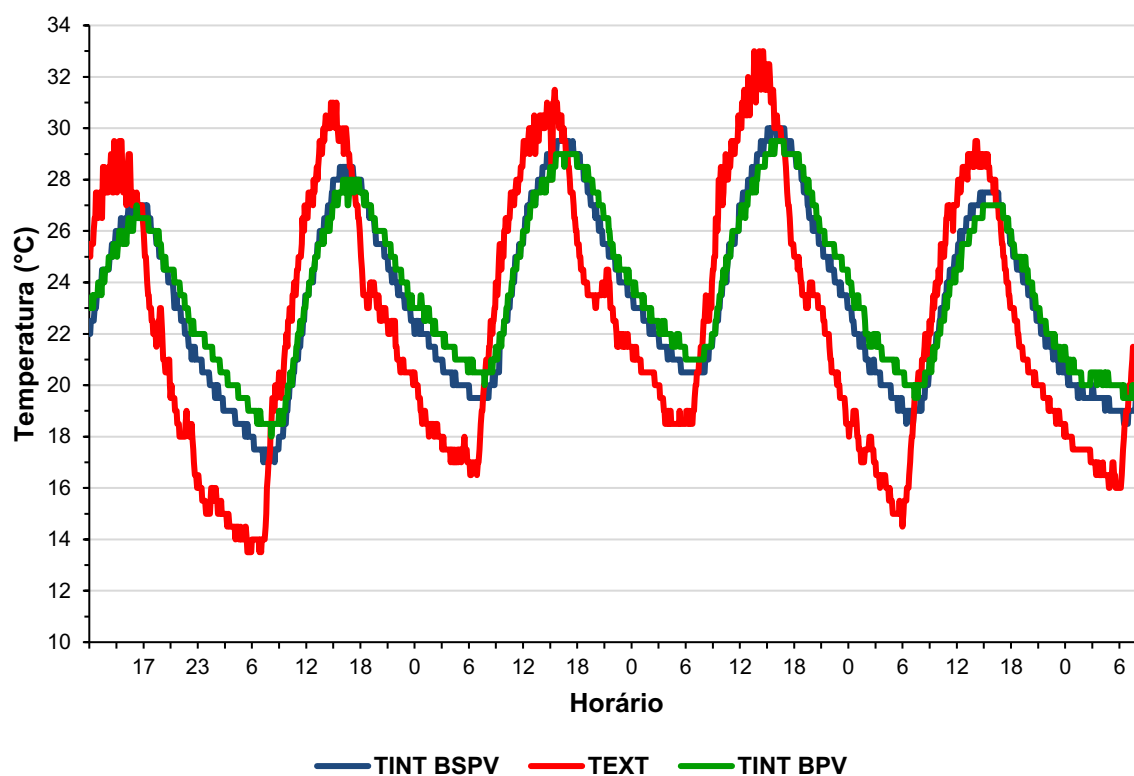
- 1) Amortecimento térmico de máximas temperaturas (AMOT TMAX): calculado como a diferença entre o maior valor de temperatura externa e o de temperatura interna no mesmo dia. Já, o amortecimento térmico de mínimas temperaturas (AMOT TMIN) consiste na diferença entre a mínima temperatura externa e a mínima interna.
- 2) Atraso térmico: representa a diferença de tempo observada entre os horários de maior temperatura externa e interna, para ambos os blocos. O atraso térmico em máxima temperatura (ATR. TMAX) representa a diferença de tempo entre a ocorrência da máxima temperatura externa para a interna de cada bloco em um dia. Já, o atraso térmico em mínima temperatura (ATR. TMIN), consiste na diferença de tempo observada entre a ocorrência da menor temperatura externa quando comparada com a menor interna, no mesmo dia.
- 3) Atenuação térmica: representa a diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna de cada bloco, no mesmo horário.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Influência do substrato com e sem irrigação no comportamento térmico do BPV

Na primeira etapa do experimento (EP1) realizada durante os dias 23 a 28 de abril, utilizando apenas o substrato no BPV, foram registradas temperaturas mínimas (TMIN) de até 13,5°C e máximas (TMAX) de até 33°C (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Comportamento da temperatura nos ambientes externo e interno aos modelos construídos, com e sem o módulo de parede verde, apenas com o substrato sem irrigação

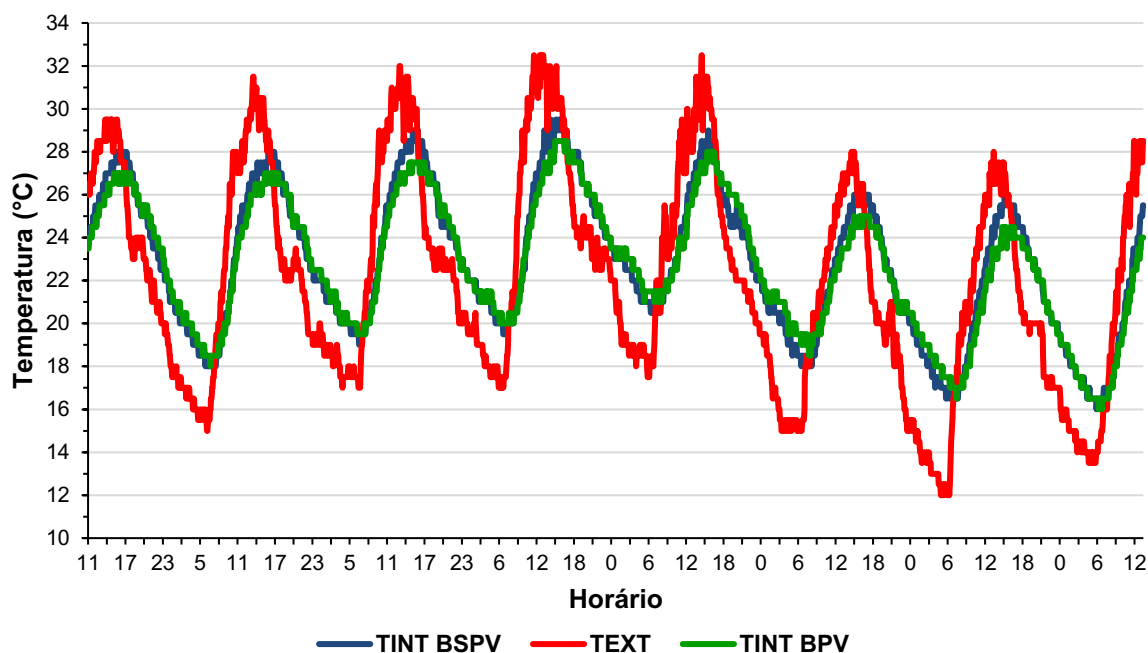


Fonte: Autoria própria.

Legenda: TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde.

Já, na etapa 2 (EP2) (28/04 a 05/05), quando o módulo contendo apenas o substrato passou a receber a irrigação, as temperaturas variaram entre 12°C (TMIN) e 32,5°C (TMAX) (Gráfico 2). Não houve ocorrência de chuva em Londrina, nessas datas, segundo dados fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Gráfico 2 - Comportamento da temperatura nos ambientes externo e interno aos modelos construídos, com e sem o módulo de parede verde, apenas com o substrato irrigado



Fonte: Autoria própria.

Legenda: TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde.

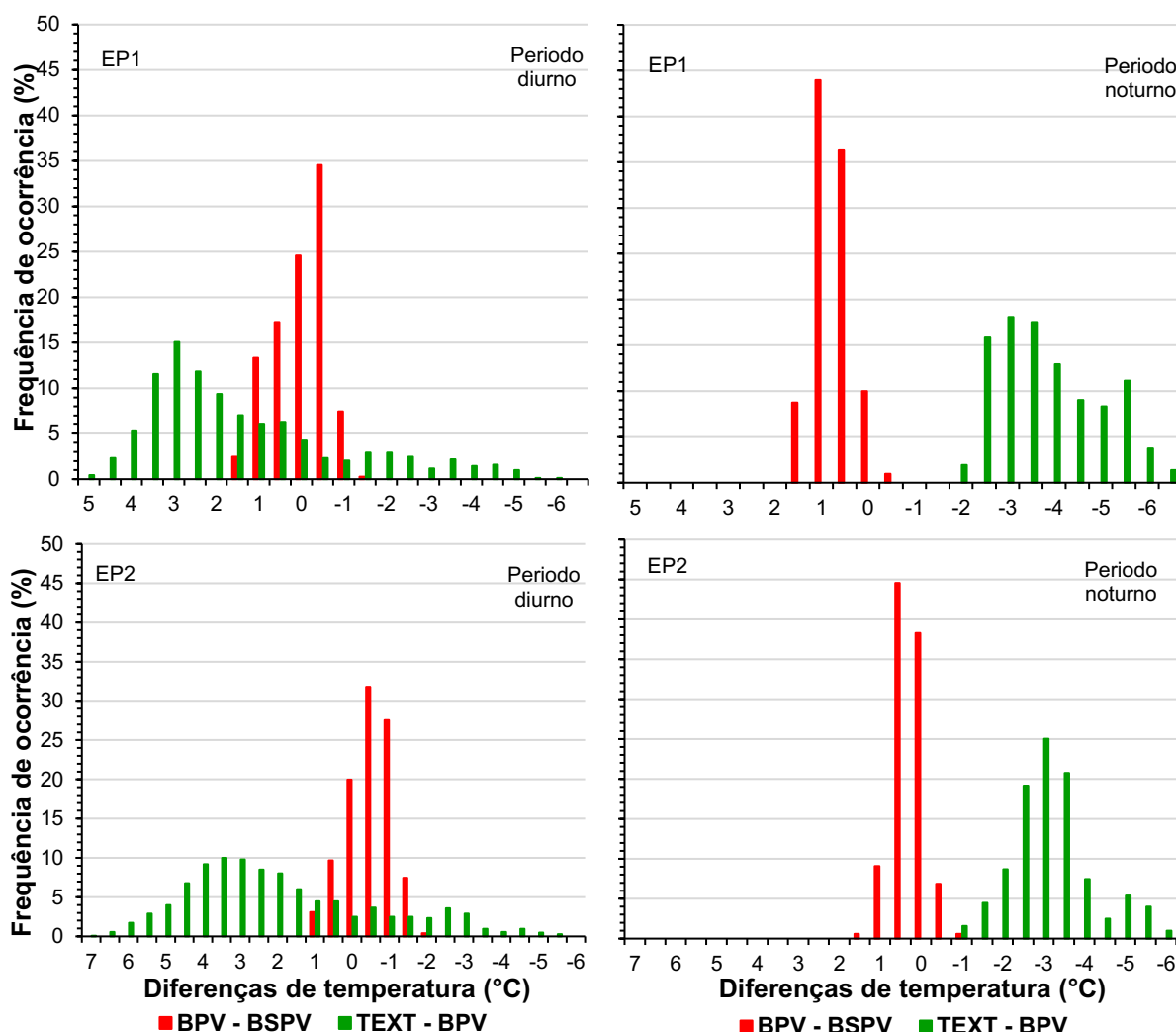
Ao longo do período monitorado, o comportamento apresentado pela temperatura interna (TINT) do modelo construído que possui um sistema de parede verde instalado (BPV), apenas com substrato, foi muito semelhante ao da TINT no modelo construído que não possui esse sistema implementado (BSPV) (Gráfico 1). Mesmo com a irrigação (EP2), as TINT dos modelos construídos se mostraram bastante semelhantes, tanto no período diurno quanto no noturno (Gráfico 2).

Em ambas etapas (EP1 e EP2), no horário de pico de TMAX as TINT em ambos os blocos ficaram abaixo da TEXT, e no período noturno (das 18h às 06h) se mostraram mais quentes (Gráfico 1 e 2).

O Gráfico 3 ilustra as diferenças entre a TINT do BPV em relação ao BSPV. Durante a EP1, pode-se perceber que no período diurno (das 06h às 18h), em 76% do tempo as diferenças de temperatura variaram em até $0,5^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). Já, na EP2, foram observadas diferenças entre -1°C e -2°C em 37,35% do tempo, indicando que o BPV apresentou TINT mais baixas do que o BSPV.

Pode-se observar, também, que em torno de 50% do tempo, no período diurno, o BPV apresentou temperaturas entre 2°C e 4°C mais amenas que a TEXT, em ambas as etapas, sendo que diferenças de até 5°C (EP1) e até 7°C (EP2) (Gráfico 3) foram observadas próximo às 12 h (Gráfico 1 e 2).

Gráfico 3 - Distribuição de frequência das diferenças de temperatura interna entre os modelos construídos e entre a temperatura externa, com a utilização do módulo apenas com o substrato, com e sem irrigação



No período noturno, durante a EP1, verificou-se que em 53% do tempo a TINT do BPV foi entre 1°C e 1,5°C mais quente que o BSPV, já com a irrigação (EP2), as diferenças foram muito pequenas no máximo de 0,5°C (em 90% do tempo variaram entre 0,5°C (45%), 0 (38%) e -0,5°C (7%)), como observado no Gráfico 3. Isso mostra que o módulo apenas com o substrato dificultou a transferência de calor do ambiente interno para o externo, enquanto que a irrigação, ao esfriar o módulo, favoreceu a saída do calor do ambiente interno.

O amortecimento térmico médio para as temperaturas mínimas (AMOT-TMIN),

em ambos os blocos (BPV e BSPV), nas duas etapas, ficou entre 3°C e 3,9°C, ou seja, as TINT se mantiveram mais quentes que a TEXT, sendo que o AMOT-TMIN do BPV, mostrou o valor levemente acima dos demais (Tabela 1), indicando temperatura interna mais quente, especialmente ao longo da EP1.

Tabela 1 - Valores médios de temperatura, de amplitude, de amortecimento e de atraso térmicos, obtidos para as três etapas do experimento com módulo de parede verde, com e sem irrigação, com e sem vegetação

Parâmetros	EP1			EP2			EP3		
	BPV	BSPV	EXT	BPV	BSPV	EXT	BPV	BSPV	EXT
TEXT MIN (°C)	-	-	15,8	-	-	15,6	-	-	12,7
	-	-	± 2,2	-	-	± 2,1	-	-	± 2,9
TEXT MAX (°C)	-	-	31,1	-	-	30,8	-	-	26,8
	-	-	± 1,4	-	-	± 2,2	-	-	± 1,7
TINT MIN (°C)	19,6	18,88	-	18,9	18,58	-	15,4	15,2	-
	±1,3	± 1,49	-	± 1,6	± 1,39	-	± 2,6	± 2,6	-
TINT MAX (°C)	28,4	28,88	-	26,8	27,92	-	23,2	24,6	-
	± 1,1	± 1,11	-	± 1,6	± 1,56	-	± 1,7	± 1,9	-
AMP TER (°C)	8,8	10	15,4	7,8	9,33	15,2	7,8	9,4	14,1
	± 1,0	± 1,08	± 1,4	± 0,9	± 0,88	± 1,2	± 2,8	± 2,8	± 3,2
AMOT TMIN (°C)	3,9	3,13	-	3,3	3	-	2,8	2,5	-
	± 1,1	± 0,85	-	± 0,7	± 0,84	-	± 0,9	± 0,8	-
AMOT TMAX (°C)	2,8	2,25	-	4	2,83	-	3,6	2,2	-
	±0,7	±0,65	-	± 0,6	± 0,68	-	± 1,0	± 0,8	-
ATR. TER TMIN (h/min)	01:57	00:58	-	01:17	00:40	-	00:59	01:01	-
	± 00:36	± 00:54	-	± 01:11	± 00:37	-	± 01:15	± 01:11	-
ATR TER TMAX (h/min)	01:03	00:48	-	01:30	01:42	-	01:21	01:13	-
	± 00:13	± 00:18	-	± 00:37	± 00:43	-	± 01:02	± 01:03	-
TMIN SUB (°C)	17,0	-	-	15,3	-	-	13,6	-	-
	± 1,9	-	-	± 1,8	-	-	± 2,6	-	-
TMAX SUB (°C)	46,5	-	-	31,3	-	-	21,6	-	-
	± 1,5	-	-	± 1,7	-	-	± 1,4	-	-

Fonte: Autoria própria.

Legenda: EP1 – primeira etapa: apenas substrato, sem irrigação; EP2 – segunda etapa: módulo com substrato e com irrigação (sem plantas); EP3 – terceira etapa: módulo com vegetação; BPV – bloco com parede verde; BSPV – bloco sem parede verde; TEXT – temperatura externa; TEXT MIN – temperatura externa mínima; TEXT MAX – temperatura externa máxima; TINT MIN – temperatura interna mínima; TINT MAX – temperatura interna máxima; AMP TER – amplitude térmica; AMOT TMIN – amortecimento térmico em baixas temperaturas; AMOT TMAX – amortecimento térmico em altas temperaturas; ATR TER TMIN – atraso térmico em baixas temperaturas; ATR TER TMAX – atraso térmico em altas temperaturas; TMIN SUB – temperatura mínima no substrato; TMAX SUB – temperatura máxima no substrato; ± desvio padrão.

Já, o AMOT médio em situações de TMAX, mostrou um comportamento levemente diferente entre as duas etapas, pois com a irrigação (EP2) o AMOT-TMAX do BPV foi de 4°C enquanto nos demais ficou abaixo de 3°C (Tabela 1).

Como a TINT média do BPV foi levemente mais alta (menos fria) que a do BSPV (Tabela 1), o amortecimento relativo à TMIN acabou sendo levemente maior e, conseqüentemente, o atraso térmico também foi levemente maior, pois é necessário mais tempo para atingir a temperatura mínima no interior do BPV. Já, na EP2 observou-se que o atraso térmico para TMAX no BPV (1h30min) foi levemente menor que o do BSPV (1h42min), pois com a irrigação houve uma leve diminuição da TINT MAX média, o que justifica a tendência de maior AMOT TMAX (4°C) e, conseqüentemente, reduzindo o tempo para atingir a TINT MAX.

5.2 Temperatura do substrato no módulo de parede verde (sem plantas) no experimento com e sem irrigação

A temperatura do substrato junto ao módulo de parede verde, sem plantas variou entre 14°C e 53,5°C durante a EP1 e entre 11,5°C e 35°C durante a EP2 (Gráfico 4).

Observou-se em ambas as etapas que no período noturno as temperaturas do substrato ficaram próximas às TEXT (Gráfico 4), inclusive com relação às médias de TMIN (Tabela 1). Já para TMAX, as temperaturas do substrato ficaram até 20°C mais elevadas que a TEXT, ao longo da EP1, enquanto que na EP2 não variaram mais que 3°C. Vale destacar que mesmo com o aquecimento significativo do substrato (Gráfico 4), as TINT de ambos os blocos se mantiveram semelhantes (Gráficos 1 e 2).

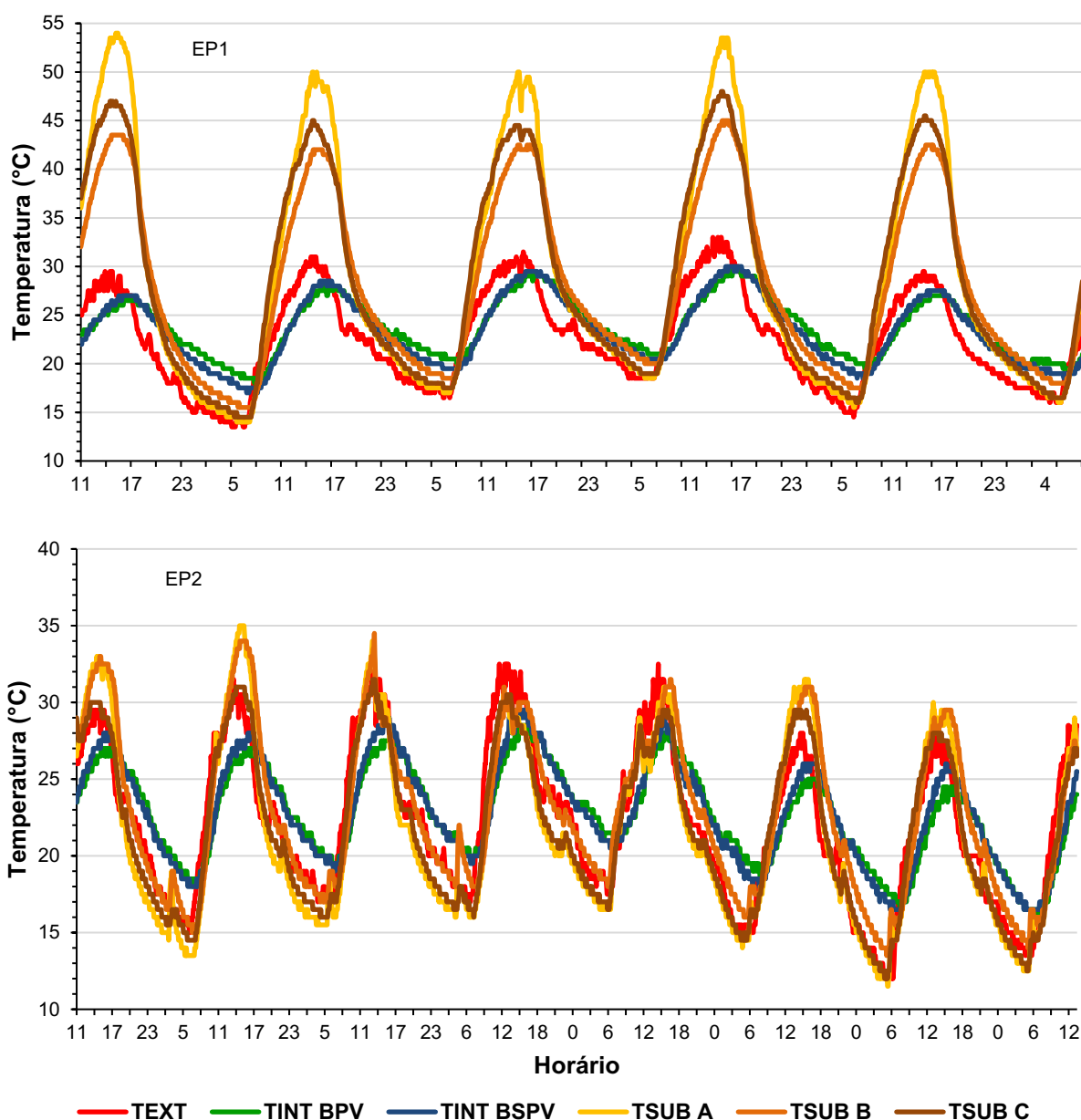
Notou-se uma clara influência da irrigação nas temperaturas junto ao substrato, em especial reduzindo os picos em TMAX, em comparação à EP1. Isso se deve à capacidade de absorção da energia térmica irradiada pelo sol, reduzindo assim sua quantidade absorvida pelo substrato (GARTLAND, 2011).

Pires et al. (2004), e Ribas et al. (2015) demonstraram o papel da irrigação na atenuação da temperatura em solo desnudo, sendo que em condições experimentais, nas quais o solo apresentou o maior teor de umidade, as temperaturas foram menores. Os mesmos autores destacam que com a irrigação, a temperatura do substrato não se eleva devido à maior capacidade calorífica da água em relação ao solo e do aumento de fluxo de calor latente na interface solo-atmosfera, retornando a energia

térmica irradiada pelo sol, de volta para a atmosfera, resultando em menor energia térmica no solo.

Assim, a irrigação ao diminuir a temperatura do substrato, durante o período diurno, contribuiu para redução da taxa de energia térmica irradiada pelo mesmo, porém não implicou em uma diferença na TINT do BPV.

Gráfico 4 - Variação de temperatura no substrato do módulo nas etapas 1 e 2 nos 3 pontos de medição do BPV



Fonte: Autoria própria.

Legenda: EP1 – primeira etapa: apenas substrato, sem irrigação; EP2 – segunda etapa: módulo com substrato e com irrigação (sem plantas); TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde; TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; TSUB A – temperatura do substrato ponto A; TSUB B – temperatura do substrato ponto B; TSUB C – temperatura do substrato ponto C.

5.3 Influência da vegetação no comportamento térmico do BPV

A terceira etapa do experimento (EP3), com o módulo com as plantas foi conduzido entre os dias 05/05 a 02/06. Nesse período a temperatura mínima foi de 8°C e a máxima de 29,5°C. Houve, portanto, a ocorrência de dias mais frios, nos quais as temperaturas mínimas se mostraram bem abaixo das outras etapas, assim como as TMAX ficaram abaixo dos 30°C (Gráfico 5, Tabela 1).

A chuva esteve presente de forma pouco significativa durante a coleta de dados, de forma a não interferir na irrigação. Ocorreu de forma mais concentrada no dia 23/05 (44,2 mm), porém uma queda de energia interrompeu a coleta de dados entre os dias 22/05 e 25/05, gerando uma descontinuidade nos mesmos. Nos demais dias o total pluviométrico foi inferior a 3mm, segundo o INMET.

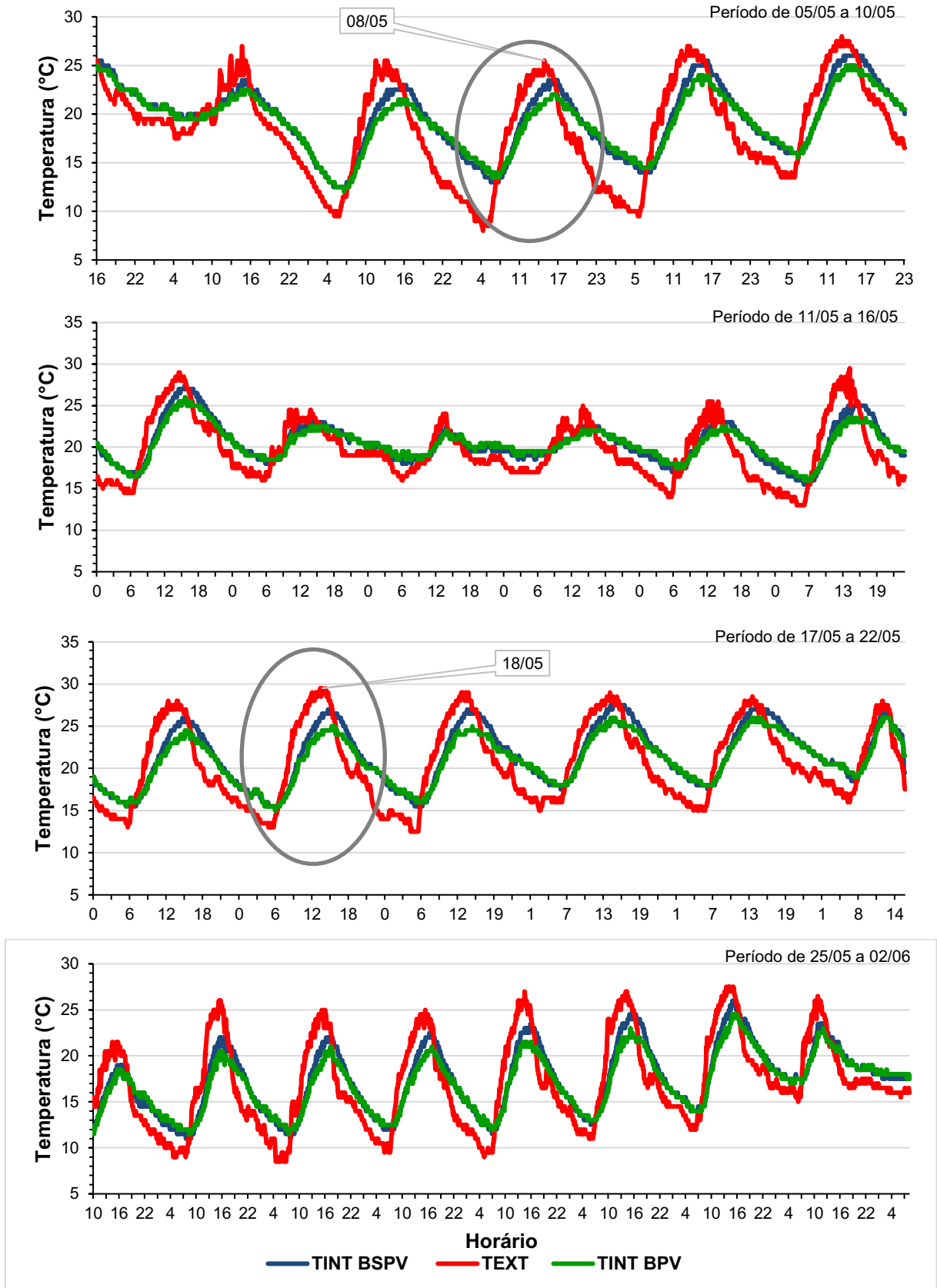
Nos horários de pico, no período diurno (das 06h às 18h), o BPV apresentou TMAX levemente abaixo das temperaturas do BSPV e, no período noturno (das 18 h às 06 h), TMIN levemente maiores. As temperaturas internas em ambos os blocos ficaram mais amenas que a externa em ambos os períodos (Gráfico 5).

Levando em conta que o período da EP3 foi maior que o das etapas anteriores, e que a média da temperatura externa ficou abaixo de 27°C, foram selecionados dois dias para uma análise mais detalhada do comportamento térmico nos módulos. Dados coletados em 08/05 representam um dia de baixas temperaturas, enquanto os de 18/05 representam um dia de altas temperaturas.

No período diurno do dia 08/05, em 66% do tempo a TINT do BPV se mostrou entre 1°C e 2°C mais amena que o BSPV. Já, no dia 18/05, essa diferença foi de pelo menos 2°C em 52% do tempo (chegando a 3°C) (Gráfico 6). Essa tendência do BPV apresentar menores TINT que o BSPV durante o período diurno também pode ser notada no Gráfico 5. Portanto, nas situações em que as temperaturas estiveram mais altas, a parede verde com vegetação conferiu um maior isolamento térmico, dificultando o contato entre o calor externo e a superfície externa do BPV.

Esse comportamento fica evidente quando a TINT do BPV é relacionada com a TEXT, visto que durante o período diurno no dia 08/05, em ao menos 40% do tempo, a TINT do BPV ficou ao menos 4°C mais fria, enquanto no dia 18/05, em 50% do tempo essa diferença foi igual ou superior a 5°C, chegando até 6,5°C (Gráfico 6), próximo às 9 h da manhã (Gráfico 5).

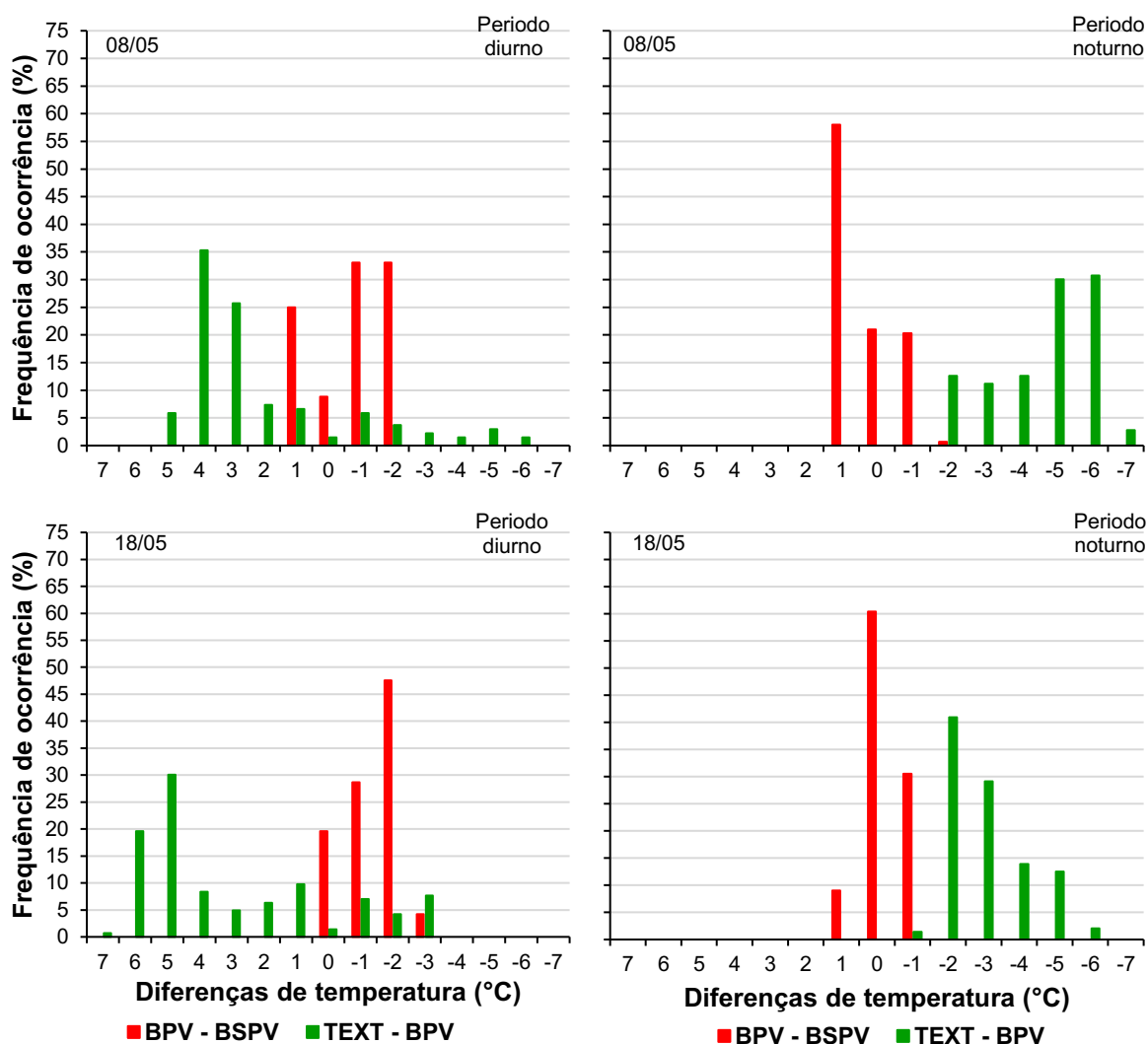
Gráfico 5 - Comportamento da temperatura externa e interna dos modelos construídos, com e sem o módulo de parede verde com a vegetação



Fonte: Autoria própria.

Legenda: TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde.

Gráfico 6- Distribuição de frequência das diferenças de temperatura interna entre os modelos construídos e entre a temperatura externa, com a utilização do módulo com vegetação



Fonte: Autoria própria.

Legenda: 08/05 – dados de temperatura do dia 08/05/20; 18/05 – dados de temperatura do dia 18/05/20; Período diurno – das 06h às 18h; Período noturno das 18h às 06h; BPV - BSPV – temperatura interna do bloco parede verde menos a temperatura interna do bloco sem parede verde; TEXT - BPV – temperatura externa menos a temperatura interna do bloco com parede verde.

Notou-se duas situações distintas ao longo do período noturno, visto que no dia 18/05, no qual foram registradas as maiores temperaturas, as TINT dos modelos construídos permaneceram iguais em 60% do tempo. Já no dia 08/05, essa diferença foi de 1°C em 58% do tempo (Gráfico 6), evidenciando que a parede verde proporcionou um maior isolamento em situações mais frias, dificultando o contato entre as baixas temperaturas e a superfície externa do modelo construído, visto que nesse dia a TEXT chegou a 8°C (Gráfico 5), tornando o ambiente interno mais confortável. Essa eficiência fica evidente quando relacionada à TEXT, visto que no dia 08/05 em 62% do tempo, a TINT do BPV ficou ao menos 5°C mais quente, chegando

até 7°C (Gráfico 6), próximo às 5h da manhã (Gráfico 5).

Os valores médios para TINT MAX dos modelos construídos, durante a EP3, foram de 23,2°C para o BPV e 24,6°C para o BSPV, enquanto a TEXT teve seu valor médio próximo de 27°C, inferior aos observados nas outras etapas, nas quais se mostrou superior a 30°C (Tabela 1).

O tempo médio observado para o atraso térmico ficou próximo de 1 hora, tanto para as situações de máximas quanto de mínimas temperaturas, tanto no BPV quanto no BSPV (Tabela 1). No entanto, observou-se uma tendência de diminuição no atraso térmico no BPV, quando se compara EP1, EP2 e EP3, indicando que a presença das plantas e da irrigação reduzem a amplitude térmica e aumentam o amortecimento em relação ao BSPV (Tabela 1).

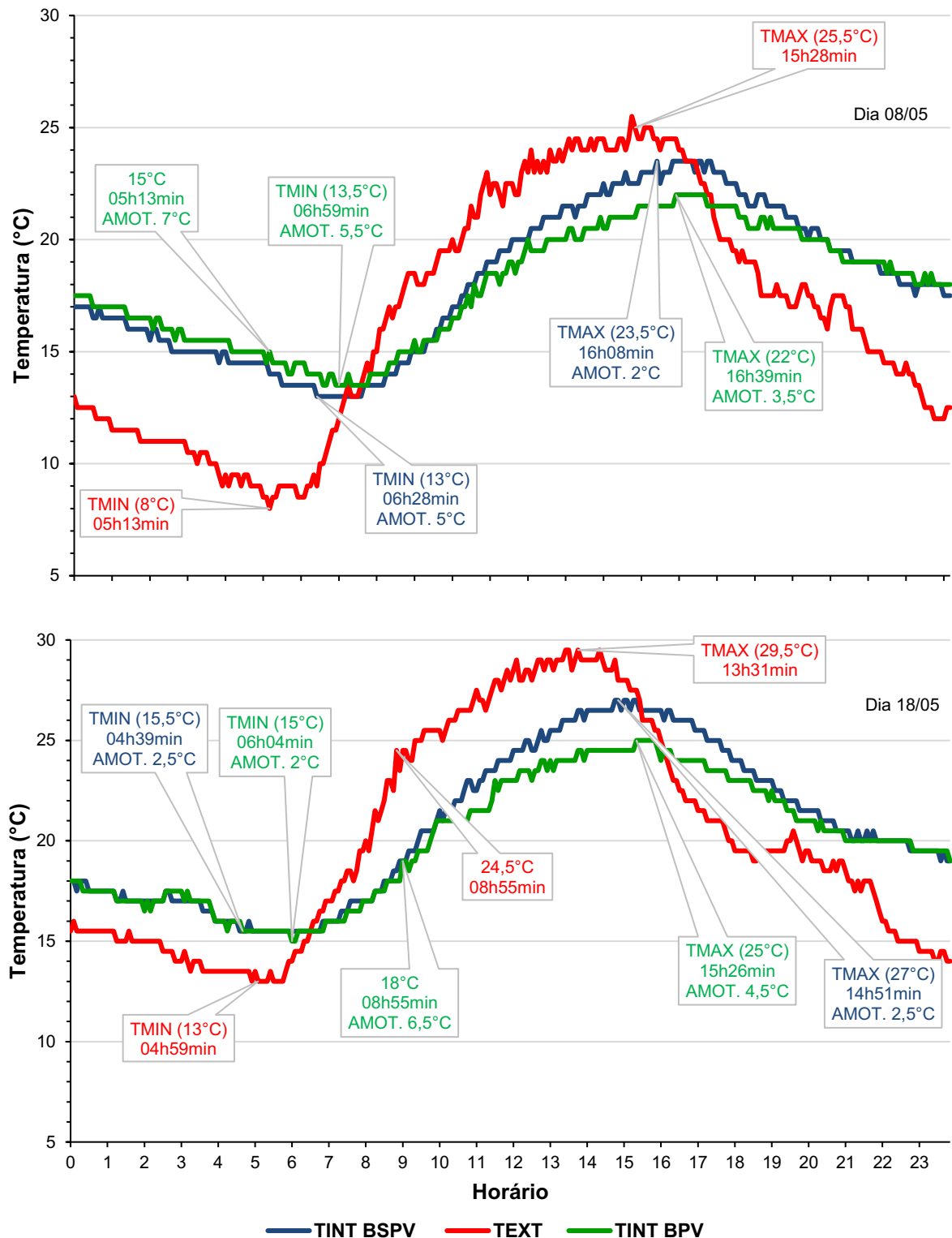
A presença da parede verde promoveu um amortecimento de 4,5°C no horário de pico no dia mais quente (AMOT TMAX) (18/05) e se mostrou até 7°C mais quente (amena) que a TEXT na noite mais fria (AMOT TMIN) (08/5) (Gráfico 7), ilustrando a influência da vegetação na atenuação da temperatura interna no BPV.

Embora os valores médios de atraso térmico tenham sido parecidos (Tabela 1), quando esse foi analisado em dias típicos, observou-se que o BPV apresentou um atraso térmico maior quando comparado ao BSPV tanto em situações de TMAX quanto de TMIN), exibindo seus picos de temperatura máxima em torno de 30 minutos mais tarde e até 1h23min depois que o BSPV para atingir as temperaturas mais baixas (Gráfico 7). Isso mostra que a parede verde, durante a EP3, em situações de TEXT mais alta ou mais baixa, conferiu um maior conforto térmico ao ambiente interno, proporcionando uma redução em sua amplitude térmica, e uma tendência dos horários de mínimas temperaturas ocorrerem no mesmo intervalo de tempo, entre as 6h e 7h da manhã (Gráficos 5 e 7).

Percebeu-se que a amplitude térmica nessas 2 datas analisadas (Gráfico 7), foi levemente menor no BPV (8,5°C e 10°C, respectivamente), do que no BSPV (10,5°C; 11,5°C), e que as diferenças mais evidentes entre as TINT dos blocos construídos foram observadas no horário de pico de temperatura máxima, tanto em função da presença das plantas quanto, possivelmente, pela irrigação às 14h00.

Com a implementação das plantas observou-se que as temperaturas do substrato ficaram abaixo das TINT dos modelos BPV e BSPV, ao longo do período monitorado (Gráfico 8). O valor médio de TMIN SUB (13,6°C) e sobretudo o de TMAX SUB (21,6°C) ficaram bem abaixo dos observados nas etapas anteriores (Tabela 1).

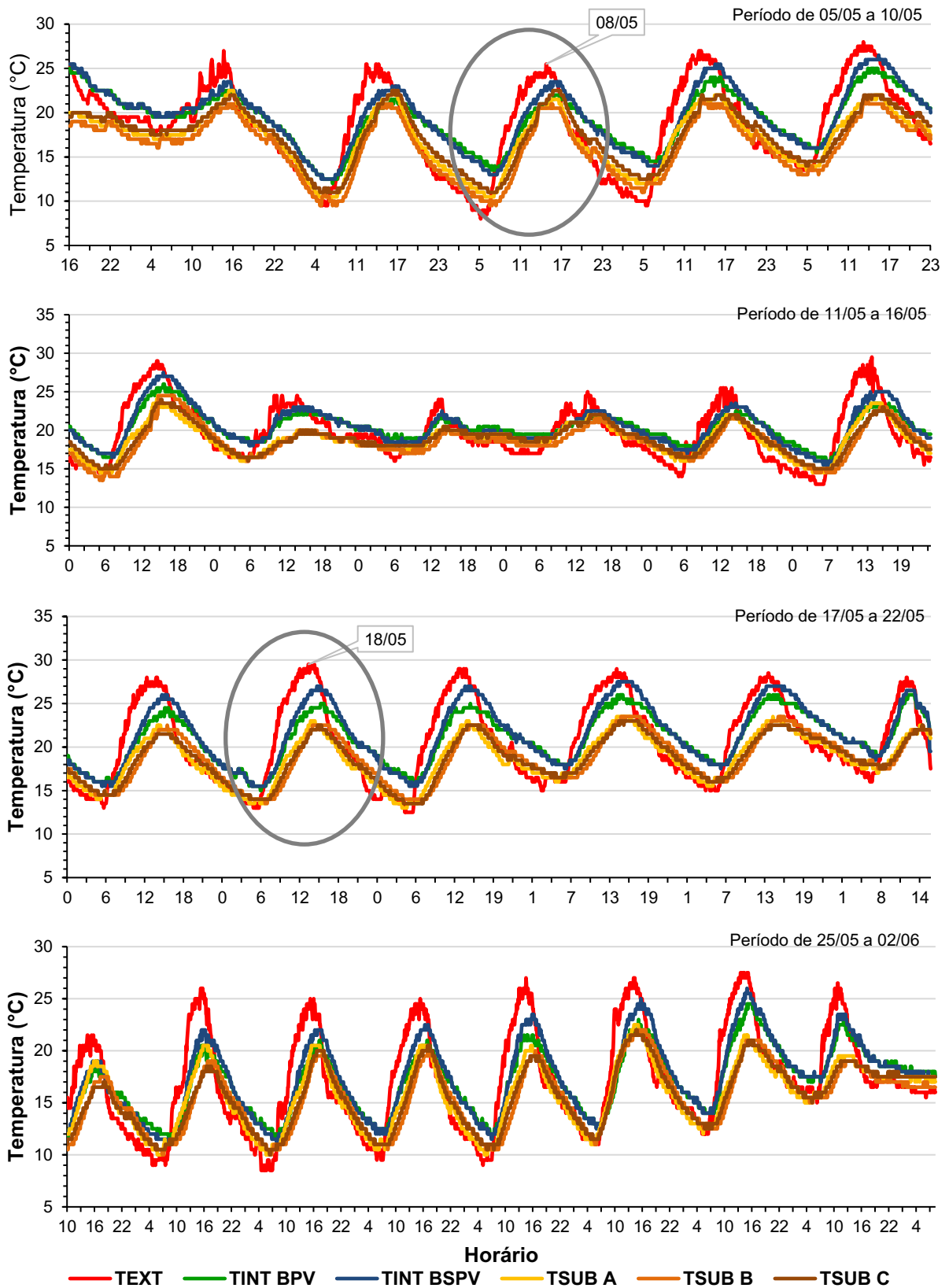
Gráfico 7 - Comportamento da temperatura em dias típicos de maio, utilizando módulo com vegetação no BPV



Fonte: Autoria própria.

Legenda: 08/05 – dados de temperatura do dia 08/05/20; 18/05 – dados de temperatura do dia 18/05/20; TMAX – temperatura máxima; TMIN – temperatura mínima; AMOT – amortecimento térmico; TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde.

Gráfico 8 - Comportamento da temperatura no substrato para módulo com vegetação no BPV



Fonte: Autoria própria.

Legenda: TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde; TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; TSUB A – temperatura do substrato no ponto A (com Asparago-pendente); TSUB B – temperatura do substrato no ponto B (com Clorofito); TSUB C – temperatura do substrato no ponto C (com Singônio).

Mesmo com as temperaturas externas não muito elevadas apresentadas ao longo da EP3 (Tabela 1), percebeu-se que as TMAX do substrato chegaram a ficar 7°C mais fria que a TEXT, no dia 01/06 (Gráfico 8). Evidenciando a capacidade de atenuação térmica promovida pelo sombreamento das plantas, reduzindo a quantidade de energia térmica incidente no substrato (DIMOUNDI; NIKOLOPOULOU, 2003).

A temperatura monitorada entre a folhagem, se mostrou similar à TEXT, não havendo diferenças entre as três espécies utilizadas (Gráfico 9).

De maneira geral observou-se que tanto a irrigação quanto a vegetação promoveram uma redução na temperatura apresentada junto ao substrato, visto que as menores temperaturas observadas ocorreram durante o terceiro experimento. Percebeu-se que as três espécies utilizadas apresentaram uma atenuação térmica semelhante dos seus respectivos substratos (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores médios para temperatura no substrato e entre a folhagem no BPV, nos 3 pontos de medição

Parâmetros	Pontos/Espécies		
	Ponto A Aspargo	Ponto B Clorofito	Ponto C Singônio
TMAX SUB (°C)	21,91 ± 1,31	21,37 ± 1,49	21,52 ± 1,4
TMIN SUB (°C)	13,50 ± 2,63	13,41 ± 2,71	13,93 ± 2,62
TMAX FOLH (°C)	27,61 ± 1,69	28,24 ± 1,48	27,33 ± 1,60
TMIN FOLH (°C)	12,00 ± 2,92	12,89 ± 2,96	11,96 ± 2,88

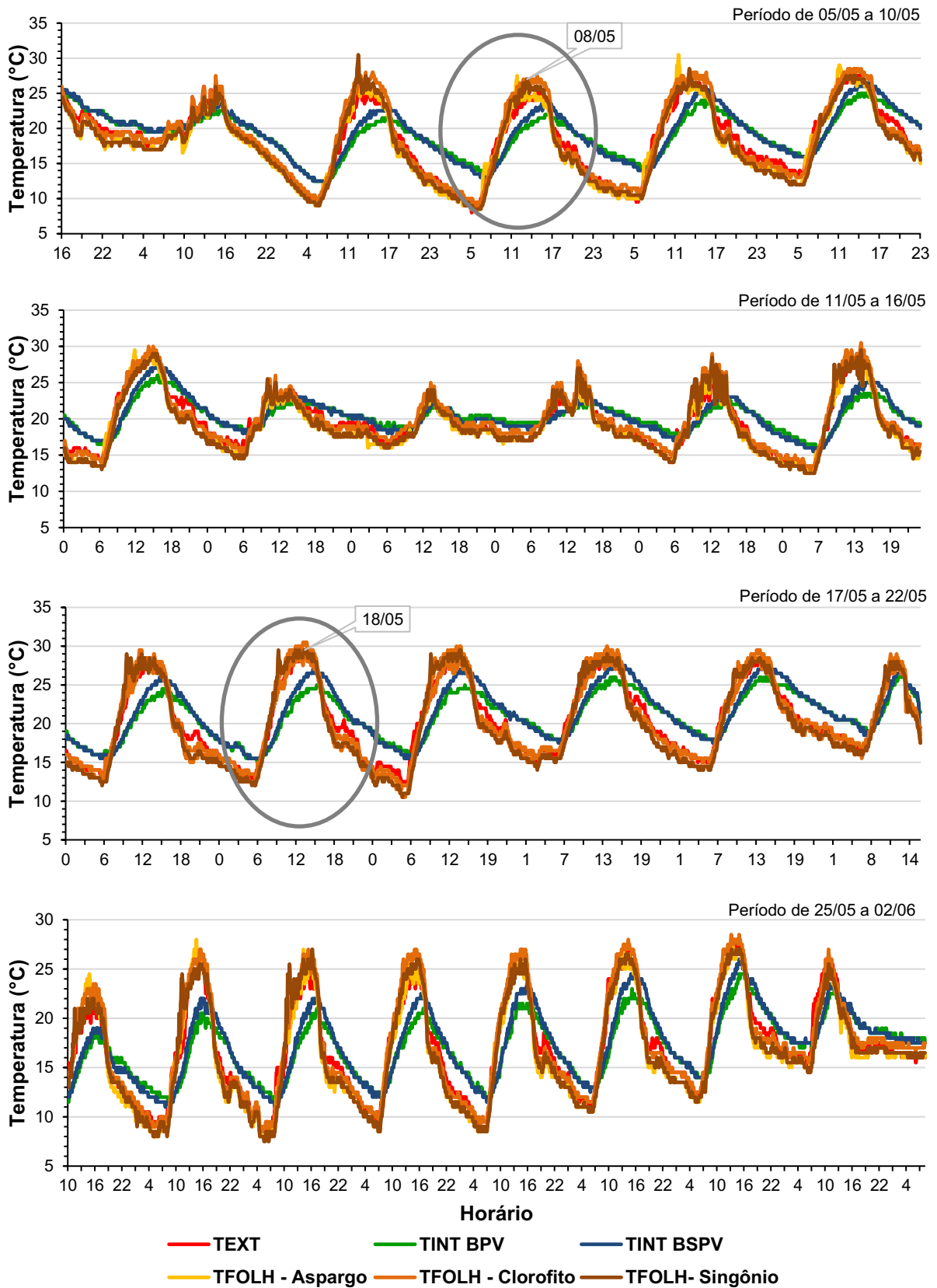
Fonte: Autoria própria.

Legenda: TMAX SUB – temperatura máxima do substrato; TMIN SUB – temperatura mínima do substrato; TMAX FOLH – temperatura máxima entre a folhagem; TMIN FOLH – temperatura mínima entre a folhagem; ± desvio padrão.

A temperatura monitorada junto à folhagem se mostrou similar à TEXT, tanto no período diurno, quanto noturno (Gráfico 9), não se observando diferenças entre as três espécies utilizadas. Os valores médios de temperatura junto à folhagem ficaram em torno de 28°C para TMAX (Tabela 2), sendo semelhante aos valores médios de TEXT ao longo do período monitorado, que foi de 26,8°C (Tabela 1).

Notou-se que durante os dias selecionados, a diferença de temperatura do substrato nos 3 pontos analisados não foi superior a 1,5°C, tanto em situações de TMAX quanto de TMIN, e que houve uma tendência da temperatura do substrato, no ponto A, aquecer mais rapidamente, provavelmente pela superfície foliar do Aspargos gerar menos proteção contra a radiação solar (Gráficos 10 e 11).

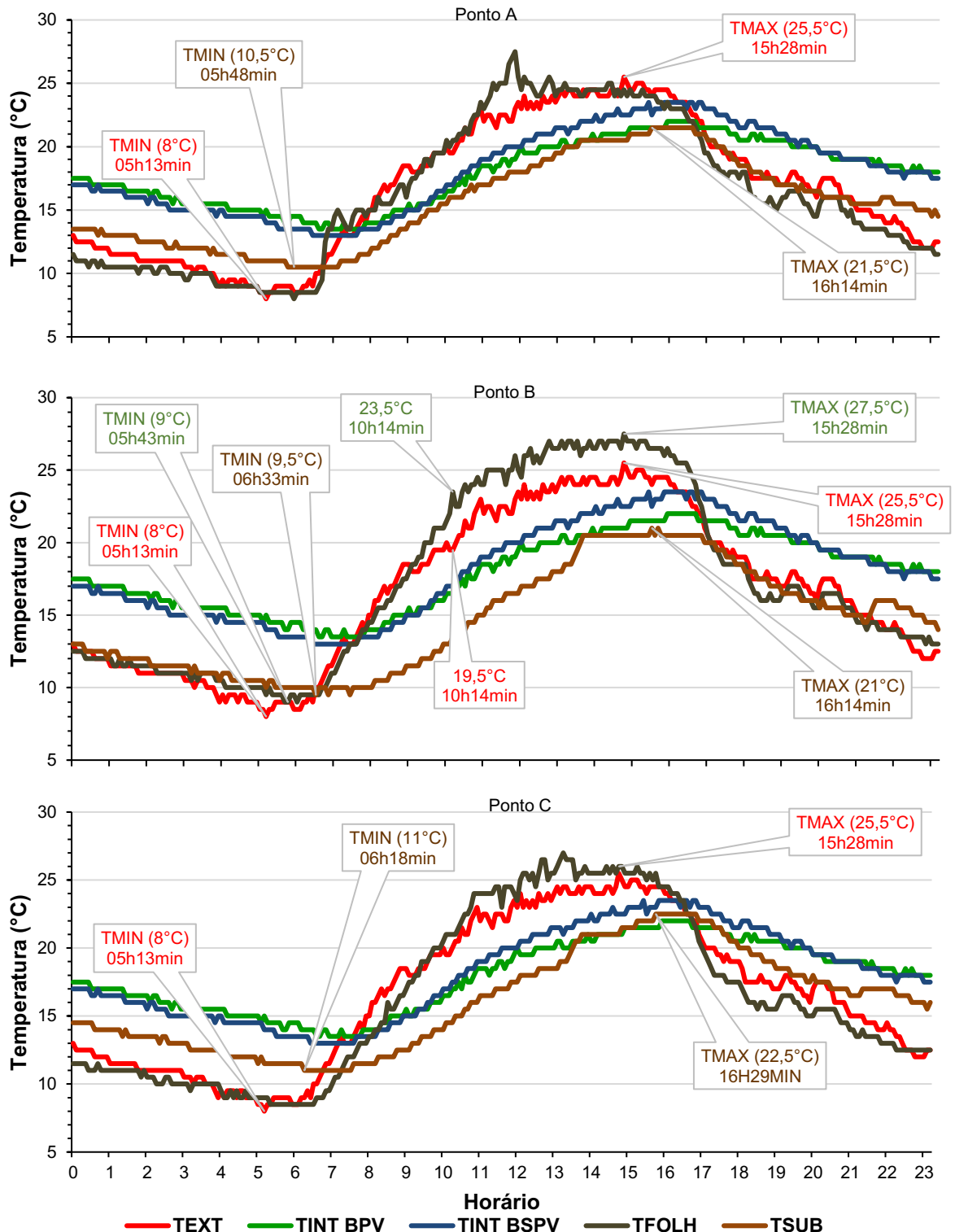
Gráfico 9 - Variação de temperatura entre a folhagem de 3 espécies no módulo BPV



Fonte: Autoria própria.

Legenda: TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde; TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; TFOFH – temperatura entre a folhagem de cada espécie; Aspargo – espécie Aspargo-pendente.

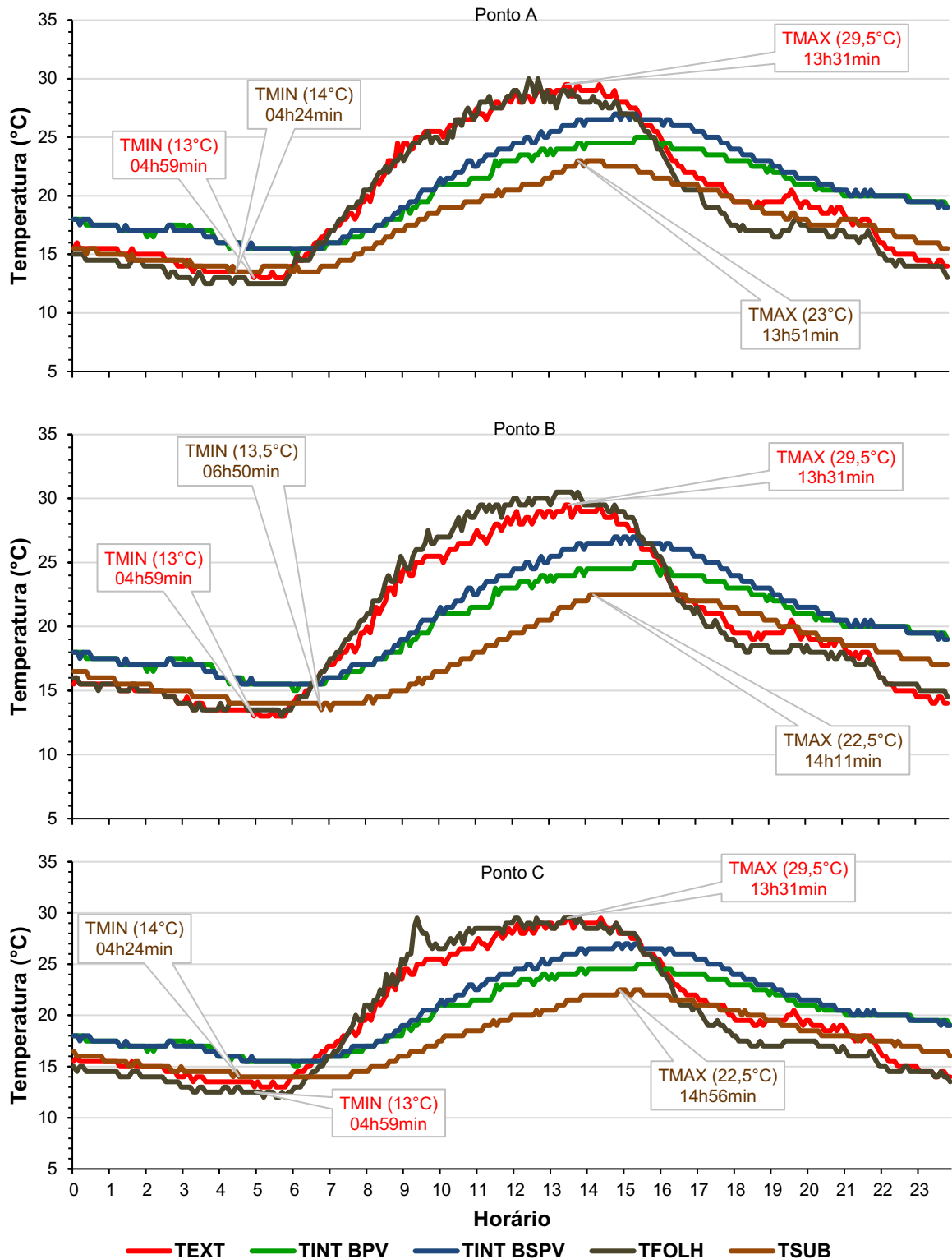
Gráfico 10 - Variação de temperatura no substrato e entre a folhagem no módulo com vegetação, no dia 08/05, nos 3 pontos de medição do BPV



Fonte: Autoria própria.

Legenda: Ponto A: localização do Aspargo-pendente; Ponto b: localização do Clorfito; Ponto C: localização do Singônio; TMIN – Temperatura mínima; TMAX – Temperatura máxima; TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde; TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; FOLH – temperatura entre a folhagem; Tsub – temperatura no substrato.

Gráfico 11 - Variação de temperatura no substrato e entre a folhagem no módulo com vegetação, no dia 18/05, nos 3 pontos de medição do BPV



Fonte: Autoria própria.

Legenda: Ponto A: localização do Aspargos-pendente; Ponto b: localização do Clorofito; Ponto C: localização do Singônio; TMIN – Temperatura mínima; TMAX – Temperatura máxima; TEXT – temperatura externa; TINT BPV – temperatura interna do bloco com parede verde; TINT BSPV – temperatura interna do bloco sem parede verde; FOLH – temperatura entre a folhagem; TSUB – temperatura no substrato.

Ao longo dos dias selecionados, a maior diferença da temperatura entre a folhagem em relação à TEXT ocorreu entre as 10 h e as 14 h, no dia 08/05, sendo que a Tfolh no ponto B (Clorofito) chegou a ficar 4°C maior. No período noturno a Tfolh do Clorofito (Ponto B) se manteve 1°C mais quente que a TEXT (Gráfico 10). Essa temperatura mais elevada junto à folhagem pode estar relacionada ao efeito proporcionado pela camada de ar retida entre a folhagem, que em situações de baixas temperaturas, previne o contato entre a superfície externa da edificação, com as baixas temperaturas externas (PECK et al., 1999).

Já, analisando o dia mais quente (Gráfico 11) percebeu-se que os valores de Tfolh ficaram mais próximos à TEXT, próximo de 30°C. Cabe destacar que a temperatura foliar ótima para realização da fotossíntese situa-se na faixa de 20 a 30°C para as plantas C₃ (MAJEROWICZ, 2004).

Notou-se que em situações de baixas amplitudes térmicas, com temperaturas amenas, a implementação de um sistema de parede verde não demonstrou grandes influências no comportamento térmico do modelo construído, visto que nessas situações, a diferença observada entre a TINT de ambos os modelos (BPV e BSPV) foi inferior a 1°C em ao menos 50% do tempo.

Utilizando o mesmo modelo e as mesmas espécies, Silva (2019) observou uma atenuação térmica média na TINT de 7°C para TMAX, e 4°C para TMIN, em relação à TEXT, durante o mês de outubro, com atraso térmico próximo de 3h nos horários de pico de temperatura. Percebe-se, assim, que durante a primavera, provavelmente em função das maiores temperaturas (TMAX média de 32,45°C, chegando até 38°C), o sistema de parede verde se mostrou mais eficaz.

Valores semelhantes entre o amortecimento térmico médio, observado na EP3, em situações de TMIN (Inferiores a 3°C), foi encontrado por Morelli, que monitorou, durante o outono, o comportamento térmico de seu modelo construído, onde foi implementado um sistema de fachada verde indireta, em três faces de sua edificação. Já para TMAX, os valores de amortecimento médio observados pela autora (6°C), foram superiores ao observado durante a EP3, onde em ambos os experimentos, a TEXT média ficou próxima a 27,5°C, para TMAX, enquanto que para TMIN, as médias calculadas por Morelli foram superiores, próximas à 17°C.

Valores superiores ao observados ao longo da EP3, foi observado por Morelli, em relação a diferença de temperatura interna entre seus modelos, onde, seu modelo com parede verde, se mostrou em média 3,87°C mais quente em situações de TMIN,

e 2,18°C mais amena (fria) em situações de TMAX, quando comparado com seu modelo de controle, evidenciando que, a implementação de um sistema de fachada verde em três faces, conferiu a edificação, um maior isolamento térmico, reduzindo a transferência de calor entre os ambientes internos e externos.

Dunnett e Kingsbury (2008) destacam, que a implementação de uma combinação de espécies perenes e caducifólias, ao longo de todas as faces da edificação, promovem uma melhora em sua eficiência. Os mesmos autores, sugeriram que em regiões frias, com invernos rigorosos, é recomendado o uso de espécies caducifólias na face com maior incidência solar. Isso por que, com a perda das folhas na estação fria, haverá maior ganho de calor entre a edificação e a radiação solar incidente, ao longo do período diurno. Além disso, recomendaram o uso de espécies perenes nas outras faces da edificação, pois ao manterem sua folhagem durante períodos mais frios, dificultam a transferência de calor entre a edificação e o ambiente externo, fornecendo uma proteção contra os fluxos de ar com baixas temperaturas.

Observou-se que a utilização de espécies perenes em apenas uma face do modelo, ao longo da EP3, não comprometeu seu isolamento térmico em situações de baixas temperaturas (8°C), onde ambos os modelos apresentaram TINT inferiores a 14°C.

Caetano (2014) destacou que, a soma da atenuação térmica com o atraso térmico proporcionado pela implementação de um sistema de parede verde, promove um maior conforto térmico à edificação, visto que ocorre o deslocamento dos horários de pico de temperatura interna para horários em que a TEXT não apresenta seus picos de temperatura. Percebeu-se que as características construtivas dos modelos construídos, proporcionaram grande parte do amortecimento e atraso térmico observados no interior dos modelos, visto que suas médias foram similares ao longo das três etapas, indicando, que durante o outono, a implementação do sistema de parede verde não conferiu um maior conforto térmico, em grande parte do período monitorado. Porém, nos momentos de temperaturas mais elevadas ou mais frias, observou-se que a implementação de um sistema de parede verde, conferiu ao BPV, um maior conforto térmico, onde sua TINT apresentou menor amplitude térmica, com maiores deslocamentos nos horários de pico de temperatura interna.

Durante os períodos quentes do ano, especialmente em regiões de climas quentes, o sombreamento pelas folhas reduz a incidência da radiação solar na superfície da edificação, reduzindo o fluxo de calor para o ambiente interno (WONG,

2009, 2010 apud PEREZ et al. 2011). Outro aspecto que merece destaque é o resfriamento evaporativo, seja a partir da umidade do substrato, ou da evapotranspiração das plantas (PEREZ et al. 2011). Observou-se que, ao longo da EP3, o BPV chegou a apresentar TINT até 6,5°C mais fria que a TEXT, e 2°C inferior ao BSPV, no dia de maior temperatura (18/05), indicando o efeito do sombreamento pelas folhas, em conjunto com o resfriamento evaporativo, na atenuação da TINT do modelo construído, conforme descrito pelos mesmos autores.

6 CONCLUSÃO

A implantação do sistema modular de parede verde, utilizando apenas o substrato e sem irrigação, promoveu um grande aquecimento do substrato, porém isso não interferiu na média da temperatura interna da edificação, que se manteve semelhante ao bloco de controle.

Com a implementação da irrigação verificou-se que a média da temperatura máxima do substrato se manteve semelhante à média da temperatura máxima externa. No entanto, a utilização do módulo de parede verde, com irrigação, mas sem as plantas, promoveu uma pequena redução na média da temperatura interna máxima do BPV, que se mostrou 1,1°C mais ameno que o BSPV.

Durante o outono, a implantação do módulo de parede verde completo, com plantas, promoveu durante os horários de pico no período diurno, temperaturas internas máximas levemente inferiores (1,4°C) às do BSPV, mantendo uma amplitude térmica interna de 7,8°C. Tendo como modelo um dia de outono com temperatura máxima de 29,5°C a TINT do BPV se mostrou 2°C mais amena que o BSPV no horário de pico de temperatura e até 6,5°C mais amena (fria) que a TEXT, próximo às 9h da manhã.

Não foram observadas diferenças na temperatura junto à folhagem das três espécies utilizadas, sendo que as médias TMAX nos três pontos ficaram próximas de 28°C, semelhante à observada para a temperatura externa.

Conclui-se que a parede verde com espécies perenifólias se mostrou eficiente em promover uma atenuação térmica mesmo em dias de outono, quando as temperaturas não foram muito elevadas, conferindo conforto ao interior da edificação e contribuindo para uma possível economia de energia, ao reduzir o uso de aparelhos de ar-condicionado nas horas mais quentes do dia.

7 REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 15220 Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social**. Disponível em:

<https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/projetos/normalizacao/Termica_parte3_SET_2004.pdf>. Acesso em: 24 set. 2020.

AGUIAR, P. **Em SP, moradores do Minhocão exigem remoção de jardins verticais**. 2019. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/sao-paulo/em-sp-moradores-do-minhocao-exigem-remocao-de-jardins-verticais-16072019>>. Acesso em: 15 out. 2020.

AKBARL, H.; TAHA, H. the Impact of Trees and White Surfaces Residential Heating and Cooling Energy on. **Energy**, v. 17, n. 2, p. 141–149, 1992.

ANDRADE, K. G.; ALVES, R. V. Telhado verde: uma análise comparativa do conforto térmico e vantagens em relação aos telhados convencionais. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 9, n. 3, p. 200 206, 2017.

BARBOSA, M. C. **Avaliação da influência térmica de um jardim vertical de tipologia parede viva contínua**. Dissertação de mestrado em Arquitetura - Departamento de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2019.

BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. DE C. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 2, p. 114, 2016.

BIANCHI, R. **Telhado verde: como montar o seu utilizando sistemas prontos**. 2017. Disponível em:

<<https://arquiteturaeconstrucao.abril.com.br/sustentabilidade/como-montar-o-seu-telhado-verde-usando-sistemas-prontos/>>. Acesso em: 17 out. 2020.

BLANCK, P. **QUAI BRANLY JACQUES CHIRAC MUSEUM**. 2004. Disponível em: <<https://www.verticalgardenpatrickblanc.com/realisations/paris/quai-branly-jacques-chirac-museum>>. Acesso em: 15 out. 2020.

BOEGER, M. R. T. et al. Variação Estrutural Foliar De Espécies Mediciniais Em Consórcio Com Erva-Mate, Sob Diferentes Intensidades Luminosas. **Floresta**, v. 39, n. 1, p. 215–225, 2009.

BONDE. **Telhados verdes geram economia e podem reduzir até 6°C a temperatura ambiente**. Disponível em: <<https://www.bonde.com.br/casa-e-decoracao/noticias/telhados-verdes-geram-economia-e-podem-reduzir-em-ate-6c-a-temperatura-ambiente-495162.html>>. Acesso em: 15 out. 2020.

CAETANO, F. D. N. **Influência de muros vivos sobre o desempenho térmico de edifícios**. Dissertação de mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade - Centro de Engenharia civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas.

Campinas, 2014.

CANTUÁRIA, G. **Microclimatic impact of vegetation on building surfaces**. Architecture master dissertation - Architectural department, Architectural Association Graduate School. London, 1995.

COSTA, J. B.; CARMO, L. C. **Projetos Estruturais**. Disponível em: <[http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/Projetos Estruturais - Apostila PUC GO.pdf](http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/14280/material/Projetos%20Estruturais%20-%20Apostila%20PUC%20GO.pdf)>. Acesso em: 15 out. 2020.

DALMUT, T. **Como cuidar da Columéia (Planta Batom)**. Disponível em: <<https://thaisadalmut.com/blog/casa-decor/como-cuidar-da-columeia-planta-batom/>>. Acesso em: 24 set. 2020.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the Urban Environment. **Energy and Buildings**, v. 35, p. 69–76, 2003.

DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. **Planting green roofs and living walls**. Illustrated ed. Portland: Timber Press, 2008.

ECOTELHADO. **Telhado Verde Laminar Alto**. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/telhado-verde/laminar-alto/>>. Acesso em: 14 out. 2020a.

ECOTELHADO. **Plantas para Jardim Vertical / Parede Verde**. Disponível em: <<https://ecotelhado.com/sistema/jardim-vertical/plantas-jardim/>>. Acesso em: 18 out. 2020b.

ECOVITA. **Jardim Vertical**. Disponível em: <<https://ecovitaconstrutora.com.br/jardim-vertical-casa/>>. Acesso em: 24 set. 2020.

FEITOSA, R. C.; WILKINSON, S. Green roofs and green walls and their impact on health promotion. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 34, n. 7, p. 1–4, 2018.

GAMA, V. N. **Análises morfofisiológicas de plantas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) cultivadas em pleno sol e em sombreamento natural**. Tese de mestrado em Biologia Vegetal, Área de Concentração: Fisiologia Vegetal - Centro de Ciências Humanas e Naturais, Universidade Federal Do Espírito Santo. Vitória, 2013.

GARCIA, E. **Jardim vertical instalado em prédio no Minhocão, região central de São Paulo**. Disponível em: <<https://img.r7.com/images/jardim-vertical-minhocao-15072019180849411>>. Acesso em: 15 out. 2020.

GARDENWALL. **Plantas para Jardim Vertical**. Disponível em: <<https://gardenwall.com.br/blog/dicas-materias/item/6-plantas-para-jardim-vertical>>. Acesso em: 24 set. 2020.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. 1 ed. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2011.

- GBC BRASIL. **Compreenda o LEED**. 2014. Disponível em: <<https://www.gbcbrasil.org.br/wp-content/uploads/2017/09/Compreenda-o-LEED-1.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2019.
- GRIMM, A. M. **Meteorologia básica - notas de aula**. 1999. Disponível em: <<http://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/>>. Acesso em: 20 out. 2020.
- INCOPERA, F. P. et al. **Fundamentals of heat and mass transfer**. 7. ed. Nova Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- KONTOLEON, K. J.; EUMORFOPOULOU, E. A. The effect of the orientation and proportion of a plant-covered wall layer on the thermal performance of a building zone. **Building and Environment**, v. 45, n. 5, p. 1287–1303, 2010.
- LAMBERTS, R. **Desempenho térmico em edificações**. 2016. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf>. Acesso em: 2 out. 2020.
- LOBODA, C. R.; ANGELIS, B. L. D. Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. **Ambiência**, v. 1, n. 1, p. 125–139, 2005.
- MAJEROWICK, N. Fotossíntese. In: KERBUAY, G.B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. P. 115-178.
- MANSANI, A. ; SANTOS, L. ; BERTEQUINI, A. B. Paredes verdes em edifícios. **XVIII ENPEX**, p. 1–12, nov. 2018.
<<https://servicos.unitoledo.br/repositorio/bitstream/7574/2172/1/PAREDES%20VERDES%20EM%20EDIF%20C3%8DCIOS.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- MARTINS, M. **O que é o processo aqua?**. 2009. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/Processo_Certificacao_AQUA_Alt_a_Qualidade_Ambiental_Manuel_Martins.PDF>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- MATHEUS, C. et al. Desempenho térmico de envoltórias vegetadas em edificações no sudeste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 16, n. 1, p. 71–81, 2016.
- MCPHERSON, E. G.; HERRINGTON, L. P.; HEISLER, G. M. Impacts of vegetation on residential heating and cooling. **Energy and Buildings**, v. 12, p. 41–51, 1988.
- MORELLI, D. D. O. **Desempenho de paredes verdes como estratégia bioclimática**. Tese de doutorado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade - Departamento de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2016.
- MORIBE, C. C. B. **Jardins verticais e suas potencialidades no ambiente urbano**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia civil - Centro de Ciências Exatas Tecnológicas e Agrárias, UNICESUMAR - centro universitário de Maringá. Maringá, 2018.

ODUM, E. P. **Fundamentos Da Ecologia**. 6 ed. Lisboa: Editora Fundação Calouste Gulbenkian, 1990.

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**, v. 2, n. 1, p. 36–55, 2016.

PARANÁ. **LEI Nº 14.771, DE 17 DE DEZEMBRO DE 2015**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2015/14771/14771/lei-ordinaria-n-14771-2015-dispoe-sobre-a-revisao-do-plano-diretor-de-curitiba-de-acordo-com-o-disposto-no-art-40-3-do-estatuto-da-cidade-para-orientacao-e-controle-do-desenvolvim>>. Acesso em: 30 set. 2020.

PATRO, R (a). **Samambaia-paulista**. Disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/samambaia-paulista-nephrolepis-pectinata.html>>. Acesso em: 24 set. 2020.

PATRO, R (b). **Hera – *Hedera helix***. Disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/hera-hedera-helix.html>>. Acesso em: 24 set. 2020.

PATRO, R (c). **Jibóia – *Epipremnum pinnatum***. Disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/jiboia-epipremnum-pinnatum.html>>. Acesso em: 24 set. 2020.

PECK, S. W. et al. **Greenbacks from green roofs : Forging a new industry in Canada**. Status report on benefits, barriers and opportunities for green roof and vertical garden technology diffusion - Canada Mortgage and Housing Corporation. Ottawa, 1999.

PÉREZ, G. et al. Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. **Applied Energy**, v. 88, n. 12, p. 4854–4859, 2011.

PERNAMBUCO. **LEI Nº 18.112/2015**. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a1/pe/r/recife/lei-ordinaria/2015/18112/18112/lei-ordinaria-n-18112-2015-dispoe-sobre-a-melhoria-da-qualidade-ambiental-das-edificacoes-por-meio-da-obrigatoriedade-de-instalacao-do-telhado-verde-e-construcao-de-reservatorios-d>>. Acesso em: 30 set. 2020.

PIRES, R. C. DE M. et al. Efeito de níveis de água, coberturas do solo e condições ambientais na temperatura do solo e no cultivo de morangueiro em ambiente protegido e a céu aberto. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p. 663–674, 2004.

PUGH, T. A. M. et al. Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. **Environmental Science and Technology**, v. 46, n. 14, p. 7692–7699, 2012.

RAMIRES, J. Z.; MELLO-THÉRY, N. A. Uso e Ocupação do solo em São Paulo, alterações climáticas e o risco ambiental contemporâneo. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**. n 34. 2018.

RIBAS, G. G. et al. Temperatura do solo afetada pela irrigação e por diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 5, p. 817–828, 2015.

RIBEIRO, D. **Fachadas Verdes: Uma Solução Sustentável**. 2016. Disponível em: <<https://superfluonecessario.com.br/fachadas-verdes-uma-solucao-sustentavel/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

SANTOS, V. **Entenda sobre o sistema de irrigação por aspersão e saiba como usá-lo**. Disponível em: <<https://www.irrigacao.net/irrigacao/entenda-sobre-o-sistema-de-irrigacao-por-aspersao-e-saiba-como-usa-lo/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

SÃO PAULO. **DECRETO Nº 55.994 DE 10 DE MARÇO DE 2015**. Disponível em: <<http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/decreto-55994-de-10-de-marco-de-2015>>. Acesso em: 30 set. 2020.

SCHERER; ALVES; REDIN. Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas. **Revista de Arquitetura IMED**, v. 7, p. 84–101, jul. 2018.

SEIXAS, C. D. . **Efeito do uso de parede verde na temperatura interna de bloco construído com tijolo cerâmico**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

SHINZATO, P.; DUARTE, D. H. S. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos. **Ambiente Construído**, v. 18, n. 2, p. 1970–215, 2009.

SILVA, R. O. **Desempenho térmico de paredes verdes na fachada norte em modelo reduzido: um estudo para a zona bioclimática de Londrina**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental - Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2019.

SKY GARDEN, E. **Telhado Verde SkyGarden Mata Atlântica**. Disponível em: <https://www.skygarden.com.br/index.php?option=com_nivosliderpro&task=showimage&img=aW1hZ2VzL3NreWdhcmRlbi9zbGlkZXNob3cvVGVsSaGFkby1WZXJkZS1Ta3IHXYJkZW4tTWf0YS1BdGxhbnRyY2EuanBn&w=750&h=434&t=exact>. Acesso em: 15 out. 2020.

SODORÉ. **Asparagaceae**. Disponível em: <http://www.ceapdesign.com.br/familias_botanicas/asparagaceae.html>. Acesso em: 24 set. 2020.

SOUSA, R. B. **Jardins Verticais : um contributo para os espaços verdes urbanos e oportunidade na reabilitação do edificado**. Dissertação de mestrado em Arquitetura - Departamento de Arquitetura, Universidade Lusófona do Porto. Porto, 2012.

SOUZA, M. et al. Implantação de um sistema de medição em refletância espectral difusa. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, v. 7, n. September 2014, p. 0–4, 2013.

STAMMER. **Paredes e telhados verdes começam a fazer parte da paisagem urbana**. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/haus/paisagismo-jardinagem/paredes-e-telhados-verdes-comecam-a-fazer-parte-da-paisagem-urbana/>>. Acesso em: 15 out. 2020.

TASSI, R. et al. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 139–154, 2014.

UTFPR. **Fachadas verdes auxiliam para temperaturas mais agradáveis e economia de eletricidade**. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/noticias/francisco-beltrao/utfpr-sustentavel-1>>. Acesso em: 30 nov. 2020.

VASCONCELOS, B. M. **A influência do jardim vertical no microclima: análise preliminar dos indicadores climáticos temperatura e umidade do ar**. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental e Sanitária - Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2016.

VERT PAISAGISMO. **Paredes verdes, 4 porquês delas serem tão caras**. Disponível em: <<https://www.vertpaisagismo.com.br/post/paredes-verdes-4-porquês-delas-serem-tão-caras>>. Acesso em: 18 out. 2020.

WILMERS, F. Effects of vegetation on urban climate and buildings. **Energy and Buildings**, v. 15, n. 3–4, p. 507–514, 1990.