

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

**LUIZA SOBHE MUÑOZ**

**POTENCIAL AMENIZADOR TÉRMICO DE JARDIM VERTICAL DO TIPO  
FACHADA VERDE INDIRETA: ESTUDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE  
TREPADEIRAS**

**LUIZA SOBHE MUÑOZ**

**POTENCIAL AMENIZADOR TÉRMICO DE JARDIM VERTICAL DO TIPO  
FACHADA VERDE INDIRETA: ESTUDOS COM DIFERENTES ESPÉCIES DE  
TREPADERAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Bauru, como requisito para a obtenção do título de mestre.

Orientador (a): Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Bauru  
2019

Muñoz, Luiza Sobhie.

Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta: estudos com diferentes espécies de trepadeiras / Luiza Sobhie Muñoz, 2019  
146 f. : il.

Orientadora: Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2019

1. Jardim vertical. 2. Fachadas verdes. 3. Atenuação solar. 4. Espaço de transição. 5. Microclimas I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LUIZA SOBHE MUNÓZ, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.**

Aos 30 dias do mês de agosto do ano de 2019, às 14:00 horas, no(a) Auditório dos Programas de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Professora Doutora MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES - Orientador(a) do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Professor Associado JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA do(a) Departamento de Arq Urb e Paisagismo / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Professora Titular BEATRIZ MARIA FEDRIZZI do(a) Departamento de Horticultura e Silvicultura / Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LUIZA SOBHE MUNÓZ, intitulada **Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta: estudos com diferentes espécies de trepadeiras.** Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Professora Doutora MARIA SOLANGE GURGEL DE CASTRO FONTES

Professor Associado JOAO ROBERTO GOMES DE FARIA

Professora Titular BEATRIZ MARIA FEDRIZZI

*M. Solange G. de Castro Fontes*

*[Handwritten signatures]*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, sempre tão presente e incentivadora em todos os momentos dessa caminhada. Em especial aos meus pais e irmãos, que viveram minhas aflições com os trabalhos de campo, ajustes de horário e condições de tempo. Agradeço também às minhas tias e aos meus avós sempre parte da minha torcida, em especial ao meu avô Walter (*in memorian*) que não pôde estar presente fisicamente na reta final, mas sim em espírito, tenho plena certeza.

À Prof<sup>a</sup>. Solange, minha orientadora, sempre tão incentivadora e amiga em todos os momentos dessa caminhada. Ao Fernando, da Gramas e Gramados do CEASA de Bauru, sempre pronto para resolver os diversos problemas de irrigação e por ter me ajudado muito quando tive problemas na montagem do jardim.

Ao Murilo, amigo querido que o mestrado me deu, sempre presente em todos os momentos e que também me ajudou muito em diversas situações. Formamos uma dupla de desbravamento sobre jardins verticais e suas peculiaridades.

Agradeço também a todos os amigos do mestrado que tornavam tudo tão mais leve e engraçado, em especial ao João Victor, à Bia Emboaba, que já me acompanha desde a graduação, à Bia Tonon e Carol, companheiras de viagem e muito especiais pra mim e à Mariana, pelas diversas caronas até Bauru.

Aos meus amigos e amigas de sempre, que torceram, acreditaram e incentivaram sempre. Um agradecimento especial à Ana Paula Vicente, que sempre está pronta pra me ajudar/ouvir e não pestanejou quando eu a chamei pra ir comigo até Bauru numa tentativa desesperada de fazer medições de inverno.

Agradeço também à Duda que, sem me conhecer direito, se dispôs a passar três dias de medições de verão me ajudando e fazendo companhia.

À Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação (FAAC) da UNESP, Campus de Bauru, por ter financiado o experimento.

Por fim, agradeço à Deus que, com seus motivos e técnicas misteriosos, me fez chegar até aqui sempre com muita alegria e prazer no que faço e colocou todas essas pessoas maravilhosas e especiais no meu caminho.

“Corpos em movimento, universo em  
expansão”

*Humberto Gessinger (Novos Horizontes)*

## RESUMO

As fachadas verdes são variedades de jardins verticais em que a vegetação do tipo trepadeira cresce e se desenvolve em superfícies verticais e podem ser classificadas em diretas e indiretas. A primeira cresce diretamente na parede da edificação, enquanto a segunda necessita de estruturas de suporte fixadas ou afastadas da mesma. Devido ao poder de sombreamento e às funções biológicas das trepadeiras, as fachadas verdes funcionam como dispositivos de amenização térmica, uma vez que sua cobertura vegetal bloqueia a passagem de grande parte da radiação solar para dentro da edificação. Neste contexto, esta pesquisa, de caráter experimental, teve como objetivo determinar e quantificar a atenuação de radiação solar de fachadas verdes indiretas com três diferentes espécies de trepadeiras (*Ipomoea horsfalliae*, *Passiflora Edulis* e *Thunbergia grandiflora*) em um espaço de transição situado no Campus da Universidade Estadual Paulista, em Bauru-SP. A pesquisa objetivou, ainda, verificar a influência das fachadas verdes nos microclimas (temperatura do ar, de globo e umidade absoluta do ar) de um espaço de transição com e sem a influência das mesmas. Além disso, foram analisados os aspectos morfológicos das espécies selecionadas que estão diretamente ligados com seu Potencial de Sombreamento (PSO) e, conseqüentemente, a atenuação da radiação solar promovida pela vegetação. Os resultados demonstram que, quanto maior o PSO das espécies, maior seu poder de atenuação da radiação solar. Assim, foram obtidas atenuações máximas de 92, 94 e 90% para as espécies *Passiflora edulis* (PSO 0,75), *ipomoea horsfalliae* (PSO 0,89) e *Thunbergia grandiflora* (PSO 0,57), respectivamente. Em relação à influência nos microclimas de um espaço de transição, os melhores desempenhos foram registrados para as variáveis temperatura do ar e temperatura radiante média, que apresentaram reduções de 4 e 2,8 °C (TAR) e 19 e 11,2 °C (TRM) em condições de tempo frio e quente, respectivamente.

**Palavras chave:** jardim vertical; fachadas verdes; atenuação solar; espaço de transição; microclimas.

## ABSTRACT

The green facades are varieties of vertical gardens in which the climber grows and develops on vertical surfaces and can be classified as direct and indirect. The first one grows directly on the wall of the building, while the second needs support structures attached to or away from it. Due of their shading power and the biological functions of climbers, green facades act as thermal mitigation devices, since their vegetation cover blocks the passage of much of the solar radiation into the building. In this context, this experimental research aimed to determinate and quantify the solar radiation attenuation of indirect green facades with three different species of climbers (*Ipomoea horsfalliae*, *Passiflora edulis* e *Thunbergia grandiflora*) in a transitional space located on the Campus of the State University of São Paulo, in Bauru-SP. The research also aimed to verify influence of green facades on local microclimates (air temperature, globe temperature and absolute air humidity) at points with influence of green facades and without influence of them. In addition, the morphological aspects of the selected species that are directly linked with their Shading Potential (PSO) and, consequently, the solar radiation attenuation promoted by the vegetation were analyzed. The results show that the higher the PSO of the species, the greater their solar radiation attenuation power. Thus, maximum attenuations of up to 92, 94 and 90% were obtained for *Passiflora edulis* (PSO 0,75), *Ipomoea horsfalliae* (PSO 0,89) and *Thunbergia grandiflora* (PSO 0,57) species, respectively. Regarding the influence on local microclimates, the best performances were recorded for air temperature and mean radiant, which showed reductions of up to 4 and 2,8 °C (TAR) and 19 and 11,2 °C (TRM) under conditions of cold and hot wheater, respectively.

**Key words:** vertical garden; green facades; solar attenuation; transition space; microclimates.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Os jardins suspensos da Babilônia .....	22
Figura 2 – Jardim vertical no Caixa Fórum, em Madrid.....	23
Figura 3 – Jardim vertical no Museu Quai Branly, em Paris.....	24
Figura 4 – Parede viva de autoria do botânico Patrick Blanc, em Londres .....	24
Figura 5 – A classificação dos jardins verticais de acordo com suas características	25
Figura 6 – Desenho esquemático de FVD plantada diretamente no solo e em jardineira.....	26
Figura 7 – Exemplos de FVD em prédios na cidade de Roma.....	27
Figura 8 – Desenho esquemático de FVI plantada diretamente no solo e em jardineira .....	28
Figura 9 – Exemplo de sistemas modulares.....	28
Figura 10 – Exemplo de edifício com fachada verde do tipo rede de cabos em Sevilha .....	29
Figura 11 – Exemplo de edifício com fachada verde do tipo treliçada .....	30
Figura 12 – Exemplo de aplicação de fachada verde indireta com tela de corda.....	30
Figura 13 – Fachada verde com espécie caducifolia em processo de perda foliar .....	3
Figura 14 – Experimento utilizado por Ip, Lam e Miller (2010) para o cálculo de transmitância solar .....	35
Figura 15 – Experimento dos autores Sunakorn e Yimprayoon .....	35
Figura 16 – Experimento dos autores Jaafar et al. (2013), com fachada verde indireta em sistema de cabos e jardineiras .....	36
Figura 17 – Experimento dos autores Koyama et al. (2013) .....	37
Figura 18 – Experimento dos autores Morelli e Labaki (2013) .....	37
Figura 19 – Experimento dos autores Safikhani et al. (2014).....	39
Figura 20 – Experimento de Cameron, Taylor e Emmett (2015) .....	39
Figura 21 – Experimento de Sherer (2014) .....	40
Figura 22 – Tratamento das imagens no Photoshop e posterior medição da radiação solar .....	41
Figura 23 – Medições de radiação solar para determinação da transmitância das espécies .....	41
Figura 24 – Experimento dos autores Widiastuti et al. (2018).....	42
Figura 25 – Experimento de Vox, Blanco e Schettini (2018) .....	43

Figura 26 – Estudo de caso dos autores Pèrez et al. (2011) .....	43
Figura 27 – Estudo de caso dos autores Perini et al. (2011) em fachada verde direta e cortina verde com treliça modular .....	44
Figura 28 – Gráficos para os perfis de temperatura e velocidade do ar da fachada verde direta .....	45
Figura 29 – Gráficos para os perfis de temperatura e velocidade do ar da cortina verde .....	46
Figura 30 – Experimento de Hoelscher et al. (2016) .....	46
Figura 31 – Experimento de Lee e Jim (2017) .....	47
Figura 32 – Detalhes das fachadas verdes e suas superfícies controle.....	48
Figura 33 – Experimento de Yang et al. (2018).....	49
Figura 34 – Planta baixa e elevação do módulo treliçado para a fachada verde .....	56
Figura 35 – As fachadas verdes indiretas .....	56
Figura 36 – O espaço de transição .....	57
Figura 37 – Foto hemisférica para evidenciar as obstruções do entorno e a trajetória solar no período de medições em tempo frio .....	58
Figura 38 – Foto hemisférica para evidenciar as obstruções do entorno e a trajetória solar no período de medições em tempo quente .....	58
Figura 39 – Espécies selecionadas para o experimento: maracujá azedo, ipomea rubra e tumbérgia azul.....	60
Figura 40 – A argila expandida e as duas marcas de terra vegetal utilizadas no plantio .....	61
Figura 41 – As etapas de preparo do meio orgânico.....	61
Figura 42 – As mudas antes do plantio .....	61
Figura 43 – O sistema de irrigação .....	62
Figura 44 – Cascas de árvore aplicadas nas jardineiras.....	62
Figura 45 – Fertilizantes para crescimento e manutenção .....	63
Figura 46 – Os defensivos Inseticon e Spurion .....	63
Figura 47 – Fotografia em campo da espécie <i>Ipomoea horfalliae</i> e a delimitação da área de análise.....	64
Figura 48 – Vetorização da área de análise e criação da máscara sobre a área da folhagem.....	65
Figura 49 – Aplicação da hachura e cálculo das áreas e FCV .....	65
Figura 50 – Medições das espessuras foliares .....	66

Figura 51 – Os pontos de medições e as variáveis analisadas em cada um .....	68
Figura 52 – O processo de configuração da câmara térmico Flir E6.....	70
Figura 53 – Os pontos de medições de radiação solar nas faces externa e interna da cortina verde.....	70
Figura 54 – Gráfico dos valores de PCV e o crescimento de cada espécie durante o experimento.....	72
Figura 55 – O rápido crescimento do maracujá entre fevereiro e abril.....	73
Figura 56 – Salto de crescimento entre os meses de fevereiro e abril.....	74
Figura 57 – O salto de crescimento da tumbérgia entre os meses de fevereiro e abril .....	75
Figura 58 – Aparecimento das primeiras gavinhas do maracujá e seu adensamento em abril .....	76
Figura 59 – A primeira flor da ipomea e a presença de botões e flores após 15 dias .....	76
Figura 60 – Abelhas na ipomea rubra .....	76
Figura 61 – Ipomea com seu auge de floração em agosto de 2018.....	77
Figura 62 – O primeiro botão da tumbérgia azul e seu auge de floração em setembro de 2018 .....	77
Figura 63 – Gráfico de espessura foliar de cada espécie entre junho de 2018 e janeiro de 2019 .....	78
Figura 64 – Tipos de folhas de cada espécie e seus tamanhos grandes e médios, respectivamente .....	79
Figura 65 – Cobertura vegetal de cada uma das espécies em 25/01/2019 .....	80
Figura 66 – Gráfico de radiação solar registrada na área externa ao espaço de transição e às fachadas verdes ao longo do monitoramento .....	82
Figura 67 – Temperaturas superficiais para a face externa da tumbérgia azul.....	83
Figura 68 – Temperaturas superficiais para a face externa da ipomea rubra .....	83
Figura 69 – Temperaturas superficiais para a face externa do maracujá.....	83
Figura 70 – A cobertura vegetal interna e externa durante o monitoramento .....	84
Figura 71 – Gráfico de atenuação de radiação solar para os pontos centrais das espécies .....	86
Figura 72 – Gráfico do desempenho das variáveis temperatura do ar e umidade relativa durante a tarde .....	87
Figura 73 – Gráfico da radiação solar ao longo do dia.....	88

Figura 74 – Gráfico dos valores de temperatura do ar para os pontos do espaço de transição.....	88
Figura 75 – O espaço de transição completamente sombreado às 12h e P1 exposto ao sol.....	89
Figura 76 – Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P2, P3 e P4 em relação a P5 .....	90
Figura 77 – Pontos de medições P2, P3 e P4 e P5, às 13h30 (a), 14h (b) e 15h30 (c) .....	90
Figura 78 – O ponto P4 às 13h30 e às 15h30.....	91
Figura 79 – Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5.....	92
Figura 80 – Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5 .....	93
Figura 81 – Gráfico dos valores de temperatura radiante média para cada um dos pontos .....	94
Figura 82 – Gráfico de valores de temperatura radiante média nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5 .....	95
Figura 83 – Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P5 .....	96
Figura 84 – Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P3 e controle .....	96
Figura 85 – Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar para cada um dos pontos .....	97
Figura 86 – Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5 .....	98
Figura 87 – Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5 .....	99
Figura 88 – Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5 .....	99
Figura 89 – Gráfico da radiação solar registrada na área externa ao espaço de transição e em frente às fachadas verdes durante os dias de monitoramento .....	103
Figura 90 – A cobertura vegetal externa durante o monitoramento de tempo quente .....	103
Figura 91 – Temperaturas superficiais para a face externa da tumbpergia azul.....	104

Figura 92 – Temperaturas superficiais para a face externa da ipomea rubra .....	104
Figura 93 – Temperaturas superficiais para a face externa do maracujá.....	104
Figura 94 – Gráfico de atenuação de radiação solar nos pontos centrais de monitoramento das fachadas verdes .....	107
Figura 95 – Gráfico do desempenho das variáveis temperatura do ar e umidade relativa durante a tarde .....	108
Figura 96 – Gráfico da radiação solar ao longo do dia.....	108
Figura 97 – Gráfico dos valores da temperatura do ar para os pontos do espaço de transição.....	109
Figura 98 – O espaço de transição completamente sombreado Pas 13h e P1 exposto ao sol.....	110
Figura 99 – Os valores de temperatura do ar dos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5 .....	111
Figura 100 – Gráfico do diferencial de temperatura do ar entre os pontos P2, P3, P4 e P5.....	112
Figura 101 – Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5.....	113
Figura 102 – Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5.....	113
Figura 103 – Gráfico dos valores de temperatura radiante média para cada um dos pontos .....	114
Figura 104 – Os pontos P6 e P7 recebendo insolação às 17h e às 18h, respectivamente .....	115
Figura 105 – Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5.....	116
Figura 106 – Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P5 .....	117
Figura 107 – Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P3 e controle .....	117
Figura 108 – Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar para todos os pontos .....	118
Figura 109 – Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5 .....	119

Figura 110 – Gráfico dos valores de umidade do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5.....	120
Figura 111 – Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5 .....	120

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas e suas principais características .....	51
Quadro 2 – Os estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas e as reduções máximas para as variáveis microclimáticas monitoradas.....	51
Quadro 3 – Os estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas e seus principais resultados em relação à umidade relativa e velocidade do ar .....	52
Quadro 4 – Principais lacunas metodológicas.....	53
Quadro 5 – Principais lacunas de informações referentes aos trabalhos avaliados..	53
Quadro 6 – As variáveis e seus equipamentos .....	70
Quadro 7 – Quadro síntese do PCV para as espécies e o FCV durante o monitoramento em condições de tempo frio e quente.....	75
Quadro 8 – Quadro síntese dos aspectos estéticos e adaptativos das espécies.....	77
Quadro 9 – Quadro síntese dos resultantes de espessura foliar para as espécies e o FEF durante o monitoramento em condições de tempo frio e quente.....	79
Quadro 10 – Quadro síntese sobre o desenvolvimento das espécies selecionadas.	80
Quadro 11 – Os fatores determinantes e o PSO de cada espécie durante o monitoramento em condições de tempo frio .....	84
Quadro 12 – Atenuação de radiação solar para as espécies .....	85
Quadro 13 – Temperaturas máximas, mínimas e variação de temperaturas em condições de tempo frio .....	89
Quadro 14 – Temperaturas máximas, mínimas e variação de TRM em condições de tempo frio .....	94
Quadro 15 – Valores máximos, mínimos e variação de UA em condições de tempo frio .....	98
Quadro 16 – ANOVA de fator único da variável TAR para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle .....	100
Quadro 17 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável TRM para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.....	100
Quadro 18 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável UA para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.....	101

Quadro 19 – Os fatores determinantes e o PSO de cada espécie durante o monitoramento em condições de tempo quente.....	105
Quadro 20 – Atenuação de radiação solar para as espécies.....	106
Quadro 21 – Temperaturas máximas, mínimas e a variação de temperaturas em condições de tempo quente .....	110
Quadro 22 – Temperaturas máximas, mínimas e variação de TRM em condições de tempo quente .....	115
Quadro 23 – Valores máximos, mínimos e variação de UA em condições de tempo quente .....	118
Quadro 24 – ANOVA de fator único da variável TAR para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle .....	121
Quadro 25 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável TRM para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.....	121
Quadro 26 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável UA para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.....	122
Quadro 27 – Quadro síntese das atenuações médias de radiação solar em cada ponto e PSO para as espécies em ambas as condições de tempo .....	123
Quadro 28 – Quadro síntese dos valores máximos e mínimos para as variáveis microclimáticas TAR e TRM em cada ponto para ambas as condições de tempo..	124
Quadro 29 – Quadro síntese dos valores máximos e mínimos para a variável microclimática UA em cada ponto no espaço de transição para ambas as condições de tempo .....	125
Quadro 30 – Quadro síntese das máximas reduções para as variáveis TAR e TRM nos pontos internos ao espaço de transição em relação ao ponto controle em ambas as condições de tempo .....	125

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Unesp de Bauru;

FVD – Fachadas verdes diretas;

FVI – Fachadas verdes indiretas;

PTS – Percentual de transmissão solar;

LAI – Leaf área index;

PSO – Potencial de sombreamento;

PCV – Percentual de cobertura verde;

FCV – Fator de cobertura verde;

FTF – Fator do tamanho da folhagem;

FES – Fator de espaçamento das folhas;

FEF – Fator de espessura foliar;

TAR – Temperatura do ar;

TRM – Temperatura radiante média;

UA – Umidade absoluta do ar;

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>20</b>
1.1.1.	Objetivo geral.....	20
1.1.2.	Objetivos específicos.....	20
<b>1.2.</b>	<b>Estrutura geral da dissertação.....</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>OS JARDINS VERTICAIS.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.</b>	<b>Classificação e características dos jardins verticais.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2.</b>	<b>Fachadas verdes.....</b>	<b>26</b>
2.2.1.	Fachadas verdes diretas.....	26
2.2.2.	Fachadas verdes indiretas.....	27
<b>2.3.</b>	<b>A escolha das espécies.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.</b>	<b>Desempenho térmico de fachadas verdes indiretas.....</b>	<b>33</b>
2.4.1.	Estudos experimentais.....	34
2.4.2.	Estudos de casos reais.....	43
2.4.3.	Síntese da revisão bibliográfica.....	50
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>54</b>
<b>3.1.</b>	<b>Desenvolvimento do projeto experimental.....</b>	<b>55</b>
3.1.1.	Estrutura do experimento.....	55
3.1.2.	Caracterização da área de estudo.....	57
3.1.3.	Escolha das espécies.....	59
<b>3.2.</b>	<b>Detalhes do plantio e a manutenção.....</b>	<b>60</b>
3.2.1.	Análise do Potencial de Sombreamento (PSO) e o acompanhamento do desenvolvimento das espécies.....	64
3.2.2.	Monitoramento das variáveis microclimáticas.....	67
3.2.2.1.	Análise estatística das variáveis microclimáticas.....	71
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>72</b>
<b>4.1.</b>	<b>Análise do desenvolvimento de cada espécie e seu Potencial de Sombreamento (PSO).....</b>	<b>72</b>
<b>4.2.</b>	<b>Análise do monitoramento de dados em condições de tempo frio.....</b>	<b>81</b>
4.2.1.	Intensidade de atenuação da radiação solar.....	81
4.2.2.	Impacto das fachadas verdes indiretas nas diferenças microclimáticas do espaço de transição.....	87

4.2.2.1.	Influência na temperatura do ar (TAR).....	88
4.2.2.2.	Influência na temperatura radiante média (TRM).....	93
4.2.2.3.	Influência na umidade absoluta do ar (UA).....	97
4.2.2.4.	Análise estatística dos dados.....	100
<b>4.3.</b>	<b>Análise do monitoramento de dados em condições de tempo quente....</b>	<b>101</b>
4.3.1.	Intensidade de atenuação da radiação solar.....	102
4.3.2.	Impacto das fachadas verdes indiretas nas diferenças microclimáticas do espaço de transição.....	107
4.3.2.1.	Influência na temperatura do ar (TAR).....	109
4.3.2.2.	Influência na temperatura radiante média (TRM).....	114
4.3.2.3.	Influência na umidade absoluta do ar (UA).....	118
4.3.2.4.	Análise estatística dos dados.....	121
<b>4.4.</b>	<b>Síntese dos resultados.....</b>	<b>122</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>127</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICES.....</b>		
<b>APÊNDICE A – FICHA DAS ESPÉCIES SELECIONADAS PARA O EXPERIMENTO</b>		
<b>APÊNDICE B – QUADROS COM OS VALORES DE PCV E ESPESSURA FOLIAR PARA CADA ESPÉCIE DURANTE O DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO</b>		
<b>APÊNDICE C – VALORES DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E PROTEGIDA PARA AMBAS AS CONDIÇÕES DE TEMPO ESTUDADAS</b>		

## 1 INTRODUÇÃO

Jardins verticais são todas as formas de vegetação que crescem e se desenvolvem em superfícies delimitadas verticalmente. Além de trazerem diversos benefícios nos âmbitos sociais, econômicos e ambientais, promovem a interação entre a edificação e o ambiente natural, aumentam a biodiversidade, melhoram a qualidade do ar e diminuem os efeitos do fenômeno da ilha de calor urbana (PERINI et al., 2013; MUÑOZ et al., 2019). Além disso, quando bem projetados e mantidos, representam estratégias importante para a regulação térmica das edificações e economia passiva de energia.

Os jardins verticais são importantes alternativas bioclimáticas, uma vez que revestem as superfícies verticais das construções e aumentam seu desempenho térmico. Este fato só é possível devido à existência de quatro mecanismos de ação: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento evaporativo (PEREZ et al., 2011; HUNTER et al., 2014; SUSOROVA, 2015; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018).

Entre os tipos de jardins verticais, a fachada verde utiliza espécies de trepadeiras e pode ser direta ou indireta. Sua aplicação nas fachadas das edificações tem recebido grande enfoque visto que, além de estratégia bioclimática, é também capaz de suprir o déficit de áreas verdes resultante da impermeabilização do solo, processos de urbanização sem planejamento e adensamento do espaço construído (JAAFAR et al., 2013; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; PÉREZ et al., 2011; PERINI et al., 2011; PERINI et al., 2013; SAFIKHANI et al., 2014; SHARP et al., 2008; SHEWEKA; MOHAMED, 2012; VOX; SCHETTINI, 2014; WONG et al., 2010).

Apesar disso, seu potencial de utilização para a amenização microclimática de ambientes internos e externos ainda é pouco explorada. No Brasil, destacam-se os trabalhos desenvolvidos por Morelli (2009) e Scherer (2014), no interior do Estado de São Paulo e no Rio Grande do Sul, respectivamente. No âmbito internacional, a grande maioria das pesquisas está concentrada em regiões mediterrâneas e asiáticas, em países como a Grécia (EUMORFOPOULOU; KONTOLEON, 2009; 2010), Espanha (PÉREZ et al. 2011), Tailândia (SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011), Malásia (JAAFAR et al., 2013; SAFIKHANI et al., 2014), Singapura (WONG et al., 2009, 2010), Japão (KOYAMA et al., 2013; 2015) China (YIN et al., 2017) e Hong Kong (CHENG et al., 2010).

Essas pesquisas confirmam a importância da aplicação de fachadas verdes na envoltória das edificações, devido à sua eficiência térmica, energética e aos benefícios sociais, econômicos, ambientais e de transformação da paisagem que promove. Porém, é importante ressaltar a escassez de estudos sobre este tema realizados em espaços de transição que, segundo Chun et al. (2004), são ambientes intermediários entre as áreas externas e internas de uma edificação e, por isso, são importantes espaços de convivência.

Outra lacuna encontrada diz respeito aos estudos de fachadas verdes através de comparação entre diferentes espécies de trepadeiras. Apenas as pesquisas desenvolvidas por Koyama et al. (2013) e Scherer (2014) exploram essa questão, ao buscaram obter dados médios sobre o sombreamento de diferentes espécies.

Dentro deste contexto, esta pesquisa busca discutir essa questão ao determinar a atenuação de radiação solar incidente de fachadas verdes indiretas formadas por três diferentes espécies de trepadeiras. A pesquisa busca, ainda, quantificar a amenização microclimática desempenhada por essas fachadas no espaço de transição localizado na Central de Laboratórios Didáticos da FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Unesp de Bauru-SP.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo geral**

Determinar e quantificar a atenuação de radiação solar incidente de fachadas verdes indiretas com diferentes espécies de trepadeiras e sua influência nos microclimas de um espaço de transição.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Identificar e quantificar os parâmetros que interferem na atenuação da radiação solar incidente de três espécies de trepadeiras;
- Conhecer valores da radiação solar externa (incidente) e protegida por cada espécie de trepadeira (interna);

- Comparar os microclimas do espaço de transição com e sem a influência das fachadas verdes indiretas;
- Contribuir com maior conhecimento sobre a utilização de três diferentes trepadeiras em fachadas verdes indiretas.

## **1.2. Estrutura geral da dissertação**

Para organizar o conteúdo, a dissertação foi estruturada em quatro capítulos, que inicia pela introdução, que contextualiza o tema jardins verticais, caracteriza o problema, destaca a importância do estudo e discorre sobre os objetivos geral e específicos.

O segundo capítulo apresenta a revisão bibliográfica sobre jardins verticais, com foco nas fachadas verdes, direta e indireta, e apresentação resumida de outra tipologia de jardim vertical denominada parede viva. Nesse capítulo, é apresentado o contexto histórico das fachadas verdes, bem como seus tipos, peculiaridades construtivas e seu desempenho térmico. Quanto ao desempenho térmico, foi realizada a revisão bibliográfica sobre os estudos experimentais e de caso de fachadas verdes indiretas, que finaliza com quadros sínteses de suas principais características, resultados e lacunas teórico-práticas.

O terceiro capítulo traz os materiais e métodos, onde são apresentados os principais estudos referenciais para a realização do experimento; a caracterização do local de pesquisa; detalhes do estudo experimental; protocolo de manutenção e acompanhamento e os processos e equipamentos utilizados para determinar e quantificar a atenuação de radiação das espécies e as medições das variáveis microclimáticas.

O quarto capítulo apresenta os resultados e discussões acerca da atenuação de radiação solar das espécies de trepadeiras utilizadas nas fachadas verdes, além de uma análise comparativa dos microclimas do espaço de transição com e sem a influência das fachadas verdes, em condições de tempo frio e quente. Esse capítulo mostra, ainda, a análise dos testes estatísticos, que comprovam diferenças entre resultados das variáveis microclimáticas entre os pontos com e sem influência das fachadas verdes.

## 2 OS JARDINS VERTICAIS

Os Jardins verticais são todo e qualquer tipo de vegetação que cresce e se desenvolve em superfícies delimitadas verticalmente (SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015) e podem ser de dois tipos: fachadas verdes e paredes vivas. Apesar de terem se tornado populares e enfatizadas em diversos estudos científicos recentemente, essas infraestruturas verdes sempre estiveram presentes no espaço urbano.

Historicamente, os jardins verticais remontam à Idade Antiga, especificamente os Jardins Suspensos da Babilônia (Figura 1) e aqueles encontrados nos Impérios Romanos e Gregos (SHARP et al, 2008; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; MEDL et al., 2017). Segundo Sharp et al. (2008), o exemplo mais antigo de jardim vertical projetado pelo homem é datado do século III A.C., localizado em região mediterrânea, e consistia no cultivo de videiras apoiadas em treliças, símbolo dos jardins secretos existentes na época.

Figura 1. Os jardins suspensos da Babilônia.



Fonte: Site History Channel, 2018. Disponível em: <https://seuhistory.com/noticias/possivel-localizacao-dos-miticos-jardins-suspensos-da-babilonia-intriga-pesquisadores>

Em áreas de clima Mediterrâneo, videiras eram utilizadas para cobrir pergolados e fachadas de edificações, o que gerava o sombreamento e resfriamento das mesmas durante o verão (KOHLENER, 2008; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Ainda segundo Manso e Castro-Gomes (2015), no Reino Unido e em países da Europa Central, durante os séculos XVII e XVIII, a aplicação de trepadeiras no envelope das edificações tornou-se ainda mais comum.

Enquanto que no século XIX, essas aplicações começaram a ter objetivo estético e ornamental em cidades da Europa e da América do Norte, através de

movimentos que marcaram a união entre a ecologia e o planejamento das cidades, datados nos últimos anos desse século. Movimentos alemães, frutos da corrente Art Nouveau, encorajaram a aplicação dos jardins verticais nas fachadas das edificações para integrá-las à área externa. Neste contexto, surgem programas de incentivo para a instalação de fachadas verdes (KOHLENER, 2008) e a cidade alemã de Berlim foi um importante foco destes programas, através da construção de 245.584m<sup>2</sup> de jardins verticais, entre os anos de 1983 e 1997 (KOHLENER, 2008).

As primeiras investigações acerca de jardins verticais surgiram em função de aspectos botânicos e, após 1980, suas contribuições ecológicas para o espaço urbano passaram a ser foco destes estudos (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Foram temas de investigação: o efeito da vegetação no resfriamento evaporativo, a biodiversidade incluindo pássaros e insetos e, até mesmo, o poder de jardins verticais na filtragem do ar (KOHLENER, 2008).

Apesar de todo o incentivo e de sua presença na história desde a Idade Antiga, os jardins verticais se popularizaram no início do século XXI, através de projetos de autoria do botânico Patrick Blanc. Este profissional desenvolveu suas próprias técnicas e revolucionou todo o mercado ao criar o “*Mur vegetal*” (MEDL, et al., 2017), cujos exemplos dessa técnica podem ser observados nas Figuras 2, 3 e 4.

Figura 2. Jardim vertical no Caixa Fórum, em Madrid.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Figura 3. Jardim vertical no museu Quai Branly, em Paris.



Fonte: Site do botânico Patrick Blanc, 2004. Disponível em: <https://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/musee-du-quai-branly>

Figura 4. Parede viva de autoria do botânico Patrick Blanc, em Londres.

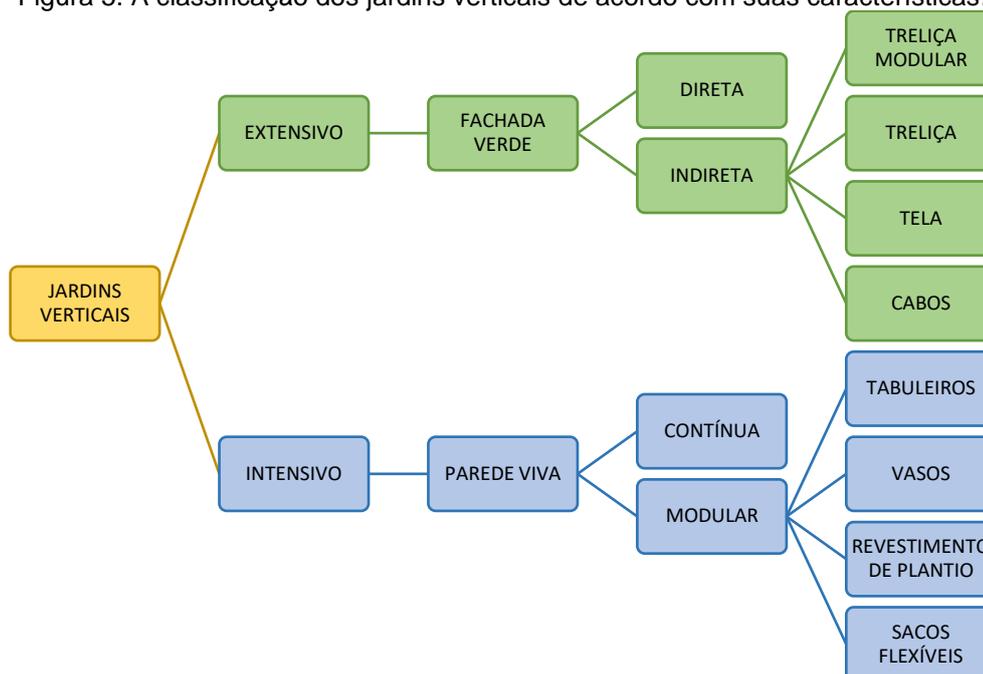


Fonte: Site Vertical Garden Patrick Blanc, 2009. Disponível em: <https://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/londres/athenaeum-hotel>

## 2.1. Classificação e características dos jardins verticais

Quanto à classificação dos jardins verticais não há um consenso e, portanto, adotou-se nesta revisão as definições estabelecidas pelos autores Sharp et al. (2008), Hunter et al. (2014), Safikhani et al. (2014a) e Manso e Castro-Gomes (2015). Estes autores dividem e classificam os jardins verticais em: sistemas extensivos, as “fachadas verdes”, e intensivos, as “paredes vivas” (Figura 5). Destaca-se aqui que a questão da classificação dos jardins verticais é uma importante lacuna de conhecimento sobre o tema que se encontra, ainda, inexplorada.

Figura 5. A classificação dos jardins verticais de acordo com suas características.



Fonte: Adaptado de Manso e Castro-Gomes, 2015.

Para Scherer (2014), a diferença entre esses sistemas é, basicamente, a forma e o local de plantio de cada um, o que resulta em necessidades de manutenção diferenciadas e particularidades para cada tipo. Os sistemas extensivos são aqueles mais fáceis de executar (fachadas verdes), enquanto os intensivos (paredes vivas) demandam cuidados e necessidades de projeto mais específicos. Ressalta-se a principal diferença entre os dois sistemas: a presença obrigatória de espécies de trepadeiras ou pendentes para as fachadas verdes, sejam diretas ou indiretas.

A parede viva ou *living wall*, é o tipo de jardim vertical que demanda maior tecnologia de produção, instalação e manutenção. Este tipo de jardim, bastante popular e de muito impacto visual e estético, compõe-se de diferentes tipos de módulos fabricados em diversos materiais e tamanhos, o que permite a aplicação da vegetação verticalmente (SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EU MORFOPOULOU, 2010; PÉREZ et al., 2011; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Diferentemente da fachada verde, o plantio não acontece ao nível do solo, e sim na própria estrutura.

Quanto à seleção das espécies, Scherer (2014) afirma que uma grande variedade pode ser utilizada, especialmente samambaias, bromélias e arbustos de pequeno porte.

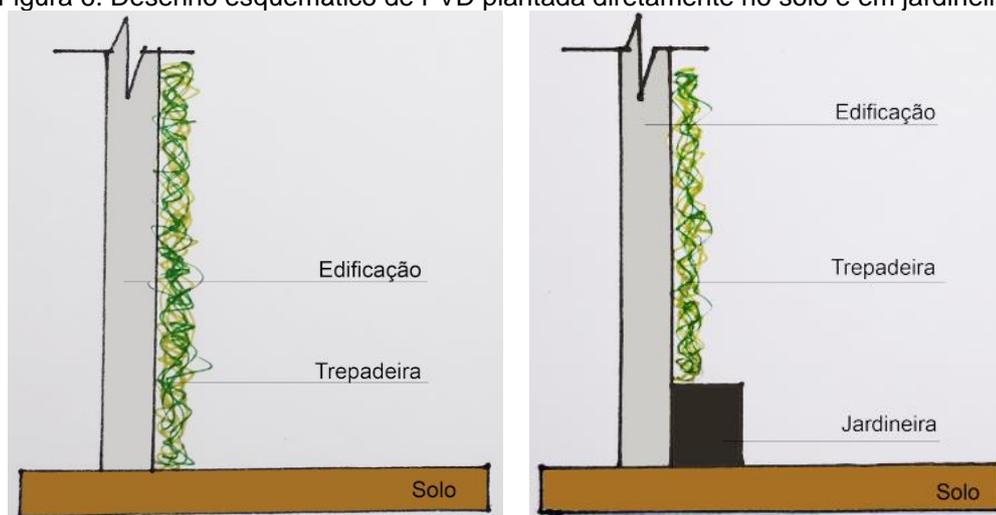
## 2.2 Fachadas verdes

As fachadas verdes são constituídas por espécies de trepadeiras ou pendentes e podem ser de dois modelos: direta ou indireta. Cada um desses tipos possui particularidades e características específicas, que serão apresentadas a seguir.

### 2.2.1 Fachadas verdes diretas

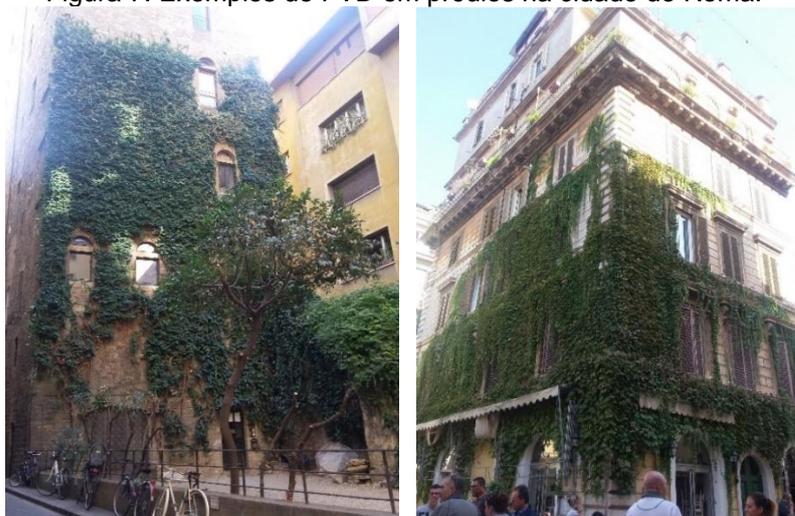
Fachadas verdes diretas (FVD) são os tipos mais simples, aquelas em que as espécies de trepadeiras crescem e se desenvolvem diretamente na estrutura da edificação e não necessitam, portanto, de estruturas adjacentes de suporte. Neste tipo, a vegetação pode ser plantada no solo ou em jardineiras, que constitui uma situação mais rara (Figura 6) (PERINI et al., 2013; HUNTER et al., 2014; SAFIKHANI et al, 2014a; SCHERER, 2014; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; BESIR; CUCE, 2018; MUÑOZ et al., 2019). Este tipo de fachada verde não necessita de manutenção extensa nem grandes custos de investimento, especialmente quando a vegetação é plantada diretamente no solo (Figura 7).

Figura 6. Desenho esquemático de FVD plantada diretamente no solo e em jardineira.



Fonte: Imagem elaborada pela autora, 2018.

Figura 7. Exemplos de FVD em prédios na cidade de Roma.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Um fator importante que deve ser levado em consideração é a manutenção do jardim, como nutrição e irrigação adequadas, através da aplicação de fertilizantes, defensivos e quantidade de água que sejam ideais para o bom desenvolvimento das espécies.

### 2.2.2 Fachadas verdes indiretas

As fachadas verdes indiretas (FVI) são aquelas em que as espécies de trepadeiras crescem e se desenvolvem através de estruturas de suporte (PERINI et al., 2013; HUNTER et al., 2014; SAFIKHANI et al., 2014<sup>a</sup>; SCHERER, 2014; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015; BESIR; CUCE, 2018; MUÑOZ et al., 2019). Estas estruturas são distanciadas da fachada da edificação e esse distanciamento forma uma cavidade de ar, que atua como barreira isolante entre a folhagem e a envoltória do edifício. Assim como a fachada verde direta, a indireta também pode ter sua vegetação plantada diretamente no solo ou em jardineiras (Figura 8). Devido à possibilidade de controle solar e sombreamento promovido pelo distanciamento em relação à edificação, esse modelo de fachada verde tem um aspecto de cortina. Por isso, é denominado de “cortina verde” por alguns autores (PÉREZ et al, 2011; SCHERER, 2014).

Figura 8. Desenho esquemático de FVI plantada diretamente no solo e em jardineira.



Fonte: Imagem elaborada pela autora, 2018.

A escolha da estrutura da fachada verde indireta é essencial para o seu sucesso, assim deve levar em consideração fatores como custo, material, dimensões desejadas e seus impactos ambientais. São apresentados a seguir os principais tipos de fachadas verdes indiretas, porém os mais utilizados são as treliças modulares, rede de cabos, treliças e telas (PERINI et al., 2013):

- a) Treliças modulares: são conjuntos metálicos fixados à edificação que se compõem por jardineiras e treliças (Figura 9). Neste caso, a área de crescimento limitada facilita a manutenção e o controle da vegetação (SCHERER, 2014).

Figura 9. Exemplo de sistemas modulares.



Fonte: Site Omni Ecosystems, 2017. Disponível em: <http://www.omni-ecosystems.com/green-facade-3/>.

- b) Rede de cabos: segundo Kontoleon e Eumorfopoulou (2010) e Sharp et al. (2008), o sistema de cabos é uma estrutura feita, geralmente, de inox e projetada para guiar e suportar o crescimento da vegetação (Figura 10). Uma importante vantagem deste sistema é a liberdade de projeto em relação a tamanhos e medidas, visto que é um sistema flexível. Outra importante vantagem é o controle do afastamento entre os cabos, o que permite ao jardim vertical atingir percentuais de cobertura vegetal de acordo com a necessidade (SCHERER, 2014).

Figura 10. Exemplo de edifício com fachada verde do tipo rede de cabos em Sevilha.



Fonte: Site Pinterest, 2018. Disponível em: < <https://br.pinterest.com/pin/737323770217819243/>>.

- c) Trelças: o sistema treliçado é composto por estrutura cuja função é guiar e suportar o crescimento das trepadeiras e, neste caso, a vegetação é plantada diretamente no solo. Segundo Scherer (2014), pode utilizar uma gama de materiais, promover diversas combinações de fachada e se distanciar da edificação o quanto for necessário (Figura 11).

Figura 11. Exemplo de edifício com fachada verde do tipo treliçada.



Fonte: Site GSR Architectural, 2013. Disponível em: < <http://gsrarch.com/the-living-screen-trellis-system/#!prettyPhoto>>.

- d) Telas: neste sistema, bastante semelhante ao treliçado, a estrutura é composta por telas de cordas, metálicas e até mesmo de plástico (Figura 12). Importantes estudos sobre o desempenho térmico de jardins verticais utilizam este sistema (KOYAMA et al., 2013; KOYAMA et al., 2015; PÉREZ et al., 2017; VOX; BLANCO; SCHETTINI, 2018).

Figura 12. Exemplo de aplicação de fachada verde indireta com tela de corda.



Fonte: Site Inovat Arquitetura, 2014. Disponível em: < <https://inovatarquitetura.wordpress.com/2014/09/05/cortina-verde-um-isolante-termico-e-sustentavel/>>.

Nos trabalhos experimentais sobre o desempenho térmico das fachadas verdes, o tipo de estrutura mais utilizado para as indiretas é a treliça modular (IP; LAM; MILLER, 2010; WONG et al., 2010; PÉREZ et al., 2011; PERINI et al., 2011; SUNAKRON; YIMPRAYOON, 2011; SAFIKHANI et al., 2014; YANG et al., 2018),

seguida da estrutura de cabos (JAAFAR et al., 2013; CAMERON; TAYLOR; EMMETT, 2015; HOELSCHER et al., 2016; LEE; JIM, 2017).

Outro fator relevante para o sucesso da fachada verde indireta é o solo ou substrato utilizados e suas características, uma vez que são de extrema importância para a nutrição correta das espécies e seu bom desenvolvimento (HUNTER et al., 2014). Para Perini et al. (2013) e Safikhani et al. (2014), a consolidação da cobertura vegetal está condicionada à escolha correta das espécies.

### **2.3 A escolha das espécies**

Trepadeiras são plantas ramificadas, leves e flexíveis que crescem e se desenvolvem através de apoios, sejam eles estruturas de suportes ou plantas (MORELLI, 2009). Quanto à sua morfologia, as trepadeiras podem ser classificadas de acordo com a produção, ou não, de tecidos lenhosos. Essa classificação resulta em dois tipos: herbáceas, representando aquelas que não formam lenho, e lenhosas (WEISER, 2007).

Ainda em relação à morfologia, as trepadeiras são classificadas de acordo com o seu sistema de ascensão, sendo os tipos mais comuns: espécies volúveis, sarmentosas e cipós. Segundo Richards (1952, apud WEISER, 2007), as trepadeiras do tipo volúvel são aquelas em que o próprio caule é o meio de ascensão, enquanto as sarmentosas apresentam gavinhas, estruturas morfológicas específicas, como elemento de fixação e ascensão. Os cipós, por sua vez, são tipos de trepadeiras que não apresentam nenhum órgão fixador, uma vez que seus ramos crescem, verticalmente, para, em seguida, penderem para baixo.

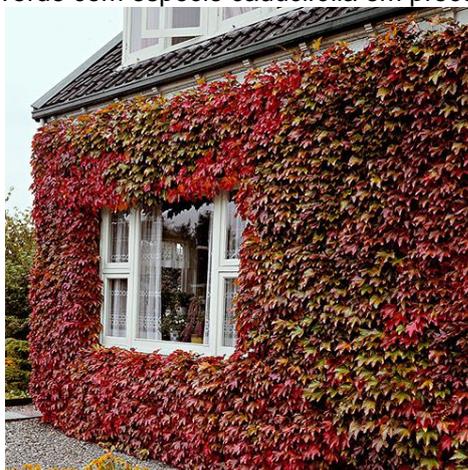
A escolha correta das espécies é fundamental para o bom funcionamento das fachadas verdes e deve levar em consideração o sistema de suporte, os benefícios microclimáticos, o grau de manutenção exigida, as particularidades climáticas do local em que o jardim será inserido e sua velocidade de crescimento (PERINI et al., 2013; SAFIKHANI et al., 2014). Os autores destacam, ainda, que a consolidação da cobertura vegetal está diretamente condicionada a esses fatores. Além disso, características como luminosidade e perda foliar das espécies são essenciais para o bom desempenho da fachada verde.

Cada espécie de trepadeira possui suas peculiaridades quanto à luminosidade, uma vez que cada uma delas necessita de uma quantidade diferente

de insolação para o bom desenvolvimento e crescimento. Dessa maneira, este é um fator muito importante no momento de escolha das espécies, visto que aquelas com características de sol pleno não poderão ser instaladas em ambientes que recebam pouca luz, assim como aquelas que são características de meia sombra não poderão ficar expostas ao sol durante todo o dia.

A perda foliar diz respeito à característica da vegetação em perder ou manter suas folhas durante épocas específicas do ano. Espécies caducifólias perdem sua cobertura vegetal durante o inverno, enquanto espécies perenifólias as mantêm durante todo o ano. Este fator está diretamente relacionado ao desempenho térmico das fachadas verdes, uma vez que a cobertura vegetal promove o sombreamento das edificações. Espécies caducifólias, por exemplo, são indicadas para locais de clima temperado, visto que promovem o sombreamento durante os meses quentes e, devido à sua perda foliar, permitem a insolação direta da edificação durante os meses de baixas temperaturas (Figura 13). As perenifólias, por sua vez, têm a capacidade de promover o sombreamento durante todo o ano em regiões de clima quente.

Figura 13. Fachada verde com espécie caducifólia em processo de perda foliar.



Fonte: Site Pelckmans, 2018. Disponível em: <https://www.pelckmans.net/nl/69359/parthenocissus-tricuspidata-veitch-boskoop-1>

De acordo com Hunter et al. (2014), as espécies mais utilizadas para fachadas verdes diretas são a *Parthenocissus tricuspidata* (falsa vinha) e *Hedera Helix* (hera inglesa). Destaca-se que esta última pode atingir até 25 metros de altura (SHARP et al., 2008; KONTOLEON; EUMORFOPOULOU, 2010; PERINI et al., 2013; HUNTER et al., 2014; PÉREZ et al., 2014). A preferência por essas espécies é justificada pelo

rápido crescimento, vida útil e a pouca necessidade de espaço para o crescimento de suas raízes.

No entanto, para a fachada verde indireta, a disponibilidade de espécies é maior e varia conforme a necessidade de local e projeto. A espécie *Thunbergia grandiflora* é bastante citada e utilizada nos trabalhos sobre o desempenho térmico de fachada verde (SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011; JAAFAR et al. 2013; SAFIKHANI et al. 2014).

Em relação aos estudos experimentais, que têm como objetivo a análise do desempenho térmico das fachadas verdes, apenas Pérez et al. (2011) e Sunakorn e Yimprayoon (2011) realizaram experimento prévio para justificar a escolha das trepadeiras. Esta escolha foi baseada na comparação de fatores como crescimento, desenvolvimento e densidade da cobertura vegetal das mesmas.

## **2.4 Desempenho térmico de fachadas verdes indiretas**

Fachadas verdes são alternativas à degradação ambiental causada pela expansão urbana desenfreada, uma vez que trazem benefícios sociais, econômicos, ambientais, promovem a interação entre edificação e meio ambiente e, principalmente, diminuem os efeitos das ilhas de calor urbanas (PERINI et al., 2013).

O revestimento das paredes da edificação com fachadas verdes diminui a incidência direta da radiação solar e possibilita um maior desempenho térmico das mesmas, devido aos seguintes mecanismos: 1º) sombreamento; 2º) isolamento térmico; 3º) barreira ao vento e 4º) resfriamento evaporativo (PÉREZ et al., 2011; HUNTER et al., 2014; SUSOROVA et al., 2015; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018).

O sombreamento e isolamento térmico são mecanismos que agem em função da cobertura vegetal e, também, da cavidade de ar formada entre a edificação e a fachada verde indireta. A partir disso, a incidência direta da radiação solar e a entrada de calor na edificação são reduzidas (WONG et al., 2010; PÉREZ et al., 2011; HUNTER et al., 2014; WONG; BALDWIN, 2016). Quanto à influência na dinâmica da ventilação, a fachada verde atua como barreira ao vento e diminui as trocas térmicas entre ambientes externos e internos (SUSOROVA; AZIMI; STEPHENS, 2014). O resfriamento evaporativo ocorre devido à evapotranspiração, função biológica da planta, responsável por consumir calor sensível para a evaporação da água presente

no solo e nas folhas, o que aumenta a umidade no entorno (WONG et al., 2010; SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011).

Para Wong et al. (2010), além do resfriamento evaporativo, a fachada verde pode atenuar por absorção ou reflexão, em torno de 40 a 80% da radiação solar durante o verão. Ainda de acordo com os mesmos autores, o bloqueio de parte da radiação direta auxilia no resfriamento dos ambientes, enquanto paredes “nuas” fazem com que mais energia flua para seu interior. Dessa maneira, o uso da fachada verde reduz o consumo de energia durante o verão através do resfriamento e, no inverno, através do isolamento térmico (VOX; SCHETTINI, 2014).

Em função da melhoria do desempenho térmico, que ocorre devido à capacidade da fachada verde em diminuir o fluxo de calor que entra na edificação, estudos verificaram reduções de até 20% no consumo de energia passiva para resfriamento (WONG; BALDWIN, 2016).

Os estudos científicos referentes ao desempenho térmico das fachadas verdes possuem metodologias variadas, seja nos parâmetros avaliados, tipo de clima estudado ou localidade. Além disso, podem ser divididos em experimentais, nos quais as fachadas verdes e as instalações foram construídas, e estudos de caso, realizados em edificações já existentes e que continham fachadas verdes.

#### **2.4.1 Estudos experimentais**

No estudo desenvolvido por Ip, Lam e Miller (2010), a transmitância solar é quantificada antes e depois do desenvolvimento da cobertura vegetal da espécie *Parthenocissus quinquefolia*. Para este experimento, foram construídas duas fachadas verdes indiretas estruturadas em treliça modular, de maneira que cada uma delas sombreava uma janela de um mesmo ambiente. Para efeito de análise e comparação, uma terceira janela foi deixada exposta, como superfície controle (Figura 14).

Neste estudo, foram analisadas cinco camadas (*layers*) de vegetação e, para cada uma delas, foi encontrado um fator de transmitância solar. Destaca-se aqui que a densidade máxima de cobertura vegetal era representada pela quinta camada. Os resultados foram da ordem de 0,45, 0,31, 0,27, 0,22 e 0,12, e o último valor se refere à densidade máxima de cobertura vegetal.

Figura 14. Experimento utilizado por Ip, Lam e Miller (2010) para o cálculo da transmitância solar.



Fonte: Ip, Lam e Miller, 2010.

Quanto à influência do mecanismo de barreira ao vento proporcionado pelas fachadas verdes, Sunakorn e Yimprayoon (2011) realizaram um experimento na Tailândia, com o objetivo de estudar o desempenho térmico de uma fachada verde indireta instalada em dois ambientes idênticos, sendo um deles controle e sujeito à ventilação natural (Figura 15).

Os resultados do experimento confirmaram o efeito de amenização térmica proporcionado pelas fachadas verdes indiretas. De acordo com os autores, velocidades do vento superiores a 0,5 m/s não podem ser barradas pelos jardins. Ressalta-se que a Tailândia, local do experimento, é um país de clima quente e úmido onde é importante a presença da ventilação para o conforto térmico. Em relação à diferença encontrada entre as temperaturas do ar externa e interna, foi obtido como redução máxima 9,93 °C para o ambiente ventilado.

Figura 15 Experimento dos autores Sunakorn e Yimprayoon.



Fonte: Sunakorn; Yimprayoon, 2011.

O trabalho de Jaafar et al. (2013) é o único encontrado sobre desempenho térmico de fachadas verdes indiretas em espaços de transição. Neste experimento, realizado na Malásia, país de clima quente e úmido, a fachada verde foi construída com estrutura de cabos e utilizou-se a espécie *Thunbergia grandiflora*. Neste estudo, a vegetação foi plantada em jardineiras. Destacam-se aqui dois erros encontrados no artigo: apesar da espécie escolhida ter sido a *Thunbergia grandiflora*, os autores informam ser *Thunbergia erecta*, que não é classificada como trepadeira e sim como arbusto; outro erro é a confusão entre os tipos de jardim vertical “*green façade*” e “*living wall*”, visto que os autores fazem a identificação errada, conforme mostra a figura 16.

Figura 16. Experimento dos autores Jaafar et al. (2013), com fachada verde indireta em sistema de cabos e jardineiras.



Legenda: Living wall with cable system (parede viva com sistema de cabos); Green façade with modular system (fachada verde com sistema modular).

Fonte: Jaafar et al., 2013.

Esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos térmicos de fachadas verdes indiretas e paredes vivas em espaços de transição de um edifício. Nesse contexto, foi possível concluir que a presença das fachadas verdes indiretas acarretou o aumento da velocidade do vento nos espaços analisados, fator importante para o conforto térmico de países como a Malásia, devido ao estreitamento do espaço. Esse fato contribuiu para reduções de temperatura do ar no espaço de transição de até 12,98 °C.

Koyama et al. (2013) estudou a capacidade de sombreamento e resfriamento de cinco diferentes espécies de trepadeiras instaladas em treliças em comparação

com uma superfície controle sem vegetação (Figura 17). Este experimento foi realizado no Japão e os autores puderam verificar o efeito de cada espécie no sombreamento das superfícies em função do seu percentual de cobertura verde. Nas fachadas com orientação Sul foi possível encontrar uma redução máxima de 7,9 °C para a temperatura superficial externa, durante o verão, e, dessa maneira, concluir que o efeito de sombreamento está diretamente relacionado à cobertura vegetal das superfícies.

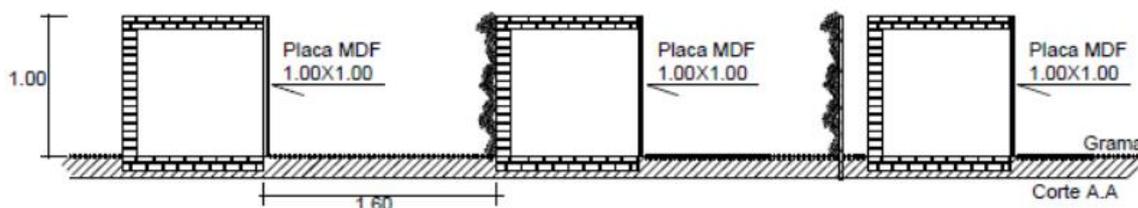
Figura 17. Experimento dos autores Koyama et al. (2013).



Fonte: Koyama et al., 2013.

Em experimento realizado na cidade de Campinas, Morelli e Labaki (2013) avaliaram a contribuição de fachadas verdes aplicadas em células teste na atenuação do ganho de calor em ambientes internos durante o verão. Para isso, foram comparados os desempenhos de fachadas verdes direta, indireta sobre treliça (cavidade de ar de 20 cm) e sem jardim vertical (Figura 18). Para cada situação de análise foi estudada a influência das cores vermelha, azul e verde. Neste estudo foi utilizada a espécie *Parthenocissus tricuspidata* para ambos tipos de fachada verde.

Figura 18. Experimento dos autores Morelli e Labaki (2013).



Fonte: Morelli e Labaki, 2013.

Os parâmetros avaliados na área externa foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura superficial e temperatura de globo. Para a área interna foram avaliados temperatura do ar, velocidade do vento e temperatura superficial.

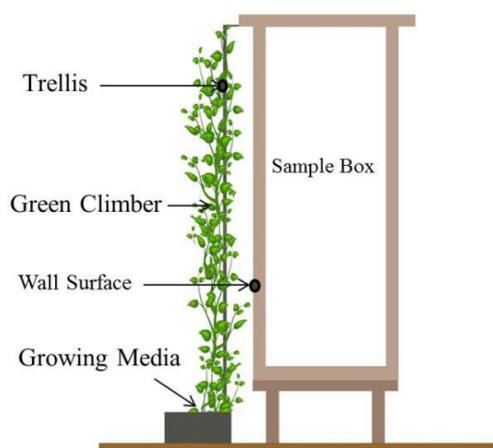
Os resultados demonstraram que a célula teste verde com fachada verde direta apresentou o menor valor médio diário para temperatura do ar interna. Em relação ao valor médio registrado para o ambiente externo, esta célula apresentou reduções de 6,1 °C. As células-teste com vegetação sobre treliça, vermelha e com fachada verde direta registraram os mesmos valores para temperatura do ar interna (23,4 °C), o que significou redução de 5,3 °C em relação ao valor registrado para a área externa.

Quanto à umidade relativa do ar, apenas as células de cor vermelha com fachada verde direta e indireta registraram valores maiores quando comparados ao ambiente externo. A mínima registrada foi para a célula azul com fachada verde indireta. E em relação ao diferencial de temperatura superficial externa e interna das células teste, a máxima redução foi registrada na célula vermelha com fachada verde direta, enquanto a mínima diz respeito à célula verde com fachada verde direta. Essas reduções foram de 1,4 e 0,7 °C, respectivamente.

Na Malásia, Safikhani et al. (2014) realizaram experimento para verificar os efeitos térmicos de um sistema de fachada verde indireta do tipo treliça modular fixado à uma caixa teste “nua”. Para este experimento foi utilizada a espécie *Thunbergia grandiflora* plantada em jardineira (Figura 19). Os parâmetros analisados foram: temperatura do ar e umidade relativa na cavidade de ar e na caixa teste e temperaturas superficiais interna e externa.

Os resultados demonstraram que a instalação da fachada verde acarretou em reduções de até 6,5 °C e 3 °C para as temperaturas na cavidade de ar e no interior da caixa teste durante o dia, respectivamente. No período noturno, as reduções foram de 5,5 °C e 3,5 °C para estes mesmos espaços. Quanto à umidade do ar, foi registrado aumento devido à evapotranspiração realizada pela folhagem da fachada verde indireta.

Figura 19. Experimento dos autores Safikhani et al. (2014).



Legenda: Trellis (treliça); Green climber (trepadeira); Wall surface (superfície da parede); Growing media (substrato).

Fonte: Safikhani et al., 2014.

Quando ao efeito de isolamento térmico da edificação, Cameron, Taylor e Emmett (2015) realizaram o único trabalho experimental que estudou o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas em período de frio e presença de neve. Neste estudo, realizado no Reino Unido, foi possível verificar o potencial das mesmas quanto à economia passiva de energia para aquecimento. O experimento utilizou fachadas verdes indiretas com a espécie *Hedera helix* em sistemas de cabos fixados a cubos teste (Figura 20) e comparou os resultados com cubos controle, sem vegetação.

Figura 20. Experimento de Cameron, Taylor e Emmett (2015).



Fonte: Imagens adaptadas de Cameron, Taylor e Emmett, 2015.

A vegetação atua como barreira ao vento, à chuva, à neve e protege a edificação, uma vez que diminui as trocas de calor com o meio externo. Em épocas de chuva, as paredes vegetadas apresentavam-se secas. Com monitoramento realizado em duas estações consecutivas de inverno, os resultados demonstram que a temperatura superficial externa dos cubos vegetados foi 3 °C mais elevada em relação à superfície controle durante noites em que a temperatura externa se encontrava abaixo de zero graus. Nos meses de janeiro, em que foram registradas

temperaturas congelantes com a presença de vento e chuva, os cubos vegetados foram de 39 a 42% mais eficientes energeticamente. Nesse trabalho fica comprovada a eficiência das fachadas verdes indiretas em isolar termicamente as edificações, uma vez que atua como barreira ao vento e dificulta a perda de calor interna da edificação.

Destaca-se que a vegetação escolhida é de característica perenifólia, ou seja, não perde sua cobertura vegetal durante períodos de inverno. Dessa maneira, apresentou a desvantagem de impedir a insolação direta do cubo durante o dia em períodos frios.

Apesar de não realizar estudo experimental sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas, Scherer (2014) teve como objetivo gerar parâmetros da capacidade de sombreamento de cinco diferentes espécies de trepadeiras através da determinação do Percentual de Transmissão Solar (PTS) para cada uma delas no período de um ano e, por isso, é referência fundamental. As espécies escolhidas para este estudo foram: *Wisteria floribunda*, *Campsis grandiflora*, *Trachelospermum jasminoides*, *Lonicera japonica* e *Thunbergia grandiflora*. A estrutura utilizada neste experimento foi uma tela metálica e uso de trepadeiras plantadas diretamente no solo (Figura 21).

Figura 21. Experimento de Scherer (2014).



Fonte: Scherer, 2014.

Para a determinação deste percentual, foram calculados o percentual de preenchimento da folhagem de cada uma das trepadeiras selecionadas através de análises de imagens digitais retiradas em campo e posterior tratamento no *software* Photoshop© (Figura 22). Neste tratamento, a massa verde era separada do entorno e então calculada a área referente à vegetação. A partir disso, eram realizadas medições de radiação solar no local para que a autora determinasse a transmitância solar de cada uma das espécies durante um ano (Figura 23).

Figura 22. Tratamento das imagens no Photoshop e posterior medição da radiação solar.



Fonte: Scherer, 2014.

Figura 23. Medições de radiação solar para determinação da transmitância solar das espécies.



Fonte: Scherer, 2014.

Assim como Scherer (2014), Widiastuti et al. (2018) estudaram a influência da densidade foliar de duas espécies de trepadeiras em fachadas verdes direta na transferência de calor. Por isso, também foi selecionado para esta revisão por ter objetivo relacionado à influência do percentual de cobertura vegetal no desempenho térmico. A partir de fotografias do experimento, os autores realizavam análise no *software* AutoCad e calculavam os percentuais. Para isso, a vegetação foi instalada em uma célula teste e três situações foram comparadas: sem vegetação, com 50 e 90% de cobertura vegetal (Figura 24). Os seguintes parâmetros foram medidos dentro e fora da célula teste: temperatura do ar, temperatura superficial da parede, umidade relativa do ar e fluxo de calor.

Os resultados demonstraram que, quanto maior a densidade de cobertura vegetal da fachada verde maior foi o efeito de resfriamento. A situação com 90% de cobertura verde resultou em reduções de 7,8 e 6,7 °C para as temperaturas superficiais externa e interna, respectivamente, quando comparada a fachada controle. A umidade relativa do ar também sofreu influência das diferenças de

densidade vegetal, visto que a situação com vegetação mais densa apresentou melhor desempenho tanto externa quanto internamente.

Figura 24. Experimento dos autores Widiastuti et al. (2018).



Fonte: Widiastuti et al., 2018.

Quanto à temperatura do ar interna, a fachada verde com 90% de cobertura vegetal apresentou reduções de até 3,4% em relação ao controle. E, por fim, em relação ao fluxo de calor, a situação com maior densidade apresentou o menor resultado, com redução de 21,75 W/m<sup>2</sup> quando comparada ao controle.

Com o objetivo de conhecer o desempenho térmico da instalação de duas fachadas verdes indiretas orientadas na face Sul, com diferentes espécies de trepadeiras (*Pandorea jasminoides variegated* e *Rhynchospermum jasminoides*) e situadas na região mediterrânea, Vox, Blanco e Schettini (2018) analisaram a temperatura superficial externa para as duas superfícies vegetadas e uma sem vegetação, que serviu de controle (Figura 25).

A temperatura superficial externa para as fachadas vegetadas atingiu máxima redução, em relação à superfície controle, de até 9 °C durante o dia em períodos quentes. Durante a noite, em períodos frios, este parâmetro apresentou resultados de até 3,5 °C mais quentes que a superfície controle.

Figura 25. Experimento de Vox, Blanco e Schettini (2018).



Fonte: Vox, Blanco e Schettini, 2018.

Esses resultados sofrem influência de parâmetros como umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar. Nesse contexto, a situação de maior efeito de resfriamento foi registrada quando a velocidade do vento estava entre 3 e 4 m/s, a umidade relativa do ar entre 30 e 60% e a radiação solar maior que 800 Wm<sup>2</sup>.

#### 2.4.2 Estudos de caso reais

Pèrez et al. (2011) realizaram um estudo de caso em Lleida, Espanha, com o fim de monitorar, durante um ano, a transmitância solar e o efeito de sombreamento causado por uma fachada verde indireta estruturada em treliça modular e com trepadeira da espécie *Wisteris sinensis* (Figura 26). Os parâmetros avaliados foram: iluminância, temperatura do ar e superficial, velocidade do vento e umidade relativa na área externa e na cavidade de ar da cortina verde.

Figura 26. Estudo de caso dos autores Pèrez et al. (2011).



Fonte: Pèrez et al., 2011.

No período em que a folhagem estava desenvolvida (mês de abril), foram encontrados valores entre 0,04 e 0,37 para o fator de transmitância solar, enquanto no período em que a vegetação não apresentava folhagem os resultados variaram entre 0,38 e 0,88. Neste mesmo período sem folhas, a diferença de iluminância entre a área externa e a cavidade de ar atingiu o valor de 20000 lux, enquanto no período com a presença de cobertura vegetal esse valor chegou a 80000 lux. Quanto à temperatura superficial, o diferencial entre área externa e cavidade de ar atingiu o máximo de 15,2 °C para a fachada Sudeste nos meses de agosto e setembro.

No interior da cavidade de ar foi registrada umidade relativa do ar 7% maior em relação à área externa no período com a presença das folhas, enquanto a temperatura do ar apresentou redução máxima de 1,4 °C no verão e aumento máximo de 3,8 °C no inverno para a fachada Sudoeste. Todos estes resultados confirmam o potencial de amenização microclimática e resfriamento promovido pela fachada verde indireta.

Com o objetivo de avaliar o efeito de fachadas verdes indiretas e fachadas verdes diretas, orientadas à Noroeste, no fluxo de ar e barreira ao vento, Perini et al. (2011) realizaram um estudo de caso na Holanda e monitoraram a velocidade do vento e temperaturas superficiais e do ar. A primeira apresenta cobertura vegetal de, aproximadamente, 20 cm, e a espécie de trepadeira foi a *Hedera helix*, enquanto a fachada verde indireta apresenta cobertura vegetal de, aproximadamente, 10 cm e a estrutura aplicada foi a treliça modular (Figura 27).

Figura 27. Estudo de caso dos autores Perini et al. (2011) em fachada verde direta e cortina verde com treliça modular.



**a** Direct façade greening system

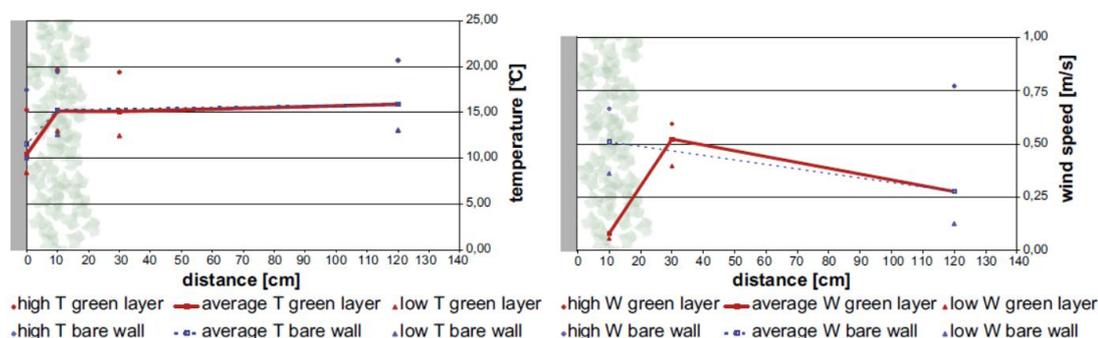
**b** Indirect façade greening system

Legenda: a) Direct greening system (fachada verde direta); b) Indirect greening system (fachada verde indireta).

Fonte: Perini et al. (2011).

Como principal resultado deste estudo, destaca-se o potencial das fachadas verdes em diminuir a velocidade do ar, principalmente quando próximo da cobertura vegetal. Cada tipo de fachada verde apresenta um impacto diferente e, neste trabalho, os autores concluíram que a fachada verde direta é aquela que apresenta maior influência, uma vez que a velocidade do vento tende à zero m/s no interior de sua folhagem. Enquanto que para a temperatura do ar foram registradas reduções de, aproximadamente, 5 °C entre a área externa e o interior da folhagem (Figura 28).

Figura 28. Gráficos para os perfis de temperatura e velocidade do ar da fachada verde direta.

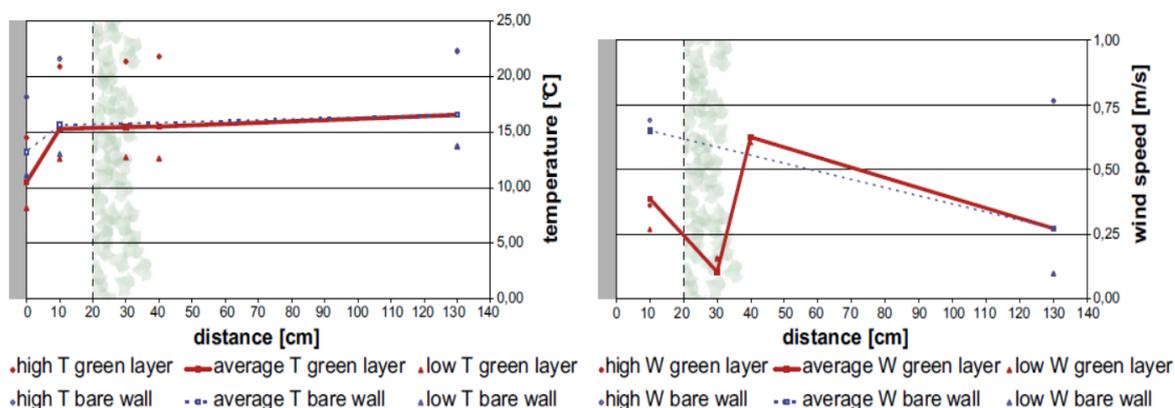


Legenda: High T green layer (temperatura máxima para a fachada verde); Average T green layer (temperatura média para a fachada verde); Low T green layer (temperatura mínima para a fachada verde); High T bare wall (temperatura máxima para a fachada nua); Average T bare wall (temperatura média para a fachada nua); Low T bare wall (temperatura mínima para a fachada nua); High W green layer (velocidade do ar máxima para a fachada verde); Average W green layer (velocidade do ar média para a fachada verde); Low W green layer (velocidade do ar mínima para a fachada verde); High W bare wall (velocidade do ar máxima para a fachada nua); Average W bare wall (velocidade do ar média para a fachada nua); Low W bare wall (velocidade do ar mínima para a fachada nua).

Fonte: Perini et al., 2011.

As fachadas verdes indiretas, por sua vez, seguiram o mesmo padrão para a temperatura do ar, com reduções aproximadas de 5 °C, e velocidade do vento, para a qual se observou um aumento de, aproximadamente 0,4 m/s até a superfície da folhagem e, em seguida, uma brusca queda deste parâmetro no interior da vegetação. No entanto, diferentemente da fachada verde direta, a velocidade do vento sofre aumento significativo no interior da cavidade de ar (Figura 29).

Figura 29. Gráficos para os perfis de temperatura e velocidade do ar da cortina verde.

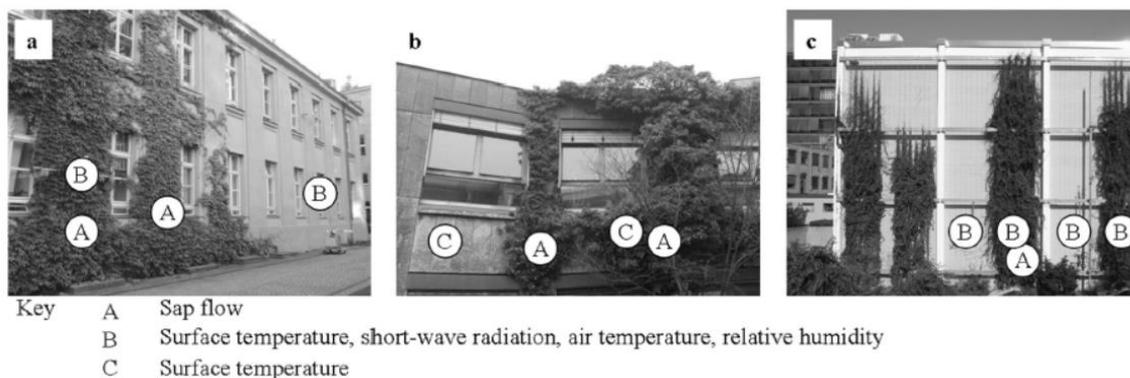


Legenda: High T green layer (temperatura máxima para a fachada verde); Average T green layer (temperatura média para a fachada verde); Low T green layer (temperatura mínima para a fachada verde); High T bare wall (temperatura máxima para a fachada nua); Average T bare wall (temperatura média para a fachada nua); Low T bare wall (temperatura mínima para a fachada nua); High W green layer (velocidade do ar máxima para a fachada verde); Average W green layer (velocidade do ar média para a fachada verde); Low W green layer (velocidade do ar mínima para a fachada verde); High W bare wall (velocidade do ar máxima para a fachada nua); Average W bare wall (velocidade do ar média para a fachada nua); Low W bare wall (velocidade do ar mínima para a fachada nua).

Fonte: Perini et al., 2011.

Em estudo desenvolvido na Alemanha, Hoelscher et al. (2016) tiveram como objetivo quantificar os efeitos da evapotranspiração e sombreamento em relação ao resfriamento de fachadas vegetadas. Para isto, foram avaliadas duas fachadas verdes diretas e uma indireta. Cada uma das fachadas verdes recebeu uma espécie diferente de trepadeira: *Hedera helix* e *Parthenocissus tricuspidata* para fachadas verdes diretas e *Fallopia baldschuanica* para a indireta (Figura 30).

Figura 30. Experimento de Hoelscher et al. (2016).



Legenda: Sap flow (taxa de transpiração da vegetação); Surface temperature, short-wave radiation, air temperature, relative humidity (temperatura superficial, radiação de onda curta, temperatura do ar, umidade relativa; Surface temperatura (temperatura do ar).

Fonte: Hoelscher et al., 2016.

Os parâmetros avaliados foram: temperatura superficial externa e interna, umidade relativa do ar, temperatura do ar externa, radiação de onda curta e taxa de transpiração da vegetação. A temperatura do ar em frente às fachadas não apresentou diferença significativa entre os resultados encontrados para as superfícies vegetadas e o controle. No entanto, as reduções máximas de temperatura superficial externa na face com fachada verde direta e espécie *Parthenocissus tricuspidata* apresentou o melhor resultado (15,5 °C), seguida pela fachada verde direta com *Hedera helix* (13,9 °C) e fachada verde indireta (10,5 °C).

Como resultado, os autores concluíram que o sombreamento e a transpiração são responsáveis por 79,4 e 21,6% do efeito de resfriamento das superfícies vegetadas, respectivamente.

Com o objetivo de conhecer o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas em diferentes condições de tempo durante o período do verão, Lee e Jim (2017) realizaram o experimento em uma edificação com fachadas verdes indiretas localizadas em dois níveis de altura e as comparou com respectivas superfícies controle (Figura 31), na cidade de Hong Kong.

Figura 31. Experimento de Lee e Jim. (2017).

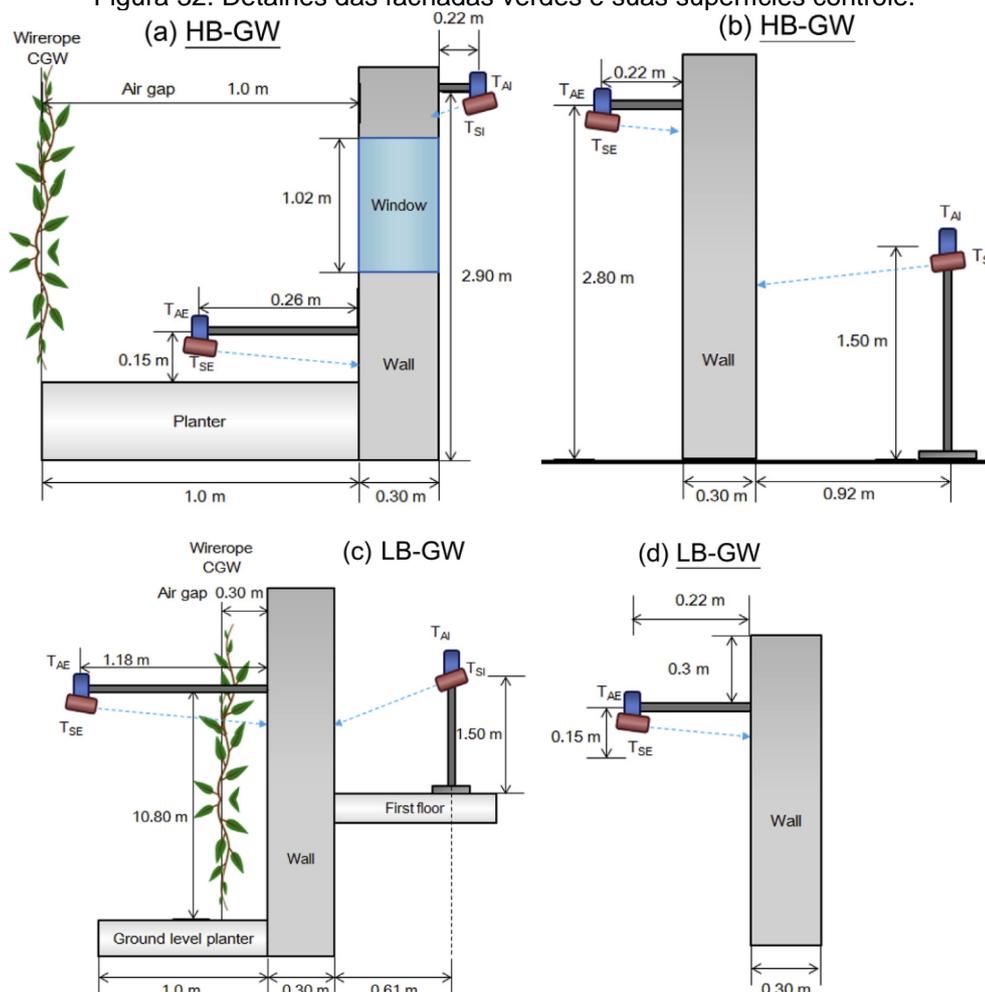


Legenda: LB-GW: *low block green wall* (fachada verde no primeiro pavimento); LB-BW: *low block bare wall* (superfície controle no primeiro pavimento); HB-GW: *high block green wall* (fachada verde no segundo pavimento); HB-BW: *high block bare wall* (superfície controle no segundo pavimento).

Fonte: Lee e Jim, 2017.

O estudo avaliou as temperaturas do ar e superficiais externas e internas para as orientações Nordeste e Noroeste durante o verão com condições de tempo aberto, nublado e chuvoso. Para as fachadas verdes indiretas foi utilizado o sistema de cabos e diferentes tamanhos de cavidade de ar (Figura 32).

Figura 32. Detalhes das fachadas verdes e suas superfícies controle.



Legenda: LB-GW: *low block green wall* (fachada verde no primeiro pavimento); LB-BW: *low block bare wall* (superfície controle no primeiro pavimento); HB-GW: *high block green wall* (fachada verde no segundo pavimento); HB-BW: *high block bare wall* (superfície controle no segundo pavimento).

Fonte: Lee e Jim, 2017.

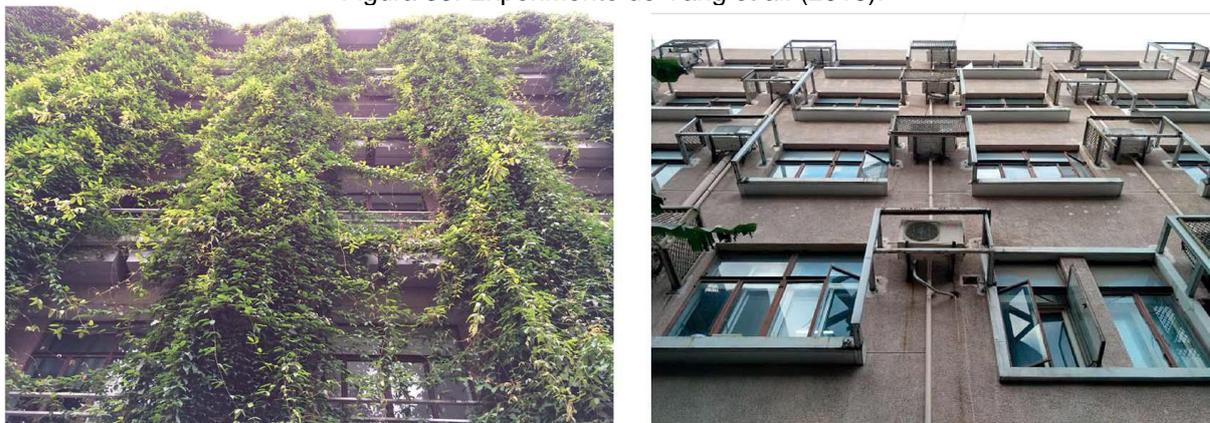
O efeito de resfriamento mais representativo foi registrado na face orientada a Nordeste, que registrou diferenciais de 3,49, 0,52 e 1,19 °C para os dias ensolarados, nublados e chuvosos, respectivamente. Durante o período noturno esses diferenciais foram pouco significativos. A fachada verde com orientação Nordeste obteve melhor desempenho para dias ensolarados em relação às temperaturas do ar e superficiais registradas na fachada Noroeste. Para estas variáveis foram registrados 0,38 e 0,77 °C de atenuação, respectivamente. No entanto, a fachada verde situada à Noroeste apresentou melhor desempenho durante no período da noite.

A partir desses resultados, os autores concluem que o projeto da fachada verde está diretamente relacionado ao seu desempenho térmico, uma vez que, uma

larga cavidade de ar proporciona maior resfriamento e, portanto, fachadas mais ensolaradas nas edificações devem ser priorizadas.

Em experimento realizado na China, Yang et al. (2018) avaliaram o desempenho térmico e potencial de economia de energia de duas fachadas verdes indiretas orientadas à Norte e Sul, respectivamente. Para isto, o estudo foi realizado no período de verão, utilizou a espécie perenifólia *Mucuna sempervirens* e as parcelas vegetadas foram comparadas com uma superfície controle (Figura 33).

Figura 33. Experimento de Yang et al. (2018).



Fonte: Yang et al., 2018.

Para atingir o objetivo, os parâmetros avaliados foram a temperatura superficial externa, temperatura do ar na cavidade de ar e umidade relativa do ar externa, além da temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e temperatura de globo no interior dos ambientes.

Os resultados demonstraram que as cavidades de ar das fachadas verdes indiretas criaram um microclima diferente, onde a redução média de temperatura do ar foi de 0,4 °C e máxima de 5,5 °C para a fachada Sul. Em contrapartida, para a fachada Norte, as reduções média e máxima registradas foram de 0,2 e 3,3 °C, respectivamente. A redução média de temperatura superficial externa para a fachada Sul foi de 1,5 °C para a fachada verde indireta em relação ao controle, enquanto a máxima foi de, aproximadamente, 9 °C. Quando analisadas as reduções para este parâmetro no ambiente interno, a média e máxima registradas foram de 1,2 e 2 °C, respectivamente.

A fachada verde indireta com orientação Sul obteve melhor desempenho em relação a Norte, uma vez que as reduções médias e máximas para a temperatura superficial externa e interna foram de 0,5, 4,2, 0,5 e 1,3 °C, respectivamente.

Destaca-se que, entre todos os estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas analisados, nesta revisão bibliográfica, apenas Hoelscher et al. (2016), Vox, Blanco e Schettini (2018) e Yang et al. (2018) abordam o parâmetro LAI (*leaf área index*). Este dado é de suma importância para a análise do desempenho térmico das fachadas verdes, uma vez que representa o índice de área foliar e consiste na relação entre a área da folhagem e sua superfície. Dessa maneira, por estar relacionado à densidade vegetal, influencia, diretamente, o potencial de sombreamento das fachadas verdes.

#### **2.4.3 Síntese da revisão bibliográfica**

A partir da revisão bibliográfica, sobre os estudos que tratam do desempenho térmico das fachadas verdes indiretas, é possível concluir que as metodologias são variadas e pouco padronizadas e os estudos se concentram em algumas regiões do mundo, o que acarreta pouca variabilidade de climas e espécies de trepadeiras utilizadas. Apesar disso, a eficiência térmica das fachadas verdes é confirmada, juntamente com a atuação de seus quatro mecanismos de ação (sombreamento, resfriamento evaporativo, barreira ao vento e isolamento térmico). Nesse contexto, as principais características dos estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas estão sintetizadas no Quadro 1.

Quanto aos principais resultados desses estudos, devido à falta de padronização das metodologias, os parâmetros analisados são muitos e, por isso, o Quadro 2 apresenta as reduções máximas alcançadas nos estudos analisados em relação às principais variáveis microclimáticas monitoradas em função da aplicação das fachadas verdes.

Quadro 1. Os estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas e suas principais características.

Ref	Autor	Ano	Local	Clima	Período	Orientação	Estrutura
01	Ip, Lam e Miller	2010	Reino Unido	-	Verão	Sudoeste	Treliça modular
02	Wong et al.	2010	Singapura	Tropical	Inverno, Primavera e Verão	-	Treliça modular
03	Pérez et al.	2011	Espanha	Mediterrâneo Continental	Todo o ano	Nordeste, Sudoeste e Sudeste	Treliça modular
04	Perini et al.	2011	Holanda	Temperado Marítimo	Outono	Nordeste	Treliça modular
05	Sunakorn e Yimprayoon	2011	Tailândia	Tropical	Verão	Oeste	Treliça modular
06	Jaafar et al.	2013	Malásia	Tropical	-	Norte	Cabos
07	Koyama et al.	2013	Japão	-	Verão	Sul	Tela de plástico
08	Morelli e Labaki	2013	Brasil	Tropical de Altitude	Verão	Norte	Treliça
09	Safikhani et al.	2014	Malásia	Quente e úmido	Primavera	Oeste	Treliça modular
10	Cameron, Taylor e Emmett	2015	Reino Unido	Temperado Marítimo	Inverno	-	Cabos
11	Hoelscher et al.	2016	Alemanha	-	Verão	Leste, Oeste e Sudoeste	Cabos
12	Lee e Jim	2017	Hong Kong	Subtropical	Verão	Nordeste e Noroeste	Cabos
13	Vox, Blanco e Schettini	2018	Itália	Mediterrâneo	Verão e Inverno	Sul	Tela metálica
14	Yang et al.	2018	China	-	Verão	Norte e Sul	Treliça modular
15	Widiastuti et al.	2018	Indonésia	Tropical de monções	Verão	Leste	-

Quadro 2. Os estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas e as reduções máximas para as principais variáveis microclimáticas monitoradas.

Ref.	Principais resultados (°C)							
	TAR	TSE	TSF	TSI	TC	TI	TE	TG
02	-	4,36	7,32	-	-	-	-	-
03	-	15,2	-	-	1,36	-	-	-
04	-	2,7	1,2	-	1,25	-	-	-
05	-	-	-	-	-	9,93	I	-
06	12,9	-	-	-	-	-	-	-
07	-	7,9	-	-	-	-	-	-
08	-	-	-	-	-	6,1	-	1,9
09	-	-	-	-	6,5	3	-	-
12	-	3,49	-	-	-	-	-	-
13	-	9	-	-	-	-	6	-
14	-	8,7	-	2	5,5	2,5	-	-
15	-	6,7	-	7,8	-	-	-	-

Legenda: I – irrisório; Tse – temperatura superficial externa; Tsi – temperatura superficial interna; Tsf – temperatura superficial da folhagem; Tar – temperatura do ar; Te – temperatura do ar externa; Ti – temperatura do ar interna; Tc – temperatura do ar na cavidade; Tg – temperatura de globo.

Em relação à umidade relativa do ar e à influência das fachadas verdes na dinâmica do vento, os resultados são variados e não estão presentes em todos os estudos analisados e, por isso, são apresentados separadamente no Quadro 3. Observa-se que o mecanismo de barreira ao vento, que atua na diminuição da velocidade do vento, principalmente entre a folhagem, onde alcança seu ápice, e a influência da evapotranspiração nos resultados da umidade relativa, que causa aumento desse parâmetro em seu entorno imediato, mas também a redução, como pode ser observado no estudo de referência 06, cuja redução de 7,4% é devido à baixa circulação do ar naquele espaço.

Quadro 3. Os estudos experimentais sobre o desempenho térmico de fachadas verdes indiretas e seus principais resultados em relação à umidade relativa e velocidade do ar.

Ref.	Principais resultados	
	VAR	UR
03	-	Aumento de 7% na cavidade de ar
04	Redução de 0,55 m/s entre a folhagem e a 10 cm da parede controle. Aumento de 0,29 m/s em meio a folhagem.	-
05	-	Aumento de 6,8 % durante o dia
06	Redução de 1,8 m/s	Redução de 7,4%
09	-	Aumento de 16 e 12% na cavidade de ar e ambiente interno, respectivamente
14	-	Aumento de 22,3% na fachada Sul e redução de 9,2% para a fachada Norte
15	-	O maior resultado para a fachada mais vegetada

Legenda: Ur – Umidade relativa do ar; Var – velocidade de ar.

Destaca-se aqui o trabalho de Cameron, Taylor e Emmett (2015) foram os únicos que avaliaram períodos de frio extremo, com presença de neve e temperaturas baixo de zero. Em condições de tempo frio com presença de vento a temperatura superficial externa das caixas vegetadas se apresentavam 2,1 °C mais quentes em relação às caixas nuas. A economia de energia alcançada para as caixas vegetadas girou em torno de 42 a 50% em relação às caixas sem vegetação para temperaturas congelantes.

Outros trabalhos que também se destacaram, em função da metodologia e dos parâmetros avaliados, foram os de Ip, Lam e Miller (2010) e Pérez et al. (2011), que estudaram a transmissão solar de fachadas verdes em função das camadas vegetais e da cavidade de ar.

Por fim, verifica-se uma carência de estudos comparativos de espécies, não apenas para avaliar sua aplicabilidade, mas para estudar seu desempenho térmico. Além disso, observa-se, ainda, pouca variabilidade de locais de análises, uma vez que avaliações em ambientes internos e espaços de transição são escassos, a incorporação do LAI (índice de área foliar ou leaf área index) nas metodologias de pesquisa e maior riqueza de detalhes dos processos metodológicos.

Dessa maneira, os Quadros 4 e 5 apresentam as principais lacunas metodológicas e informativas encontradas nos estudos avaliados, como a padronização das metodologias, variedade de espécies utilizadas, orientação das fachadas, localidade, clima e informações de estrutura de suporte e seus modelos.

Quadro 4. Principais lacunas metodológicas.

Espécies	Escassez de trabalhos que comparem as espécies vegetais, desde seus aspectos biológicos, como crescimento e desenvolvimento, até a eficácia de cada uma na amenização térmica das fachadas verdes;
Localidade	Necessidade de maior expansão de locais para os estudos, uma vez que 80% dos trabalhos se localizam na Europa e Ásia;
Ambientes de estudo	Pouca variedade de ambientes a serem estudados, principalmente os de transição, que constam em apenas um trabalho;
Modelos	Necessidade de estudos comparativos entre fachadas verdes diretas e indiretas;
Parâmetros	Poucos estudos que avaliem o LAI (índice de área foliar ou <i>leaf área index</i> ). Analisar a transmitância média de radiação solar. Estudar mais detalhadamente o efeito da evapotranspiração.

Quadro 5. Principais lacunas de informações referentes aos trabalhos avaliados.

Espécies	Escassez de detalhes em relação às espécies utilizadas, erros de nomenclatura e classificação taxonômica;
Equipamentos	Necessidade de maior riqueza de informações em relação aos equipamentos utilizados, características técnicas e esquema de monitoramento;
Orientação da fachada	Falta de informação da orientação geográfica das fachadas estudadas;
Estrutura e dimensões	Escassez de detalhes sobre a estrutura das fachadas verdes, suas superfícies controle, bem como dimensões e materiais utilizados.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir o objetivo de determinar e quantificar a atenuação de radiação solar das fachadas verdes indiretas com diferentes espécies de trepadeiras, em um espaço de transição, foram seguidos quatro passos metodológicos.

O primeiro foi uma revisão bibliográfica com foco no tema “jardins verticais”, especialmente na tipologia fachada verde indireta, através de estudos sobre desempenho térmico, aspectos operacionais e construtivos. Essa revisão, além de embasar teoricamente a pesquisa e o projeto experimental, também forneceu um panorama geral sobre o tema, suas lacunas metodológicas e de informação.

O segundo passo foi o desenvolvimento do projeto experimental, escolha do espaço de transição para implantação das fachadas verdes, definição das espécies de trepadeiras, implantação e manutenção dos jardins verticais.

O terceiro passo consistiu em analisar o Potencial de Sombreamento (PSO) de cada uma das espécies, parâmetro utilizado para designar quantitativamente a ação conjunta de fatores morfológicos das espécies de trepadeiras que interferem na atenuação de radiação solar das fachadas verdes. Para isso, foram realizados acompanhamentos mensais através de registros fotográficos para a quantificação do Percentual de Cobertura Verde (PCV) e, conseqüentemente, do Fator de Cobertura Verde (FCV). As imagens digitais obtidas no processo de acompanhamento para o cálculo do PCV foram vetorizadas no *software* AutoCad® e, dessa maneira, foi possível calcular o parâmetro em questão. Esse processo metodológico foi baseado nos estudos de Scherer (2014) e Koyama et al. (2013).

Além disso, foram identificados e quantificados outros fatores que, assim como o FCV, também influenciam no PSO. São eles: Fator do Tamanho da Folhagem (FTF), Fator de Espaçamento das Folhas (FES) e realizadas medições de espessuras foliares para a determinação do Fator de Espessura foliar (FEF). Além desta avaliação, as espécies foram analisadas quanto ao seu crescimento, desenvolvimento e peculiaridades, de maneira a comparar seus resultados e a aplicabilidade das mesmas em fachadas verdes indiretas, importante lacuna apontada pela revisão bibliográfica.

O quarto passo foi verificar a influência do conjunto de fachadas verdes nas variações microclimáticas do espaço de transição, através da comparação dos microclimas em pontos no espaço de transição com e sem influência do jardim vertical.

Os resultados das variáveis microclimáticas foram, posteriormente, testados estaticamente para que fosse possível entender se existia dependência entre as variáveis e qual o grau.

As campanhas de monitoramento foram realizadas em condições de tempo frio e quente, tiveram durações de 3 dias e a metodologia adotada se baseou nos estudos de Perini et al. (2011) e Jaafar et al. (2013).

### **3.1. Desenvolvimento do projeto experimental**

Na etapa de desenvolvimento do projeto experimental, primeiramente foi realizado o projeto da estrutura do experimento, com medidas e materiais adequados, bem como a escolha das espécies a partir de critérios pré-estabelecidos. Em seguida, foi realizada a análise do espaço de transição escolhido e, por último, o plantio das espécies de trepadeiras e a manutenção das mesmas durante o desenvolvimento do experimento.

#### **3.1.1. Estrutura do experimento**

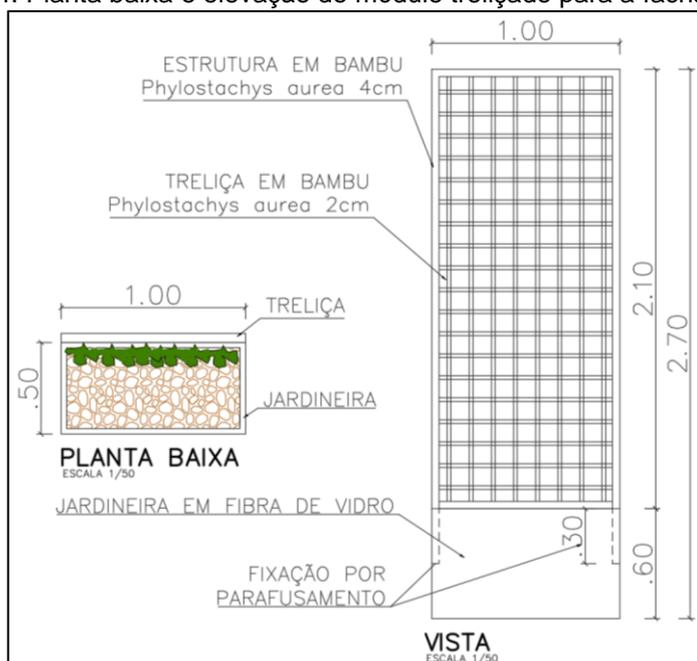
O experimento é composto por três treliças modulares para suporte de três diferentes espécies de trepadeiras, fixadas em jardineira de fibra de vidro com dimensões de 1,00 x 0,50 x 0,60m (comprimento, largura e altura), que foram instaladas no centro do vão entre dois pilares do espaço de transição. Destaca-se aqui que as jardineiras foram escolhidas devido às suas dimensões, visto que, para o bom crescimento das espécies, se faz necessário que a jardineira tenha profundidade suficiente para o desenvolvimento das raízes das espécies de trepadeiras.

A estrutura das treliças é de bambu da espécie *Phylostachys aurea* (Figura 34) e cada uma delas, com dimensões de 1,00 x 0,05 x 2,10m (comprimento, largura e altura), foi parafusada a 30 cm diretamente na jardineira. A tomada de decisão pelo bambu foi devido à leveza do material, fácil manuseio, baixo custo, material abundante e de fácil acesso e por ser natural.

Os materiais adotados para esse experimento não se assemelham aos utilizados pelos trabalhos da revisão bibliográfica, visto que o mais comum era utilizar treliças metálicas e até mesmo estruturas de cordas, além do plantio das espécies diretamente no solo.

Conforme orientação de um engenheiro agrônomo e um biólogo, as jardineiras receberam o substrato adequado para o desenvolvimento das trepadeiras, o bidim (manta filtrante) e seixos de argila expandida (camada drenante). Cada uma delas recebeu uma espécie de trepadeira, cujas mudas foram plantadas em solo preparado com substrato vegetal adequado para o seu crescimento e adubação correta (Figura 35).

Figura 34. Planta baixa e elevação do módulo treliçado para a fachada verde.



Fonte: elaborado pela autora, 2017.

Figura 35. As fachadas verdes indiretas.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

### 3.1.2. Caracterização da área de estudo

O local selecionado para a pesquisa foi o espaço de transição da Central de Laboratórios Didáticos da FAAC – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Unesp, Campus de Bauru, cidade localizada na região Centro Oeste do Estado de São Paulo (Lat. 22°21'30" Sul e Long. 49°23'Oeste) e, segundo a classificação de Köppen, possui caracterização climática Cfa (clima subtropical, com verão quente) e temperatura média anual de 21,1 °C (ALVARES et al., 2014).

O edifício é orientado à Oeste e é composto por blocos, cobertura e estrutura metálicas e um pátio central circundado por espaços de transição, que servem de acesso aos laboratórios da FAAC, possui orientação (Figura 36).

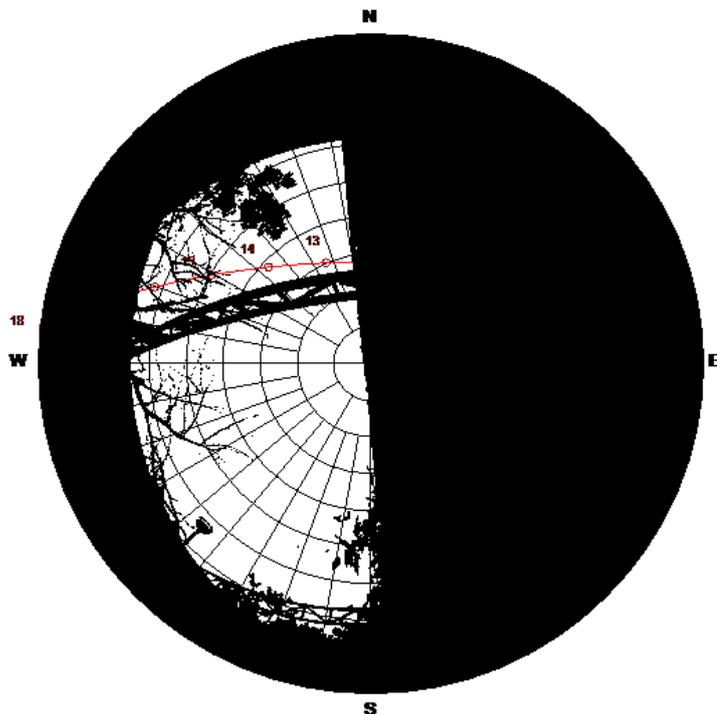
Figura 36. O espaço de transição.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2017.

A partir das informações geográficas e das fotos hemisféricas em frente aos três módulos de fachadas verdes indiretas, foi possível determinar a obstrução do entorno e também a trajetória solar para ambas as condições de tempo analisadas. Esses dados foram obtidos através do *software* Rayman (MATZARAKIS et al., 2000). Nesse contexto, durante as medições em condições de tempo frio, realizadas em 26 e 27 de agosto e 6 de setembro, é possível observar que, próximo às 17h00, o espaço de transição já se encontrava sombreado (Figura 37). Para o verão, no entanto, cujas medições foram realizadas nos dias 12, 13 e 14 de dezembro, é possível observar que, devido ao horário de verão, o espaço de transição encontrava-se ensolarado até próximo das 18h (Figura 38).

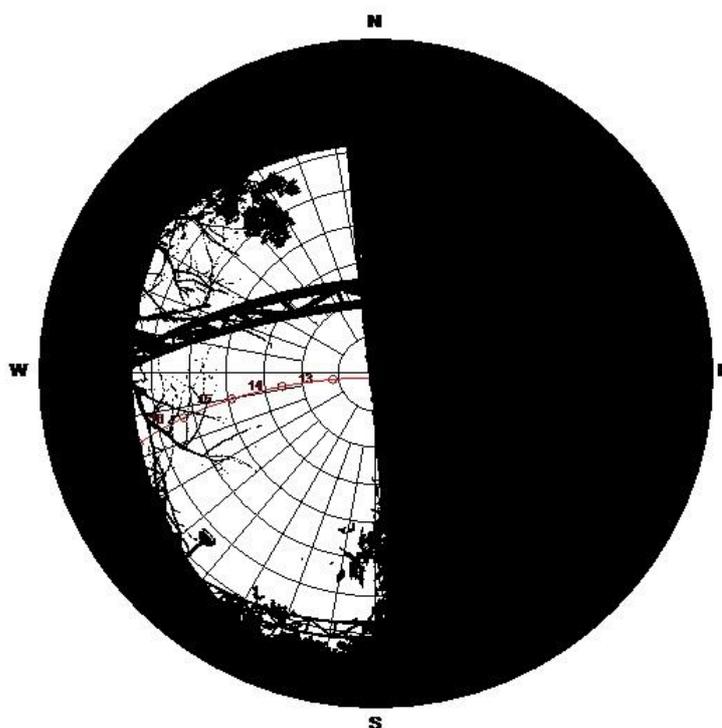
Figura 37. Foto hemisférica para evidenciar as obstruções do entorno e a trajetória solar no período de medições em tempo frio.



© 2000 RayMan 1.2

Fonte: Imagem obtida através do software *Rayman*, 2018.

Figura 38. Foto hemisférica para evidenciar as obstruções do entorno e a trajetória solar no período de medições em tempo quente.



© 2000 RayMan 1.2

Fonte: Imagem obtida através do software *Rayman*, 2018.

### 3.1.3. Escolha das espécies

Para a realização desta pesquisa foram selecionadas duas espécies de trepadeiras volúveis (o caule é o meio de ascensão), a *Thunbergia grandiflora* (Roxb. Ex Rottl.) Roxb. (tumbérgia azul) e *Ipomoea horrsfalliae* Hook. (ipomea rubra), e uma sarmentosa (possuem gavinhas que ajudam na fixação), a *Passiflora edulis* Sims (maracujá azedo). As três são comercializadas na cidade de Bauru, facilmente encontradas, adaptadas às condições locais e aptas para a aplicação na pesquisa. Além disso, a seleção se baseou em alguns critérios, que são:

- Espécies adaptadas ao clima local;
- Rápido crescimento;
- Características de cobertura vegetal densa;
- Espécies indicadas para áreas de sol pleno;
- Espécies perenifólias.

Informações técnicas sobre essas espécies como perda foliar, local de origem e clima podem ser encontradas no Apêndice A. Na Figura 39 é possível observar imagens ilustrativas das espécies selecionadas, com destaque para as suas flores.

Além de atender aos critérios indicados, a *Thunbergia grandiflora* foi escolhida porque é muito citada e utilizada em trabalhos científicos sobre desempenho térmico de fachadas verdes indiretas no mundo todo (SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011; JAAFAR et al. 2013; SAFIKHANI et al. 2014). Destaca-se que, outro aspecto importante para a escolha do maracujá foi o fato de ser uma espécie frutífera, o que ressalta o potencial dos jardins verticais como produtores de alimentos.

Figura 39. Espécies selecionadas para o experimento: Maracujá azedo, Ipomeia rubra, Tumbérgia azul.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

### 3.2. Detalhes do plantio e a manutenção

Com o intuito de acompanhar o desenvolvimento das espécies, as mudas foram compradas com porte pequeno e o plantio das espécies ocorreu no dia 11/01/2018. Primeiramente, foram depositados 25 quilos de argila expandida do tipo graúda em cada jardineira. Destaca-se aqui que as jardineiras utilizadas pertencem à marca Vaso e Cor® e foram escolhidas devido a ser a única marca encontrada no mercado que fabricava jardineiras com tamanho adequado para o plantio das espécies.

Em seguida, foi feita uma camada de manta bidim sobre a camada de pedras e então foi colocada a terra vegetal (Figura 40). Foram utilizados 17 sacos de 19,8 kg de terra e 3,2 sacos de 25 kg, totalizando 416,6 kg de terra vegetal distribuídos igualmente entre as 3 jardineiras. A cada saco de terra despejado nas jardineiras era misturado com um pouco de vermiculita, para reter maior quantidade de umidade, e fosfato supersimples, para aumentar a quantidade de fósforo no solo. As etapas desses processos estão representadas na Figura 41.

Após o preparo do solo em cada uma das jardineiras foram feitas covas de plantio, de acordo com a necessidade de cada espécie. Para o plantio era necessário que fosse retirado o plástico que envolvia o torrão de terra e as raízes das mudas (Figura 42). Cada módulo de fachada verde recebeu três mudas de uma mesma espécie. Por fim, foi feita a aplicação de adubo enraizador da marca Forth Jardim®, com fórmula NPK 02-05-05 e proporção 1/1 e de bastante água para que a terra ficasse encharcada e o adubo fosse incorporado ao solo.

Figura 40. A argila expandida e as duas marcas de terra vegetal utilizadas no plantio.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Figura 41. As etapas de preparo do meio orgânico.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Figura 42. As mudas antes do plantio.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

No dia 12/01/2018 foi executada a instalação da irrigação automática, composta por 5 metros de mangueira conectadas ao temporizador de programação da Amanco® e à régua de gotejo (Figura 43). A irrigação era ativada duas vezes ao dia, sempre às 7h00 e às 19h00. No primeiro trimestre o gotejo era ativado durante 15 minutos, mas com o início do aparecimento de caramujos, esse tempo foi reduzido para 10 minutos a cada 12 horas. Passados mais três meses, devido à chegada de dias com condições de tempo frio e do amarelamento de algumas folhas do maracujá, o tempo de irrigação foi reduzido para 7 minutos. Em novembro de 2018, durante as condições de tempo quente, o período de irrigação foi, novamente, alterado para 10 minutos. Destaca-se aqui a colocação de 16 litros de casca de árvore sobre as jardineiras, 15 dias após o plantio, para que a umidade fosse mantida (Figura 44).

Figura 43. O sistema de irrigação.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Figura 44. Cascas de árvore aplicadas nas jardineiras.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

A manutenção e acompanhamento do desenvolvimento dos jardins ocorreu durante todo o experimento através de visitas semanais, nos primeiros dois meses, e

quinzenais no restante do tempo. Apesar da irrigação automática dispensar essa periodicidade, a manutenção ocorria para o controle de pragas, em especial as formigas, muito abundantes no espaço em que os jardins foram instalados.

Mensalmente eram realizadas aplicações de adubação de crescimento, com fórmula de NPK 30-9-10, e de manutenção, com fórmula NPK 13-5-13, ambos produtos granulados (Figura 45). Além disso, também era realizada pulverização de defensivo *Inseticom*, do fabricante *Insetimax*<sup>®</sup>, cujo princípio ativo é a substância lambda-cialotrina, contra pragas e insetos como lagartas e pulgões. Ressalta-se que todas as aplicações seguiram dosagens e procedimentos conforme informados pelo fabricante na embalagem dos produtos.

Durante o processo de acompanhamento não foi necessário nenhum replantio ou troca de mudas, uma vez que todas se desenvolveram sem maiores problemas e se adaptaram bem. Porém, no final de outubro de 2018, o maracujá sofreu um ataque de lagartas e ácaro vermelho. Para este controle foi aplicado o defensivo *Spurion*<sup>®</sup>, também do fabricante *Insetimax*<sup>®</sup>, acaricida elaborado com bifentrina, e as pragas foram controladas sem maiores problemas (Figura 46).

Figura 45. Fertilizantes para crescimento e manutenção.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Figura 46. Os defensivos *Inseticom* e *Spurion*<sup>®</sup>.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

### 3.2.1. Análise do Potencial de Sombreamento (PSO) e o acompanhamento do desenvolvimento das espécies

A determinação e quantificação do Potencial de Sombreamento (PSO) de cada espécie de trepadeira foi possível a partir de dados obtidos do Percentual de Cobertura Verde (PCV), de espessura foliar, tamanho das folhas e espaçamento entre elas.

O cálculo do PCV foi baseado no trabalho de Scherer (2014) e realizado mensalmente, a partir do dia do plantio, através de registros fotográficos feitos no local e posterior análise dos mesmos no *software* AutoCad®. A fotografia original era inserida no ambiente de trabalho desse *software* e, primeiramente, era delimitada a área de análise, através da ferramenta *Polyline*, sempre correspondendo à treliça de bambu (Figura 47).

Figura 47. Fotografia tirada em campo da espécie *Ipomoea horsfalliae* e a delimitação da área de análise.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Em seguida, ainda utilizando a ferramenta *Polyline*, a fotografia era vetorizada com o fim de criar uma máscara sobre a área foliar, separando a massa verde da estrutura de suporte (Figura 48). Após a criação da máscara eram aplicadas hachuras, através da ferramenta *Hatch*, tanto na área de análise delimitada quanto na área da folhagem delimitada pela máscara.

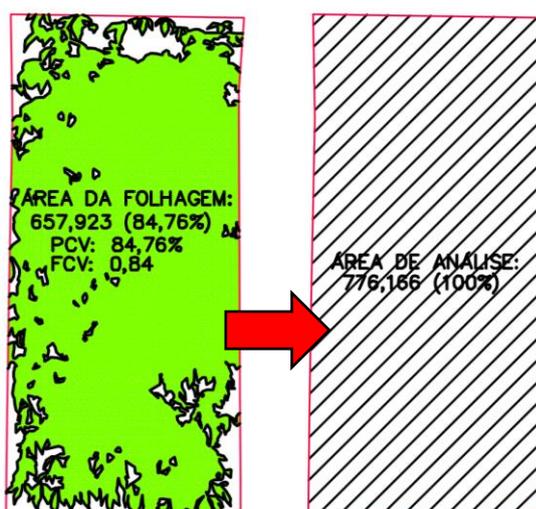
Por último, as áreas de cada hachura eram calculadas, nas quais a área de análise correspondia sempre a 100%, seus valores eram relacionados e encontrava-se o percentual de cobertura verde (PCV). Com base nesse valor encontrado, expresso em porcentagem, era determinado o FCV (Fator de Cobertura Verde), um coeficiente que varia de 0 a 1 e é determinado através de uma regra de três simples, cujo valor 1 representa 100% de PCV (Figura 49). Registros mensais dos cálculos do PCV foram apresentados no Apêndice B

Figura 48. Vetorização da área de análise e criação da máscara sobre a área da folhagem.



Fonte: Imagem elaborada pela autora, 2018.

Figura 49. Aplicação da hachura e cálculo das áreas e FCV.



Fonte: Imagem elaborada pela autora, 2018.

Ressalta-se aqui, que os procedimentos para cálculo de densidade foliar e LAI (índice de área foliar) são bastante complexos e não fizeram parte deste trabalho.

Foram realizadas análises visuais e empíricas a partir da manutenção e acompanhamento dos jardins e durante o monitoramento das variáveis.

Juntamente à determinação do FCV, também foram medidos os valores de espessura foliar para cada uma das espécies. Estas medições foram realizadas com trena, sempre no centro da cobertura verde (local de vegetação uniforme), que também corresponde ao centro das treliças e forneceram dados para a determinação do FEF (Fator de Espessura da Folhagem) (Figura 50). Para o FEF, foram especificados valores 0,3, 0,7 e 1,0 para espessuras de até 45 cm, 46 – 90 cm e acima de 91 cm, respectivamente.

Figura 50. Medições das espessuras foliares.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Após a determinação do Fator de Cobertura Verde (FCV) e do Fator de Espessura Foliar (FEF), também foi determinado o Fator do Tamanho das Folhas (FTF) e de espaçamento entre elas (FES). Para o FTF, foi considerado o fator 1 para o tamanho grande (maior que 15 cm), 0,7 para folhas médias (entre 5 e 15 cm) e 0,3 para folhas pequenas (menor que 5 cm). Esta determinação tem como referência Mascaró e Mascaró (2010), que afirmam que, quanto menor a folha, maior a porosidade ao vento e radiação solar. O Fator de Espaçamento das Folhas (FES) foi definido de maneira empírica, através da percepção durante os períodos de monitoramento das variáveis e acompanhamento das espécies. Esse fator considerou os valores 0,3, 0,7 e 1,0 para espaçamento grande (maior que 10cm), médio (entre 5 e 10 cm) e pequeno (menor que 5 cm), respectivamente, e não foi encontrada nenhuma referência bibliográfica ou método para sua definição.

Todas essas variáveis morfológicas das espécies vegetais, transformadas em fatores, têm um papel importante na atenuação da radiação solar incidente e, por isso,

foram utilizadas para a determinação qualitativa do Potencial de Sombreamento de cada espécie. Dessa maneira, foi determinada a seguinte equação:

$$PSO_{esp.} = \frac{FCV + FEF + FTF + FES}{4}$$

Onde:

$PSO_{esp.}$  - Potencial de sombreamento da espécie;

FCV - Fator de Cobertura Verde;

FEF – Fator de Espessura da Folhagem;

FTF – Fator do Tamanho das Folhas;

FES – Fator de Espaçamento das Folhas.

O PSO varia entre 0 e 1, na seguinte escala de valores: 0 - 0,20 (péssimo); 0,21 - 0,40 (ruim); 0,41 - 0,60 (regular); 0,61 - 0,80 (Bom) e 0,81 - 1,00 (Ótimo). Assim, para uma espécie de trepadeira com PSO ótimo, significa que ela tem capacidade de bloquear, no mínimo, 81% da radiação solar incidente. Para testar sua eficiência, o cálculo do PSO de cada trepadeira foi comparado com os dados de atenuação da radiação solar a partir de medições locais.

### **3.2.2. Monitoramento das variáveis microclimáticas**

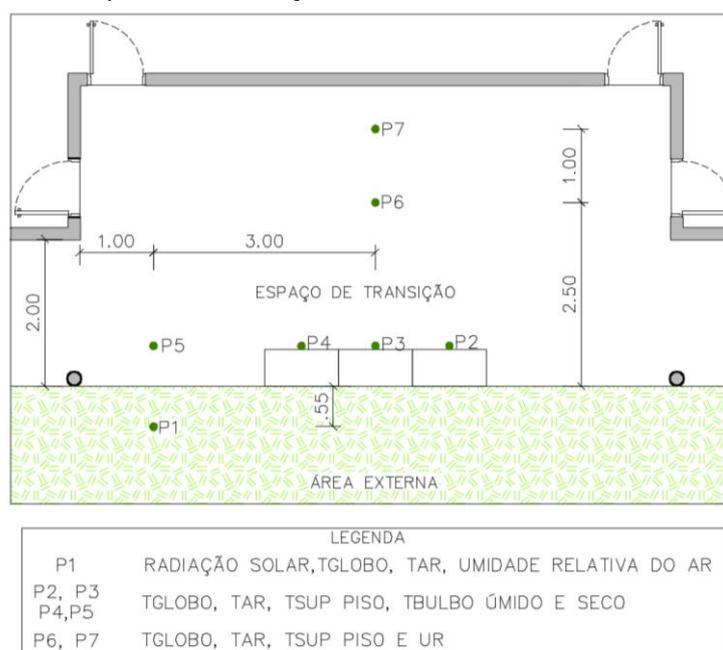
O monitoramento foi realizado com o objetivo de analisar a intensidade de atenuação da radiação solar de cada uma das três espécies de trepadeiras e a influência conjunta das fachadas verdes nos microclimas do espaço de transição, em diferentes condições de tempo. Para isso, foram realizadas medições externas as fachadas verdes e dentro do espaço de transição.

Para o espaço externo, as variáveis monitoradas foram: temperatura do ar, umidade relativa do ar, temperatura de globo e radiação solar. Para o espaço de transição, as variáveis temperatura do ar, de globo, de bulbo seco, de bulbo úmido e umidade relativa do ar, foram monitoradas em 6 pontos e um deles foi o ponto controle (P5). Dados de radiação solar também foram coletados nas faces externa e interna das fachadas verdes para quantificar a atenuação de radiação solar incidente em cada uma das espécies. O esquema utilizado para estes monitoramentos é apresentado na

Figura 51, através da planta baixa do espaço de transição e os pontos de monitoramento microclimático.

A variável temperatura de globo foi necessária para o cálculo da temperatura radiante média, através do *software* Conforto 2.0 (RUAS, 2002). Nesse software, o cálculo da temperatura radiante média é realizado com base na Equação 1. Para isso, foram informadas as temperaturas do ar e de globo e velocidade do ar para cada horário. Ainda para o cálculo da temperatura radiante média, são informadas as características do globo utilizado, que são: diâmetro de 4 cm, emissividade de 0,95 e a temperatura registrada pelo equipamento.

Figura 51. Os pontos de medições e as variáveis analisadas em cada um.



Fonte: Imagem elaborada pela autora, 2018.

$$T_{rm} = \left[ (T_a + 273,15)^4 + \frac{1,1 \times 10^8 \times v^{0,6}}{\epsilon \times D^{0,4}} \times (T_g - T_a) \right]^{0,25} - 273,15 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

Emissividade do globo  $\epsilon = 0,95$ ;

Diâmetro do globo  $D = 0,038$  m;

Coeficiente de convecção médio do globo =  $1,1 \times 10^8 \times v^{0,6}$  (NIKOLOPOULOU et al., 1999).

A partir dos dados do IPMET (2018), verificou-se que a velocidade do vento no período foi constantemente baixa, de forma que se adotou  $v = 0,1$  m/s.

Além dos monitoramentos no espaço de transição e externo a ele, e da radiação solar atrás das trepadeiras, foram registradas as temperaturas superficiais na face externa das fachadas verdes, de maneira a poder comparar, qualitativamente, os picos de temperatura com a atenuação de radiação solar promovida pelas fachadas verdes. A temperatura superficial do jardim foi monitorada através da câmera térmica, com o fim de produzir imagens qualitativas desta variável na face externa dos jardins.

Para a câmera térmica, o procedimento adotado foi o recomendado pelo fabricante e consiste em configurar valor 1 de emissividade e fotografar uma superfície refletora com distância igual a zero. Em seguida, o valor encontrado para a temperatura nesta superfície é aplicado à configuração da foto definitiva, juntamente ao valor 0,94 de emissividade para esse tipo de superfície e distância de 3 metros. Dessa maneira, foram produzidas imagens térmicas da superfície externa do jardim vertical e as temperaturas superficiais máxima e mínima registradas foram apresentadas numa escala térmica (Figura 52).

Figura 52. O processo de configuração da câmera térmica Flir E6.



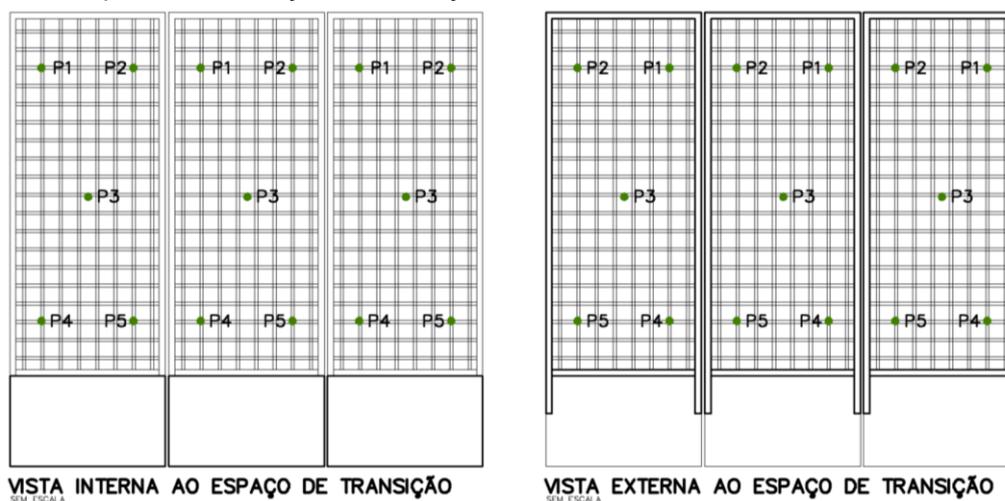
Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

As medições de radiação solar das faces expostas e protegidas pelas trepadeiras foram realizadas em 5 pontos em cada face e o esquema de medição desta variável pode ser analisado na Figura 53.

As campanhas de monitoramento tiveram duração de 3 dias e foram realizadas em condições de tempo frio, das 12h às 18h e quente, das 13h às 19h (por causa do horário de verão). Todas as medições ocorreram a cada 30 minutos e, com exceção da radiação solar e temperatura superficial nas faces do jardim, foram obtidas a uma altura de 1,10 metros. Apenas a temperatura superficial qualitativa seguiu a

altura da pessoa. No Quadro 6 estão relacionados os equipamentos utilizados e as variáveis monitoradas.

Figura 53. Os pontos de medições de radiação solar nas faces externa e interna da cortina verde.



Fonte: Imagem elaborada pela autora, 2018.

Quadro 6. As variáveis e seus equipamentos.

VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS	EQUIPAMENTO
Temperatura do ar, umidade relativa do ar e temperatura de globo externas	Datalogger para registro de temperatura e umidade, da marca Testo (modelo 175-H1). Precisão canal interno +2% HR (0...+100%HR), +0,5°C (-20...+70°C); canal externo +0,2 °C (-25...+70 °C). Sonda externa com globo cinza (Ø 4 cm; Emissividade 0,9).
Temperatura do ar e de globo no espaço de transição	Datalogger de temperatura (Modelo HOBO H8 PRO Series). Faixa de temperatura: -40 °C - +100 °C. Precisão do tempo: aprox: ± 1 minuto p/semana (±100 ppm a +20 °C). Sonda externa com globo cinza (Ø 4 cm; Emissividade 0,95).
Temperatura de bulbo seco e úmido no espaço de transição	Termohigrômetro analógico Incotherm. Escala: -10 °C à 50 °C. Divisão: 1 °C. Limite de erro: ± 1 °C;
Radiação solar (face externa e interna da cortina verde)	Medidor de radiação solar Instrutherm MES-100. Escala: 2000 W/m <sup>2</sup> , resolução: 1 W/m <sup>2</sup> , precisão: tipicamente ±10 W/m <sup>2</sup>
Temperatura superficial do piso no espaço de transição	Termômetro digital mira laser -30 a 550 °C. Faixa de temperatura: -30 °C a 550 °C ou -22 °F a 1022 °F com uso do sistema por irradiação infravermelho. Precisão: ± 2% ou 2 °C. Emissividade pré-ajustada em 0,95. Resposta espectral: 6 ≈ 14 μm.
Imagens térmicas para análise qualitativa da temperatura superficial do jardim vertical	Câmera Térmica Flir E6 (Faixa de temperatura -20° a 250°C, Precisão: ± 2% ou 2°C, Modos de medição: 3 modos, Ponto (central); área (min/máx.); isoterma (acima/abaixo)).
Radiação solar direta e difusa no espaço externo (net-radiômetro instalado na estação meteorológica móvel)	Net-radiômetro Kipp & Zonen modelo CNR-1. Precisão ±10% em dias ensolarados. Datalogger Campbell modelo CR1000. Precisão em tempo real ± 3 min por ano.

### 3.2.2.1. Análise estatística das variáveis microclimáticas

Para a análise estatística dos dados foram estudadas as variáveis temperatura do ar (TAR), temperatura radiante média (TRM) e umidade absoluta do ar (UA) dos três pontos imediatamente atrás das jardineiras. Para isso, foi realizado o Teste ANOVA de Fator único para análise estatística, uma vez que o objetivo é comprovar a hipótese de que, em função do sombreamento proporcionado pelas fachadas verdes, ocorre amenização microclimática para as variáveis TAR, TRM e UA nos pontos localizados imediatamente atrás das mesmas. Dessa maneira, esta análise averigua as variâncias e dependências entre esses dados microclimáticos. Posteriormente, para aqueles dados em que foram comprovadas as dependências e variâncias ( $f > f$  crítico e  $p < 0,05$ ), foi realizado o Teste de Tukey, que avalia a magnitude dessas variâncias. Para o Teste ANOVA foi utilizado o *software* Excel® e para o Teste de Tukey foi utilizado o *software* Past®.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

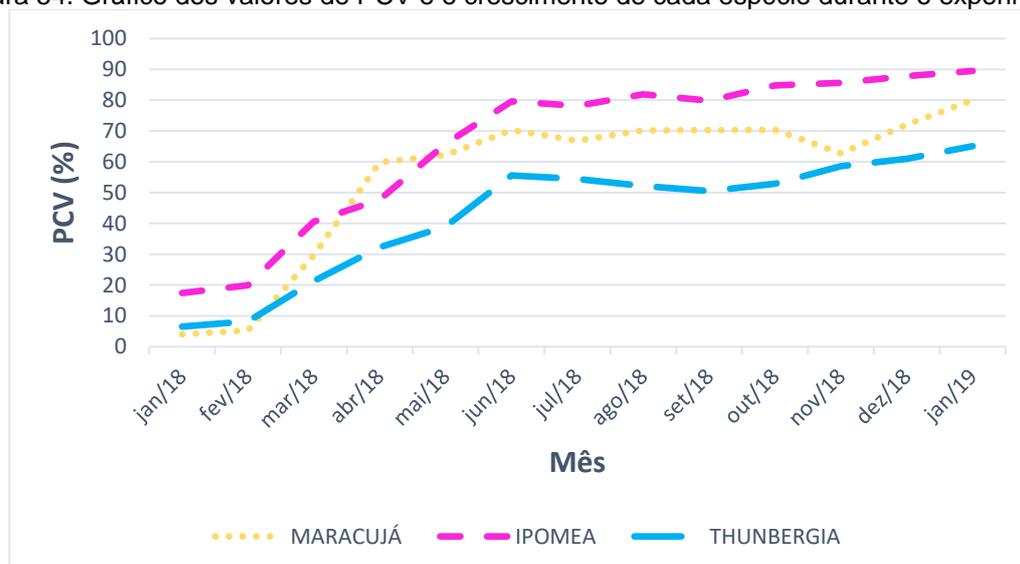
Este capítulo apresenta os resultados da determinação do Potencial de Sombreamento (PSO) das espécies, do desenvolvimento e crescimento das mesmas ao longo de um ano e da campanha de monitoramento das variáveis microclimáticas em condições de tempo frio e quente.

Os resultados são mostrados em forma de gráficos de linhas, quadros síntese e também através de tratamento estatístico dos dados microclimáticos, com a utilização do Teste ANOVA, para análises das variâncias e dependências entre os parâmetros, e Teste de Tukey, com o fim de avaliar a magnitude dessas variâncias e verificar as diferenças entre variáveis coletadas, respectivamente.

### 4.1. Análise do desenvolvimento de cada espécie e seu Potencial de Sombreamento (PSO)

A partir do acompanhamento mensal do desenvolvimento das espécies foi possível elaborar quadros com os valores de Percentual de Cobertura Verde (PCV) e espessura foliar (Apêndice B). A Figura 54 apresenta o desenvolvimento e crescimento mensal das espécies no período de janeiro de 2018 até janeiro de 2019, ou seja, até um ano após o plantio.

Figura 54. Gráfico dos valores de PCV e o crescimento de cada espécie durante o experimento.



Entre as três espécies, o maracujá apresentou crescimento mais rápido a partir do plantio visto que, em um período de apenas 2 meses, entre fevereiro e abril, teve seu PCV aumentado em 54,1%, e atingiu quase 60% de cobertura vegetal (Figura 55). Porém, no período de maio a outubro esses valores se estabilizaram e não passaram da casa dos 70%, e apresentou aumento máximo de 10,5% ao fim do período. Nos primeiros 6 meses, a espécie mostrou a maior taxa de crescimento entre as três espécies, equivalente a 66,3%.

Figura 55. O rápido crescimento do maracujá entre fevereiro e abril.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Destaca-se que, a partir do fim de maio até setembro/2018, período correspondente ao outono e inverno e, portanto, com baixas temperaturas, o maracujá apresentou folhas amareladas e sua consequente queda, o que acarretou na estabilização de seu crescimento. Outro evento determinante foi o ataque de pragas sofrido no final de outubro de 2018, que resultou em mais folhagens amareladas e diminuição de 7,6% do PCV, a maior registrada até então.

Após o tratamento contra as pragas, o maracujá se recuperou e, no mês de janeiro de 2019, apresentou PCV de, aproximadamente 80%, o maior registrado para esta espécie durante todo o acompanhamento. Entre novembro e janeiro essa espécie apresentou um aumento de, aproximadamente, 17% para esse parâmetro.

Semelhante ao maracujá, a ipomeia rubra também teve um salto de crescimento entre os meses de fevereiro a abril, com aumento de PCV equivalente a

27,7%. Porém, foi entre abril e junho que a espécie apresentou maior taxa de crescimento (31,9%), conforme mostra a figura 56.

Figura 56. Salto de crescimento entre os meses de fevereiro e abril.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Nos primeiros seis meses, a ipomea registrou uma taxa de crescimento de 62,2%, a segunda maior entre as três espécies. Em função deste crescimento vigoroso, a necessidade de poda e direcionamento era constante para que fosse possível evitar que as espécies se misturassem e que se alastrassem na estrutura do prédio. Em janeiro de 2019, um ano após o plantio, essa espécie apresentou PCV de 89,5%, o maior registrado até então entre todas as espécies.

A tumbérgia azul foi a que teve crescimento e desenvolvimento mais lento. Apresentou um PCV de 6,5% no dia do plantio e seguiu o mesmo padrão das outras espécies em relação ao salto de crescimento (Figura 57) entre os meses de fevereiro e abril (24%).

Durante os primeiros 6 meses, a tumbérgia azul apresentou um PCV equivalente a 49,05%, valor este inferior aos registrados para o maracujá e para a ipomea no mesmo período, o que resultou em diferenças de 14,79 e 24%, respectivamente. Em janeiro de 2019, um ano após o plantio, essa espécie apresentou PCV de, aproximadamente, 65%, o maior registrado até então para a mesma. No Quadro 7 é possível observar a síntese dos resultados referentes ao PCV e o FCV de cada espécie durante o monitoramento em condições de tempo frio e quente.

Figura 57. O salto de crescimento da tumbérgia entre os meses de fevereiro e abril.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Quadro 7. Quadro síntese dos resultados de PCV para as espécies e o FCV durante o monitoramento em condições de tempo frio e quente.

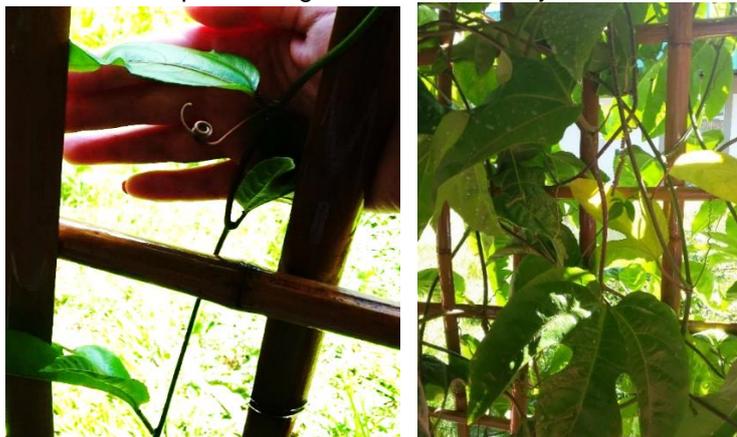
Espécie	<i>Passiflora edulis</i>	<i>Ipomoea horsfalliae</i>	<i>Thunbergia grandiflora</i>
PCV no plantio (11/01/2018)	4%	17,4%	6,51%
PCV após 6 meses de plantio	70,35%	79,65%	55,56%
PCV após 1 ano de plantio	80,03%	89,50%	65,08%
FCV durante o monitoramento de tempo frio (agosto e setembro de 2018)	0,7	0,82	0,52
FCV durante o monitoramento de tempo quente (dezembro de 2018)	0,72	0,88	0,61

Legenda: PCV – Percentual de Cobertura Verde; FCV – Fator de Cobertura verde.

Ressalta-se que a tumbérgia azul foi escolhida, além dos critérios pré-estabelecidos, devido à sua popularidade e aplicação em pesquisas internacionais e nacionais (SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011; JAAFAR et al. 2013; SAFIKHANI et al. 2014), que sempre destacaram seu rápido crescimento e densidade vegetal. Nesta pesquisa, porém, a espécie se desenvolveu e cresceu mais lentamente que as outras duas. Uma possibilidade de justificativa para isto é o fato de que a espécie foi plantada em jardineira, e não diretamente no solo, o que limitou e inibiu seu crescimento.

Quanto às flores e estruturas de suporte, ainda no final de janeiro de 2018, apenas 20 dias após o plantio, o maracujá já apresentava gavinhas, as quais atingiram seu auge no mês de abril, seguindo o padrão de crescimento (Figura 58). O primeiro botão nasceu no fim de novembro de 2018 e a primeira flor desabrochou em dezembro de 2018, único mês com flores.

Figura 58. Aparecimento das primeiras gavinhas do maracujá e seu adensamento em abril.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

A ipomeia, por sua vez, 5 dias após o plantio já apresentava sua primeira flor e, na primeira semana de fevereiro, apresentava novos botões, característica que se repetiu durante grande parte do experimento e fez com que a espécie estivesse florida regularmente (Figura 59). No mês de junho a espécie apresentava várias flores e, pela primeira vez, começaram a atrair muitas abelhas (Figura 60). Foi no mês de agosto que a espécie apresentou seu auge de flores e botões (Figura 61).

Figura 59. A primeira flor da ipomeia e a presença de botões e flores após 15 dias.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Figura 60. Abelhas na ipomeia rubra.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Figura 61. Ipomea com seu auge de floração em agosto de 2018.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Diferentemente da ipomea rubra, a tumbérgia azul teve seu primeiro botão apenas no mês de junho de 2018, seis meses depois do plantio. Desde então, a espécie tem apresentado flores e botões, mas em menor quantidade quando comparada à ipomea rubra (Figura 62). No Quadro 8 é possível observar os principais resultados referentes aos aspectos estéticos e adaptativos das espécies.

Figura 62. O primeiro botão da tumbérgia azul e seu auge de floração em setembro de 2018.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

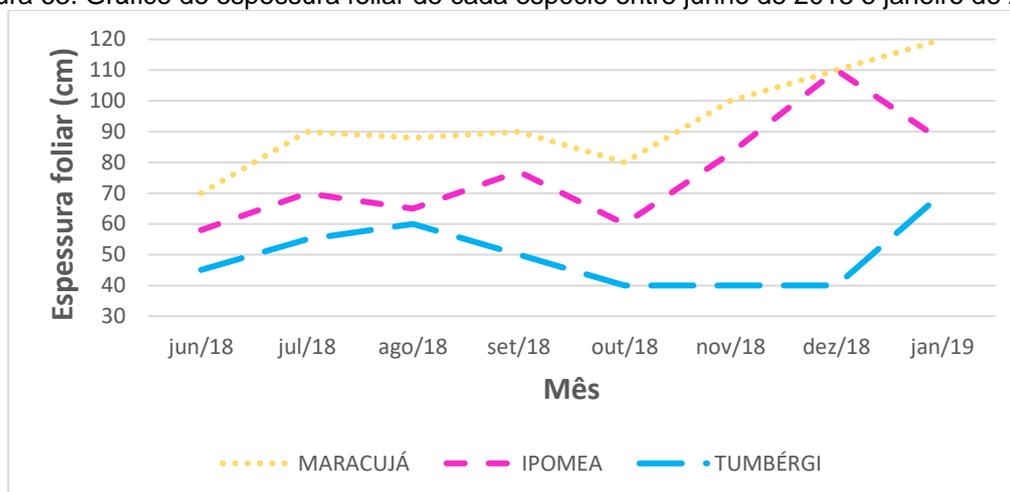
Quadro 8. Quadro síntese dos aspectos estéticos e adaptativos das espécies.

Espécie	<i>Passiflora edulis</i>	<i>Ipomoea hirsfalliae</i>	<i>Thunbergia grandiflora</i>
Surgimento da primeira flor	11 meses após o plantio	5 dias após o plantio	6 meses após o plantio
Auge da floração	11 meses após o plantio	8 meses após o plantio	9 meses após o plantio
Sofreu ataque de pragas	Sim	Não	Não
Sofreu com mudanças de tempo	Sim	Não	Não

Em relação à espessura foliar, as espécies apresentaram resultados diferentes entre si. Este parâmetro foi medido de junho de 2018, seis meses após o

plântio, até janeiro de 2019, um ano após o plântio, e os resultados podem ser observados na Figura 63.

Figura 63. Gráfico de espessura foliar de cada espécie entre junho de 2018 e janeiro de 2019.



Dessa maneira, é possível observar que o maracujá apresentou maior espessura foliar durante todo o período analisado. Os valores mínimo e máximo registrados foram, aproximadamente, 70 e 120 cm, respectivamente. A espécie que apresentou espessura intermediária foi a ipomea rubra, que registrou mínima e máxima de, aproximadamente, 60 e 110 cm, respectivamente. A thumbergia, por sua vez, apresentou valores bastante inferiores em relação às demais espécies, com mínima e máxima de, aproximadamente, 40 e 70 cm, respectivamente. O Quadro 9 apresenta os valores de espessura foliar durante os primeiros seis meses, um ano após o plântio e durante o monitoramento em condições de tempo frio e quente, além do Fator de Espessura Foliar (FEF) durante o monitoramento.

Além do percentual de cobertura verde e da espessura foliar, outro fator importante para compor o potencial de sombreamento é o tipo de folhagem da vegetação.

O maracujá possui folhas grandes, porém mais espaçadas na área central de sua cobertura e, apesar de seu percentual de cobertura verde e espessura foliar significativos, permite maior entrada de radiação neste ponto quando comparado à ipomea rubra e tumbérgia azul. A ipomea possui folhas médias e pouco espaçadas e, apesar de menor espessura foliar em relação ao maracujá, é a mais eficaz no bloqueio da radiação. A tumbérgia azul também possui folhas médias e, apesar de ser a espécie que apresentou pior desempenho de PCV e FEF, suas folhas são menos

espaçadas e, por isso apresentou melhor desempenho de atenuação em relação ao maracujá no ponto central.

Quadro 9. Quadro síntese dos resultados de espessura foliar para as espécies e o FEF durante o monitoramento em condições de tempo frio e quente.

Espécie	<i>Passiflora edulis</i>	<i>Ipomoea horsfalliae</i>	<i>Thunbergia grandiflora</i>
Espessura foliar 6 meses após o plantio	70 cm	58 cm	45 cm
Espessura foliar 1 anos após o plantio	120 cm	87 cm	70 cm
Espessura foliar durante o monitoramento de tempo frio	88 cm	65 cm	60 cm
FEF durante o monitoramento de tempo frio	0,7	0,7	0,7
Espessura foliar durante o monitoramento de tempo quente	110 cm	110 cm	40 cm
FEF durante o monitoramento de tempo quente	1	1	0,3

Legenda: FEF – Fator de Espessura Foliar.

Na Figura 64 é possível observar o tamanho das folhas, em que a ipomea e tumbérgia apresentam folhas de tamanho semelhantes (médias) e o maracujá folhas grandes. A Figura 65 mostra a relação entre o tamanho das folhas e seu espaçamento no ponto central da fachada verde.

Figura 64. Tipos de folhas de cada espécie e seus tamanhos, grandes e médios, respectivamente.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

A partir dos dados e análises apresentados, foi possível elaborar um quadro síntese dos resultados onde foram relacionados os fatores determinantes para a atenuação de radiação solar e o Potencial de Sombreamento (PSO) durante condições de tempo frio e quente (Quadro 10). Além disso, esse quadro contribui para

suprir a falta de informações sobre cada espécie e suas peculiaridades e, portanto, contém informações fundamentais para a tomada de decisão da escolha entre essas espécies para experimentos e projetos futuros.

Figura 65. Cobertura vegetal de cada uma das espécies em 25/01/2019.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

Quadro 10. Quadro síntese sobre o desenvolvimento das espécies selecionadas.

Espécie	<i>Passiflora edulis</i>	<i>Ipomoea horrfalliae</i>	<i>Thunbergia grandiflora</i>
PCV após 1 ano de plantio	80%	89,5%	65%
Demanda de manutenção	Alta	Baixa	Baixa
Valor estético	Baixo	Alto	Média
FCV durante o monitoramento de tempo frio	0,7	0,82	0,52
FCV durante o monitoramento de tempo quente	0,72	0,88	0,60
FEF durante o monitoramento de tempo frio	0,7	0,7	0,7
FEF durante o monitoramento de tempo quente	1	1	0,3
FTF durante o monitoramento de tempo frio	1	0,7	0,7
FTF durante o monitoramento de tempo quente	1	0,7	0,7
FES durante o monitoramento de tempo frio	0,3	1	0,7
FES durante o monitoramento de tempo quente	0,3	1	0,7
PSO durante o monitoramento de tempo frio	0,68 (Bom)	0,81 (Ótimo)	0,65 (Bom)
PSO durante o monitoramento de tempo quente	0,75 (Bom)	0,89 (Ótimo)	0,57 (Regular)

Legenda: PCV – Percentual de Cobertura Verde; FCV – Fator de Cobertura Verde; FEF – Fator de Espessura Foliar; FTF – Fator de Tamanho das Folhas; FES – Fator de Espaçamento das folhas; PSO – Potencial de Sombreamento.

Apesar do FES inferiores aos da tumbérgia no ponto central, a análise do todo do maracujá apresentou valores significativos e superiores de FCV, FEF e FTF e, por isso, possui PSO superior. A tumbérgia azul registrou baixo FCV e FEF durante o monitoramento de tempo quente, uma vez que algumas áreas da fachada verde não possuíam cobertura vegetal.

Além desses fatores, a ipomeia rubra apresentou rápido crescimento, resistência às variações climáticas como a passagem das condições do tempo quente para frio sem apresentar amarelamento e queda das folhas. Além dessas características, também possui alto valor estético devido à constante presença de flores e é resistente a pragas, diferente do maracujá, que foi suscetível as lagartas e ácaros.

Destaca-se que esses resultados sofreram influência do meio de crescimento das espécies, uma vez que foram plantadas em jardineiras. Assim, o desenvolvimento de cada uma delas pode sofrer alterações no caso de plantio diretamente no solo.

#### **4.2. Análise do monitoramento de dados em condições de tempo frio**

O monitoramento dos dados microclimáticos (temperatura do ar e de globo, radiação solar, temperatura superficial das fachadas verdes e umidade absoluta do ar) nas condições de tempo frio foi realizado durante os dias 26 e 27 de agosto e 6 de setembro de 2018. No entanto, para a análise dos dados foram calculados os valores médios desses três dias para cada variável e horário e também a temperatura radiante média.

Para a variável radiação solar foi possível analisar a atenuação de cada espécie de trepadeira nos três módulos de fachadas verdes indiretas. Para as demais variáveis, foi avaliado o efeito conjunto das fachadas verdes na amenização microclimática do espaço de transição, através da comparação dos microclimas em pontos com e sem a influência das fachadas verdes, conforme explicado na metodologia.

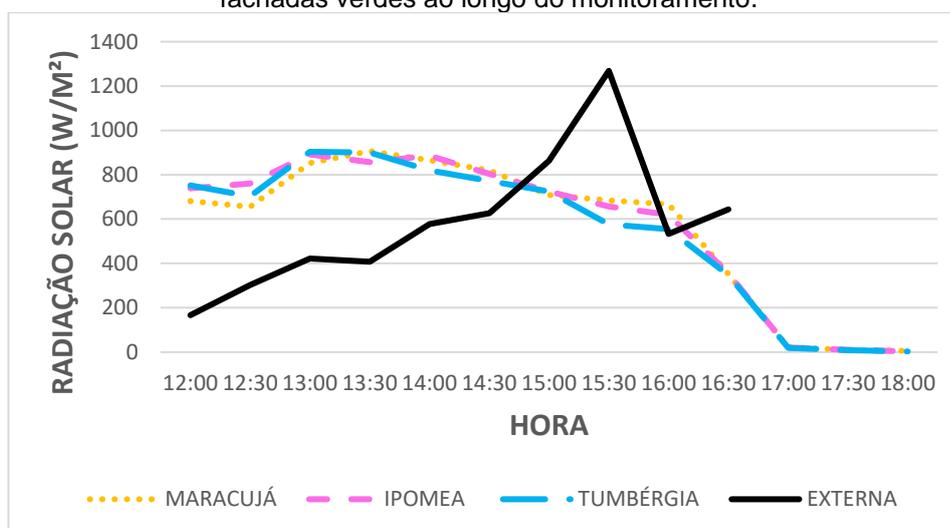
##### **4.2.1. Intensidade de atenuação da radiação solar**

A intensidade de atenuação da radiação solar para cada uma das fachadas verdes indiretas foi determinada através das medições em cinco pontos nas faces

interna e externa de cada módulo de fachada verde. Os valores de radiação incidente e protegidas podem ser observados no Apêndice C. Conforme descrito na metodologia, os pontos 1 e 2 correspondiam à parte superior, o ponto 3 ao centro da vegetação e os pontos 4 e 5 à parte inferior da fachada verde. Dessa maneira, foi possível calcular a quantidade de radiação incidente em cada um deles e quanto foi bloqueado pela vegetação. Esse bloqueio está diretamente relacionado ao Potencial de Sombreamento (PSO) de cada uma das espécies e a fatores externos como a posição do Sol.

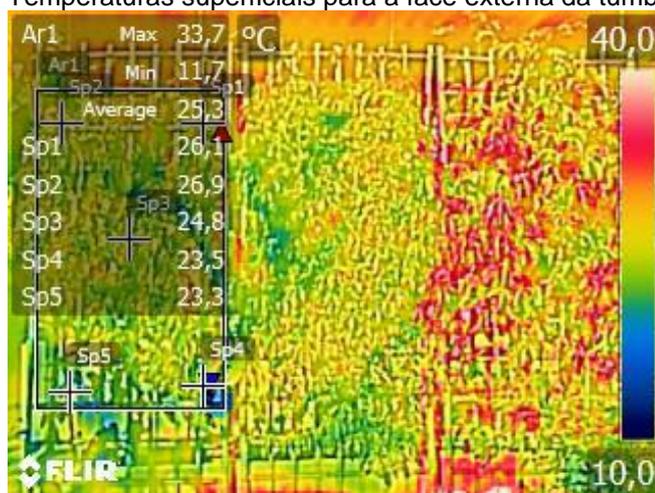
Com o fim de caracterizar as condições externas, a radiação horizontal foi medida através da estação móvel e, para as faces das fachadas verdes, através do medidor manual, e na Figura 66 é possível observar os resultados. Ressalta-se que, por razão da falta de incidência de radiação solar direta a partir das 17h00, essa variável foi monitorada até às 16h30 pela estação móvel.

Figura 66. Gráfico de radiação solar registrada na área externa ao espaço de transição e às fachadas verdes ao longo do monitoramento.



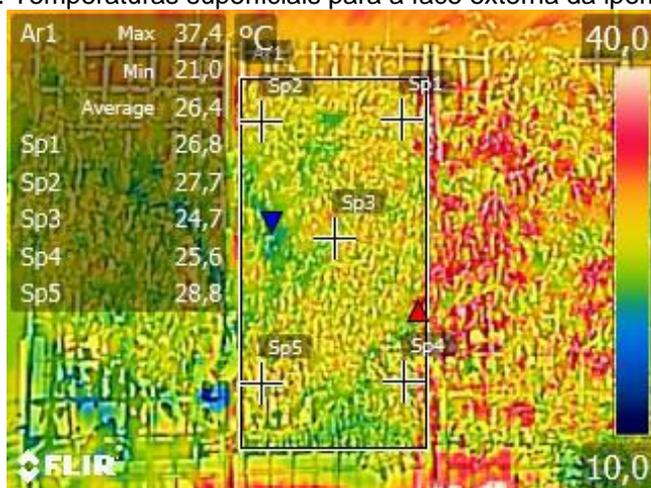
As máximas de temperatura superficial das faces externas das fachadas verdes ocorreram às 16h, devido ao acúmulo de calor e incidência direta de radiação solar. Nas Figuras 67, 68 e 69 é possível observar que os valores máximo e mínimo registrados ficaram entre 38,9 e 11,7 °C para todas as espécies. Com exceção da tumbérgia azul, os pontos P3 apresentaram os menores valores de temperatura entre os cinco estabelecidos para cada fachada verde.

Figura 67. Temperaturas superficiais para a face externa da tumbérgia azul.



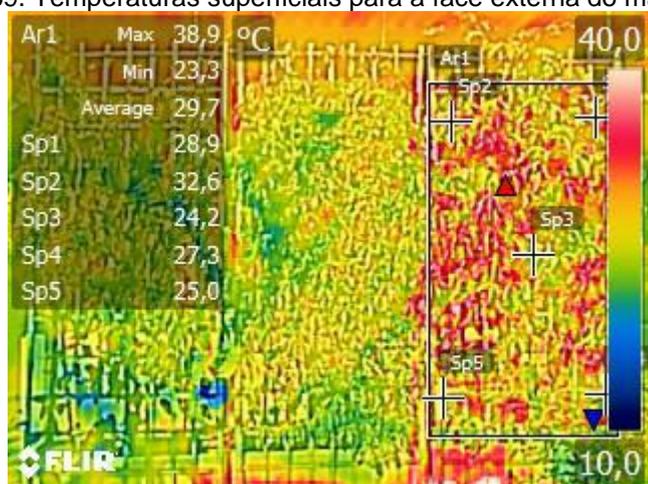
Fonte: Imagem modificada pela autora, 2019.

Figura 68. Temperaturas superficiais para a face externa da ipomea rubra.



Fonte: Imagem modificada pela autora, 2019.

Figura 69. Temperaturas superficiais para a face externa do maracujá.



Fonte: Imagem modificada pela autora, 2019.

Os valores máximos encontrados na superfície das fachadas verdes ficaram próximos dos 900 W/m<sup>2</sup> e foram atingidos entre às 13h30 e 13h00 para o maracujá, ipomea rubra e tumbérgia azul. Assim, em frente aos módulos de fachadas verdes, os valores médios de radiação externa apresentaram desempenhos bastante semelhantes.

No monitoramento em condições de tempo frio, as espécies apresentavam maior PCV e espessura foliar e menor espaçamento entre as folhas em seu ponto central (P3), o que ocasionou uma cobertura vegetal uniforme neste local, enquanto os pontos adjacentes apresentavam maior espaçamento entre a folhagem, baixa espessura foliar e até mesmo falta de vegetação, como é o caso da tumbérgia azul (Figura 70). Os quatro fatores para a determinação do PSO (FCV, FEF, FTF, FES) e o valor final do potencial durante o monitoramento em condições de tempo frio podem ser observados no Quadro 11.

Figura 70. A cobertura vegetal interna e externa durante o monitoramento.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

Quadro 11. Os fatores determinantes e o PSO de cada espécie durante o monitoramento em condições de tempo frio.

Espécie	<i>Passiflora edulis</i>	<i>Ipomoea horsfalliae</i>	<i>Thunbergia grandiflora</i>
<b>FCV</b>	0,7	0,82	0,52
<b>FEF</b>	0,7	0,7	0,7
<b>FTF</b>	1	0,7	0,7
<b>FES</b>	0,3	1	0,7
<b>PSO</b>	0,68 (Bom)	0,81 (Ótimo)	0,65 (Bom)

Legenda: FCV – Fator de Cobertura Verde; FEF – Fator de Espessura Foliar; FTF – Fator de Tamanho das Folhas; FES – Fatos de Espaçamento das folhas; PSO – Potencial de Sombreamento.

Apesar de apresentar um FCV de 0,7 e o maior FEF entre todas as espécies, o maracujá possui folhas espaçadas, o que diminui seu fechamento de cobertura

vegetal no centro e, conseqüentemente, a atenuação de radiação solar neste ponto. No Quadro 12 é possível observar os valores de atenuação registrados ao longo do período de monitoramento para cada ponto e cada espécie.

Quadro 12. Atenuação de radiação solar para as espécies.

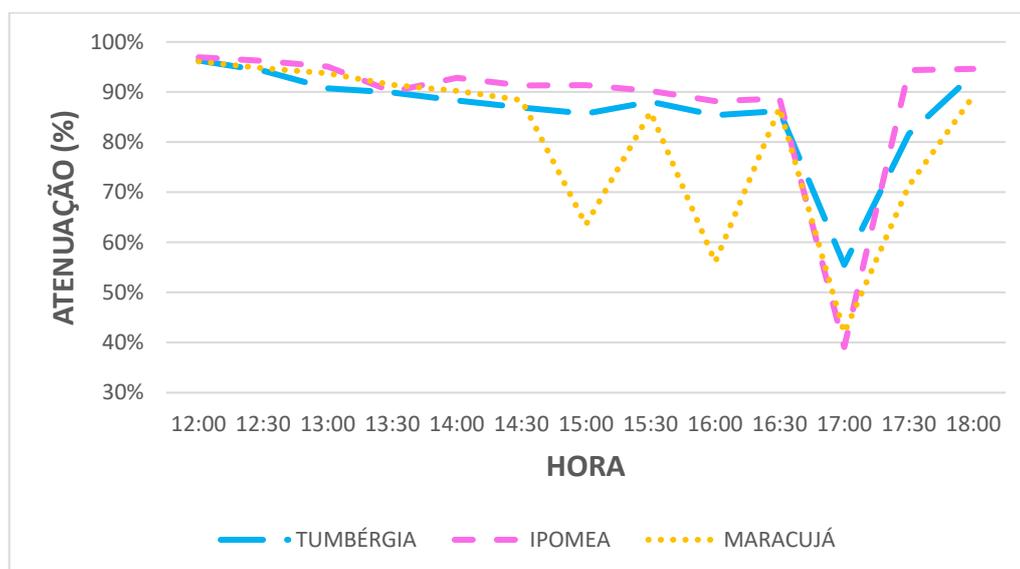
ATENUAÇÃO DE RADIAÇÃO POR ESPÉCIE (%)															
Espécie	Ponto	Hora													Média
		12h	12h30	13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	
Maracujá	P1	98	97	96	95	87	65	70	92	87	90	41	94	93	85
	P2	97	97	95	93	78	68	46	87	60	75	4	68	95	74
	P3	96	95	94	91	90	88	64	86	56	87	42	71	89	81
	P4	88	86	90	90	77	72	56	36	40	0	32	76	96	65
	P5	93	91	93	91	90	89	86	59	21	0	12	27	79	64
Média		94,4	93,2	93,6	92	84,4	76,4	64,4	72	52,8	50,4	26,2	67,2	90,4	<b>74</b>
Ipomea rubra	P1	98	98	97	95	68	82	93	91	91	91	31	91	93	86
	P2	97	96	95	92	64	52	82	62	87	78	23	83	88	77
	P3	97	96	95	90	93	91	91	90	88	89	39	94	95	88
	P4	95	92	94	93	92	90	87	86	73	1	41	83	83	78
	P5	94	94	92	90	89	88	88	77	50	0	30	76	82	73
Média		96,2	95,2	94,6	92	81,2	80,6	88,2	81,2	77,8	51,8	32,8	85,4	88,2	<b>80</b>
Tumbérgia azul	P1	98	95	95	55	3	52	18	45	29	56	37	62	76	55
	P2	97	96	94	64	16	6	58	14	30	47	37	54	72	53
	P3	96	94	91	90	88	87	86	88	85	86	56	82	94	86
	P4	93	91	92	91	90	87	76	66	43	6	37	68	89	71
	P5	94	93	39	35	0	22	29	25	41	3	11	44	43	37
Média		95,6	93,8	82,2	67	39,4	50,8	53,4	47,6	45,6	39,6	35,6	62	74,8	<b>61</b>

Para o maracujá, os pontos que obtiveram melhor e pior médias de atenuação foram P1 e P5, respectivamente. Para a ipomea rubra e tumbérgia azul, os pontos com maior e menor médias de atenuação solar foram P3 e P5. Esses resultados têm relação com o grau de cobertura vegetal e a posição do sol, visto que o ponto P3 é o central, onde a vegetação se encontrava mais densa e uniforme, enquanto o P5 é o ponto inferior, onde a vegetação apresentou menor cobertura. Em relação ao maracujá, a maior média de atenuação no P1 é devido a sua localização superior e menos suscetível à insolação devido à posição solar no período de análise.

Quando comparados os resultados, fica claro que o ponto P3 apresentou valores maiores e mais constantes para a atenuação da radiação das espécies, mesmo que tenha apresentado variações durante o monitoramento. Este fato se justifica devido as espécies possuírem cobertura vegetal maiores e mais uniformes em seus centros e, portanto, o bloqueio de radiação é maior e mais constante.

Destaca-se que, o maracujá apresentou maiores oscilações de atenuação em seu ponto central durante o monitoramento. Conforme a posição do sol, a radiação solar penetrava em maior quantidade no espaço de transição através do espaçamento formado entre a folhagem. Essa variação de atenuação promovida pelo maracujá e o desempenho das outras espécies em relação a esse parâmetro podem ser observados na Figura 71.

Figura 71. Gráfico de atenuação de radiação solar para os pontos centrais das espécies.



Em relação aos pontos adjacentes ao centro (P1, P2, P4 e P5), as espécies apresentaram resultados muito variados, com os valores de atenuação oscilando durante quase todo o tempo. Isso é devido ao fato desses pontos apresentarem variações de cobertura vegetal ou, até mesmo, a falta dela, como é o caso da tumbérgia azul em seus pontos P1, P2 e P5. A ipomea rubra, por sua vez, apresentou os maiores valores de atenuação em relação às demais espécies, seguida pelo maracujá e tumbérgia azul. O ponto P2, no entanto, em razão de seu baixo percentual de cobertura verde, registrou variações de atenuação.

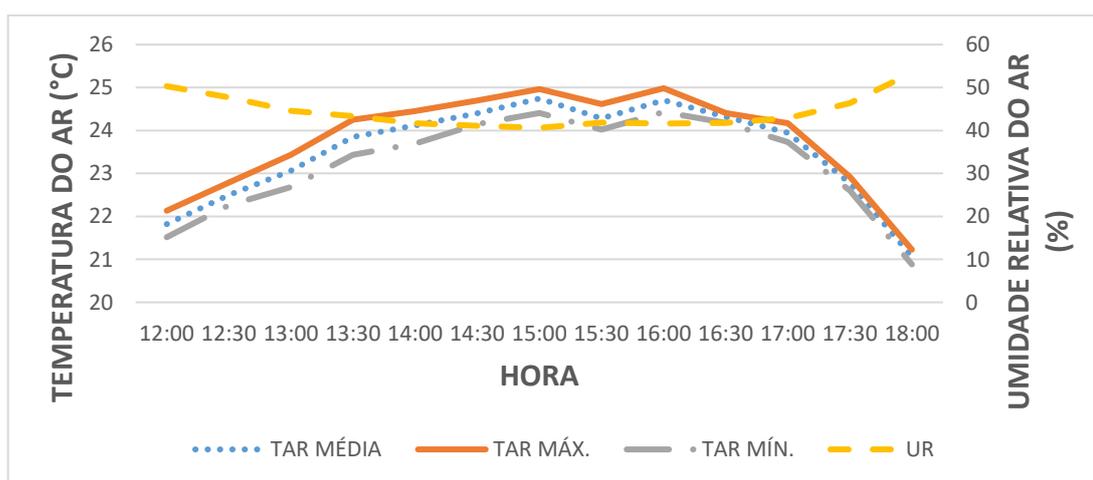
Destaca-se que, a tumbérgia azul apresentou maior fechamento de cobertura vegetal em seu ponto central, ou seja, sua folhagem é menos espaçada quando comparada ao maracujá e, por isso, a atenuação de radiação solar no ponto P3 foi melhor. Porém, quando todos os pontos são analisados, fica claro que o maracujá apresentou melhor desempenho em relação à tumbérgia azul.

Dessa maneira, foi possível concluir que, assim como para o Potencial de Sombreamento, a espécie que apresentou maior intensidade na atenuação da radiação solar foi a ipomea rubra, seguida pelo maracujá e tumbérgia azul. A espécie ipomea rubra registrou valores uniformes não apenas para o ponto central, como também para os demais pontos durante grande parte do monitoramento e, portanto, obteve o melhor desempenho entre as demais.

#### 4.2.2. Impacto das fachadas verdes indiretas nas diferenças microclimáticas do espaço de transição

As variáveis do clima registradas no IPMET durante os horários do monitoramento de dados em condições de tempo frio estão caracterizadas na Figura 72. Para a variável temperatura do ar, o valor máximo atingido foi de 25,0 °C às 16h, enquanto o mínimo foi de 20,9 °C, às 18h, o que resultou numa variação de 4,1 °C. Demais registros dos dias de medições estiveram dentro do intervalo da média histórica para a cidade de Bauru, que corresponde ao valor mínimo de 12 °C e máximo de 25 °C.

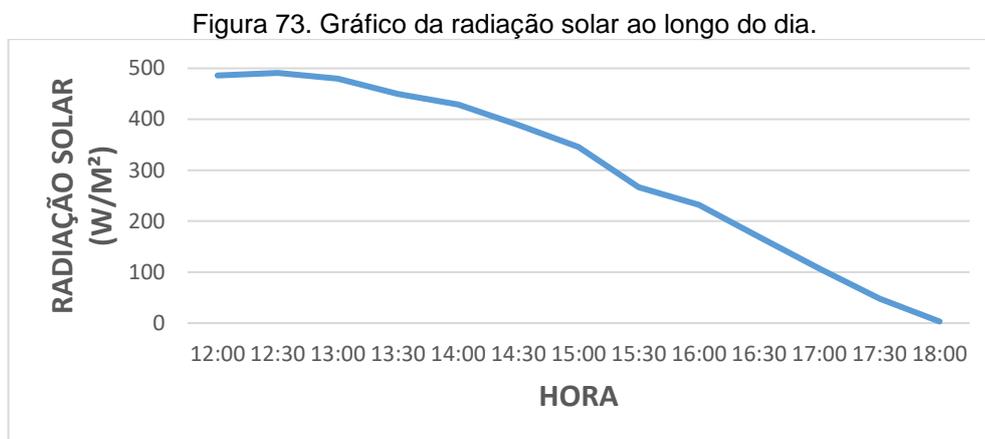
Figura 72. Gráfico do desempenho das variáveis temperatura do ar e umidade relativa durante a tarde.



Fonte: IPMET, 2018.

Quanto a umidade relativa do ar, os valores mínimo e máximo foram de 40,6 e 53,4%, respectivamente, enquanto o valor médio foi de 44,4%. O máximo coincide com o registro mínimo de temperatura do ar (às 18h), enquanto que o valor mínimo diário ocorreu às 15h, próximo ao horário em que a temperatura do ar atingiu seu valor

máximo. Em relação a variável radiação solar (Figura 73), o valor máximo atingido foi de 491,03 w/m<sup>2</sup> (12h30), e o mínimo foi de 3,08 w/m<sup>2</sup> (18h00).

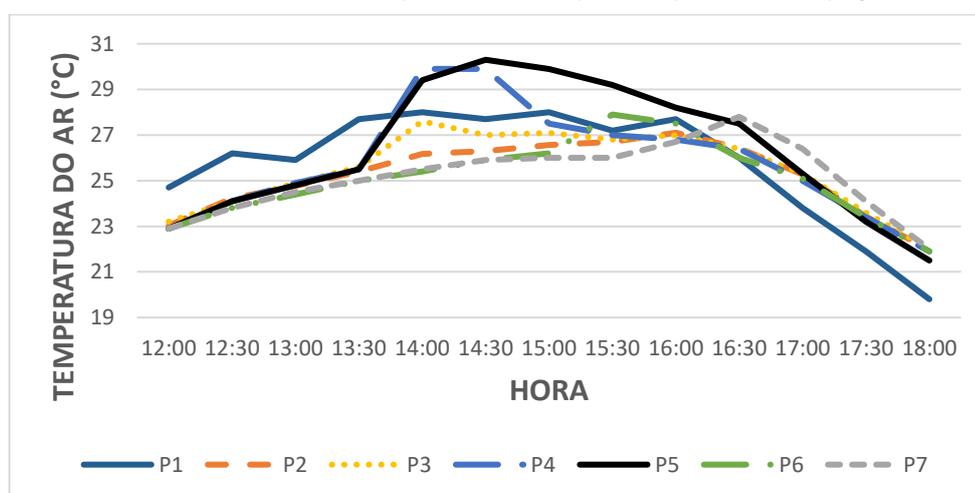


Fonte: IPMET, 2018.

#### 4.2.2.1. Influência na temperatura do ar (TAR)

Os resultados do monitoramento da variável temperatura são apresentados na Figura 74. O ponto P1 representa o espaço externo às fachadas verdes, o P5 é o ponto controle localizado no espaço de transição e os demais pontos (P2, P3, P4, P6 e P7) ficam atrás das três fachadas verdes em diferentes distâncias. Destaca-se aqui, um possível aquecimento responsável pelos picos registrados às 14h, 16h e 16h45.

Figura 74. Gráfico dos valores de temperatura do ar para os pontos do espaço de transição.



Observa-se que, às 12h, todos os pontos localizados no espaço de transição registraram valores semelhantes, em torno de 23 °C, enquanto o ponto externo (P1) atingiu 24,7 °C, ou seja, um valor aproximadamente 1,8 °C mais alto. Este diferencial

é devido à sua exposição ao sol, pois os pontos no espaço de transição estavam todos sombreados (Figura 75).

Figura 75. O espaço de transição completamente sombreado as 12h e P1 exposto ao sol.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

O Quadro 13 apresenta os valores das temperaturas máximas, mínimas e a variação térmica em cada ponto monitorado. Observa-se que, para os valores de temperaturas máximas, todos os pontos protegidos pelas fachadas verdes obtiveram amenização térmica em relação ao ponto controle no espaço de transição. No entanto, os melhores desempenhos foram obtidos nos pontos P2 e P3, localizados imediatamente atrás das fachadas verdes.

Quadro 13 – Temperaturas máximas, mínimas e variação de temperaturas em condições de tempo frio

PONTO	TAR (°C)		
	Máximo	Mínimo	Variação térmica
<b>P1 (externo)</b>	28	19,8	8,2
<b>P2</b>	27,1	22	5,1
<b>P3</b>	27,6	22	5,6
<b>P4</b>	29,9	21,9	8
<b>P5 (controle)</b>	30,3	21,5	8,8
<b>P6</b>	27,9	21,9	6
<b>P7</b>	27,8	22	5,8

O comportamento térmico dos pontos P2, P3 e P4, localizados imediatamente atrás das fachadas verdes, em relação ao ponto controle (P5), é apresentado na Figura 76. Verifica-se que as temperaturas são semelhantes até às 13h30, período em que a radiação solar já atingia o espaço de transição. A partir desse horário, o

ponto controle (P5) e o P4 são atingidos diretamente pela radiação solar. O ponto P4, apesar de também estar localizado atrás de uma fachada verde, sofre influência do efeito borda e da orientação solar no período e, por isso, recebe radiação solar direta até às 15h30 (Figura 77).

Figura 76. Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P2, P3, e P4 em relação a P5.

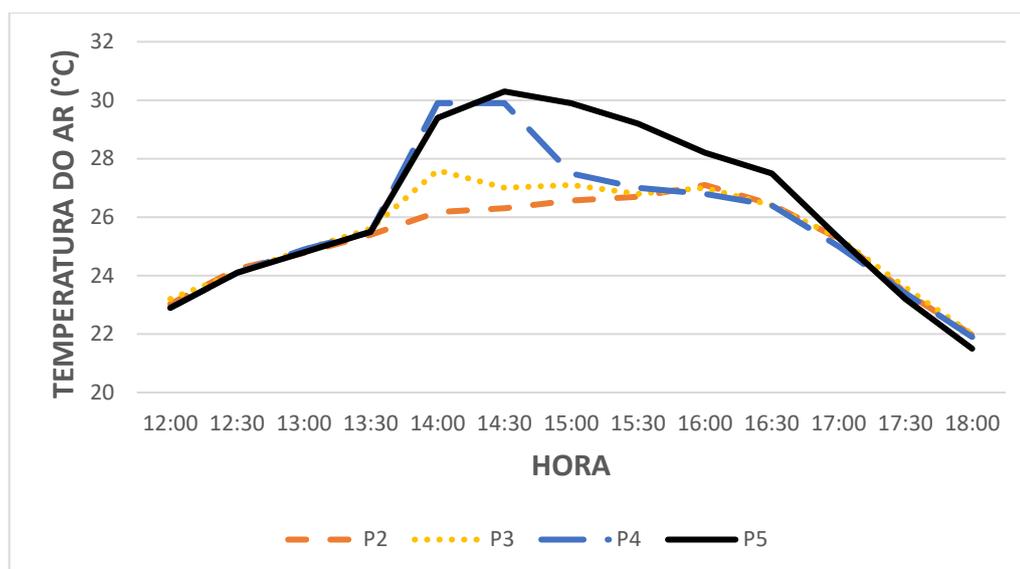


Figura 77. Pontos de medições P2, P3 e P4 e P5, às 13h30 (a), 14h (b) e 15h30 (c).



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

A maior diferença dos pontos P2 e P3 em relação ao ponto controle ocorreu às 14h30, e foram de 4,0 e 3,3 °C, respectivamente. Para o ponto P4, que começa o período de monitoramento com valores iguais em relação ao ponto controle, as temperaturas começam a ser inferiores apenas às 14h30. Em seguida, às 15h, o ponto registrou seu maior diferencial em relação ao controle, equivalente a 2,4 °C. Esse

valor, no entanto, é o menor em relação aos demais e mais tardio. Isso ocorre, pois, devido à posição solar no período de inverno, o P4 recebe insolação das 13h30 até às 15h30 (Figura 78) e, portanto, possui pouca influência do sombreamento proporcionado pelas fachadas verdes.

Figura 78. O ponto P4 às 13h30 e às 15h30.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

Por fim, semelhante aos pontos P2 e P3, o ponto P4 também passa a registrar valores de temperatura do ar maiores em relação ao controle a partir das 17h30, e segue assim até o fim das medições, que foi às 18h. Essa inversão de valores, que ocorre no início do período noturno, a partir das 17h30, para os três pontos imediatamente atrás do jardim vertical, demonstra o mecanismo de ação do isolamento térmico, diretamente associado à densidade de cobertura vegetal. Este mecanismo diminui a troca de calor convectiva com o meio e, conseqüentemente, é responsável por manter o ambiente aquecido durante a noite nos períodos de tempo frio.

Quando comparados com o ponto controle P5, os diferenciais de temperatura do ar para os pontos P2 e P3 se iniciam próximos e apresentam 0,1 e 0,3 °C mais altos, respectivamente. Esses valores são registrados apenas até às 13h, para P2, quando então se iguala ao controle e, a partir das 13h30, passa a diminuir, até às 17h30, momento em que, tanto o P2 quanto o P3 passam a registrar valores de temperatura do ar maiores em relação ao controle.

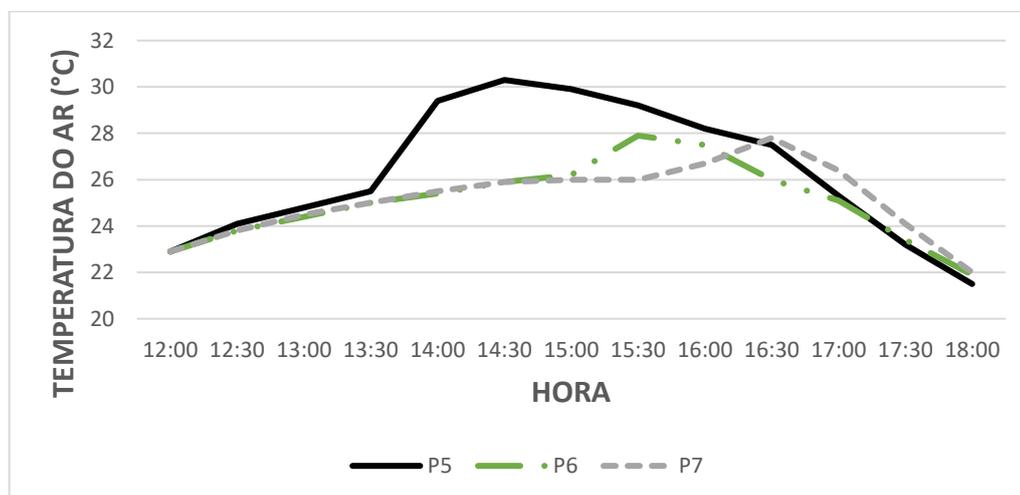
Quando comparados entre si, os três pontos localizados imediatamente atrás do jardim vertical, P2 e P3 apresentam desempenho semelhante, com pouca variação entre os seus resultados. O ponto P2 permanece sombreado pelo jardim vertical

durante todo o dia, enquanto P3 recebe incidência solar das 13h30 às 14h30. O maior diferencial entre esses pontos ocorre às 14h00, momento em que P3 está 1,4 °C mais alto e, a partir das 16h, os valores dos dois pontos em análise começam a se equilibrar e seguem essa tendência até o fim do dia. Em relação ao P4, seus valores de temperatura do ar são maiores em relação ao P2 e P3, mas às 16h30 começam a se igualar e seguem assim até o final do dia.

O ponto P2 é o que apresenta melhor desempenho entre os três localizados imediatamente atrás do jardim. Isso é devido ao Potencial de Sombreamento dos módulos de fachada verde com as espécies de maracujá e ipomea rubra, que bloqueiam e amenizam grande parte da radiação solar.

Quanto aos pontos P6 e P7, localizados no interior do espaço de transição, seus valores de temperatura do ar se encontravam em equilíbrio e logo passaram a diminuir em relação ao controle, até que atingiram a máxima diferença às 14h30, ambos com 4,4 °C (Figura 79). Destaca-se que ambos estavam sombreados e que apresentaram a máxima diferença entre todos os pontos, seguidos pelo ponto P2.

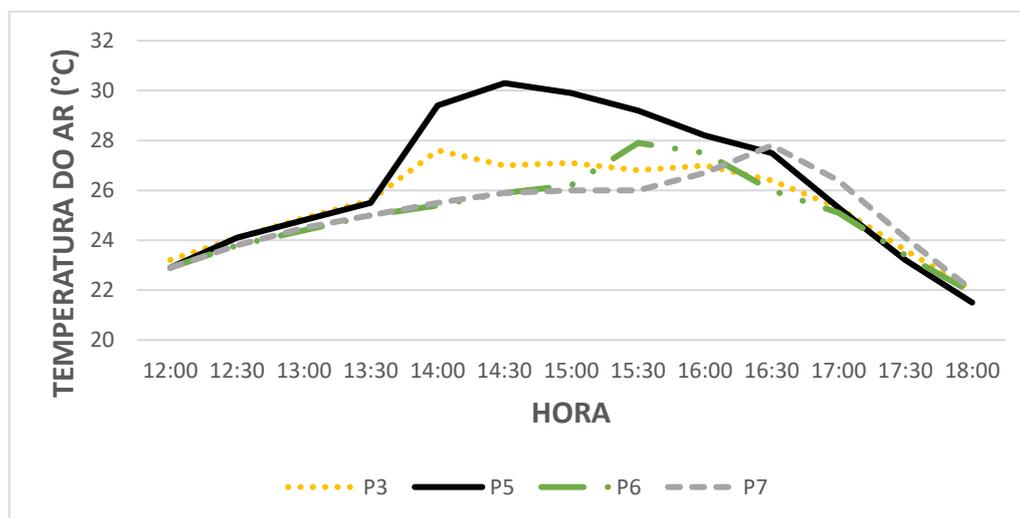
Figura 79. Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5.



Quando comparados ao ponto P3, é possível observar que este apresenta valores maiores em relação aos pontos P6 e P7 no início da tarde até às 15h30, momento em que o ponto P6 passa a receber insolação direta e supera os outros dois. Às 16h30, no entanto, ocorre o ponto de inversão, quando P7 passa a receber insolação direta (devido radiação que penetra pela abertura entre as fachadas verdes e a estrutura da cobertura) e supera os valores encontrados para os pontos P3 e P6 (Figura 80). Dessa maneira, é possível compreender o desempenho da variável

temperatura do ar em três diferentes níveis durante todo o dia: imediatamente após o jardim vertical, no centro do espaço de transição e na extremidade interna desse espaço.

Figura 80. Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5.



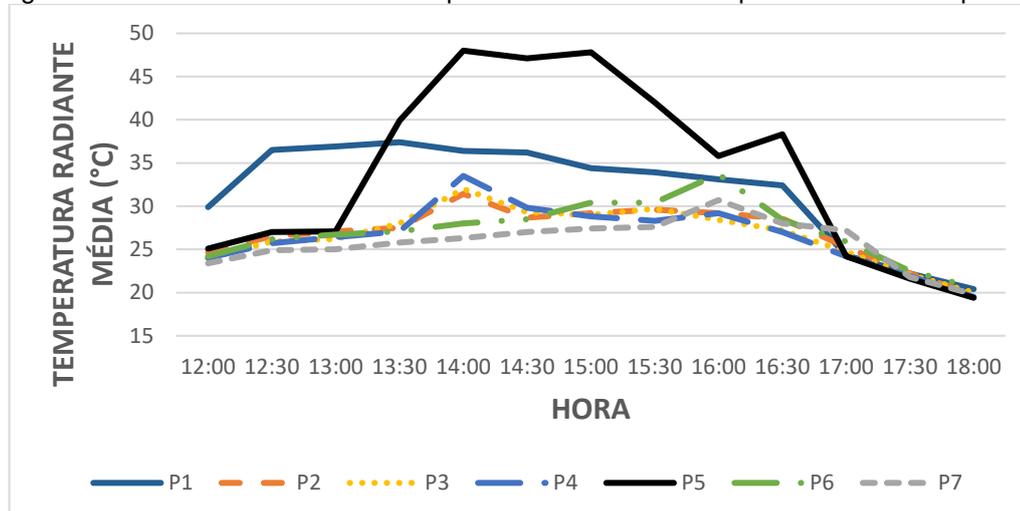
Destaca-se, ainda, que é às 14h30 que todos os pontos, com exceção do P4, apresentam valores máximos de redução em relação ao ponto controle. Ao final do dia, especificamente às 17h, os valores nos pontos P2, P3, P4 e P6 começam a se igualar ao ponto controle e, a partir das 17h30, superam o mesmo. Para P7, no entanto, que recebe insolação direta apenas às 16h, desde às 16h30 já apresentava valores maiores em relação ao controle e, às 17h, atinge seu auge, equivalente a 1,1 °C maior.

#### 4.2.2.2. Influência na temperatura radiante média (TRM)

A Figura 81 mostra o comportamento da variável temperatura radiante média em todos os pontos analisados. O ponto controle (P5) e o ponto externo (P1) apresentaram valores maiores até às 16h30. A partir de então, os demais pontos registraram valores maiores. O ponto P1 registrou seu valor máximo de 37,4 °C às 13h30, enquanto que para o ponto controle o valor máximo da TRM foi de 28 °C, às 14h. Quanto aos valores mínimos, os pontos P1 e P5 registraram 20,4 e 19,4 °C, respectivamente. Para todos os pontos analisados os valores mínimos ocorreram às

18h. Destaca-se aqui, um possível aquecimento responsável pelos picos registrados às 14h, 16h e 16h45.

Figura 81. Gráfico dos valores de temperatura radiante média para cada um dos pontos.



O Quadro 14 apresenta os valores das temperaturas radiantes médias máximas, mínimas e a variação térmica em cada ponto monitorado. Observa-se que, para os valores de TRM máximas, todos os pontos protegidos pelas fachadas verdes obtiveram amenização térmica em relação ao ponto controle no espaço de transição. No entanto, os melhores desempenhos foram obtidos nos pontos P2, P3 e P4, localizados imediatamente atrás das fachadas verdes.

Quadro 14 – Temperaturas máximas, mínimas e variação de TRM em condições de tempo frio

PONTO	TRM (°C)		
	Máximo	Mínimo	Variação da TRM
<b>P1 (externo)</b>	37,4	20,4	17
<b>P2</b>	31,4	19,8	11,6
<b>P3</b>	32	20	12
<b>P4</b>	33,5	19,5	14
<b>P5 (controle)</b>	48	19,4	28,6
<b>P6</b>	33,7	20,6	13,1
<b>P7</b>	30,7	19,8	10,9

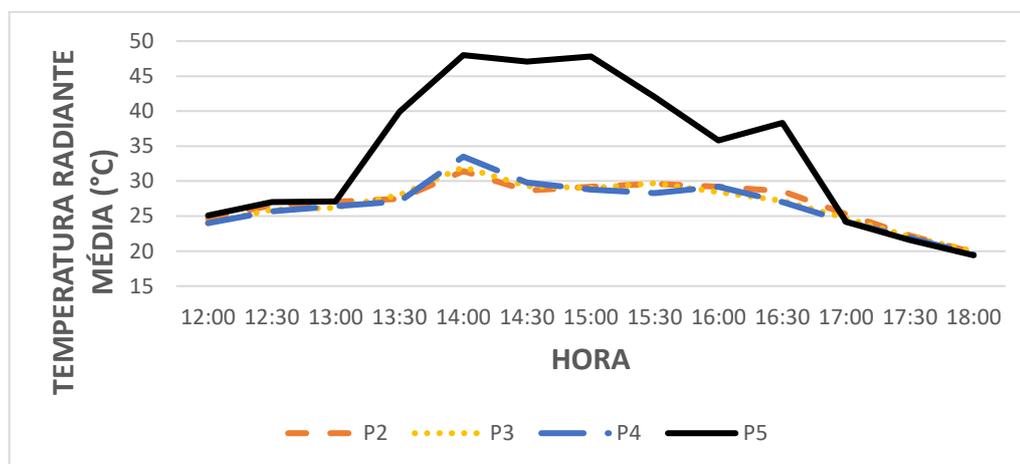
Os três pontos imediatamente atrás do jardim vertical, apresentaram seus valores máximos diários às 14h. Nesse contexto, o ponto P2 mostrou o menor resultado (31,4 °C), seguido pelos pontos P3 e P4. Os pontos P6 e P7 apresentaram

comportamento semelhante em relação a esta variável e, diferentemente dos demais pontos, atingiram seus valores máximos às 16h.

Quanto aos valores de TRM mínimos para o dia de análise, todos os pontos atingiram estes valores às 18h e apresentaram resultados próximos, mas com variações entre 19,4 e 20,6 °C para os pontos P5 e P6, respectivamente.

O desempenho térmico dos pontos P2, P3 e P4 em relação ao ponto controle P5 é apresentado na Figura 82. Estes pontos atingiram seus diferenciais máximos, em relação ao controle, às 15h00. Os valores foram bastante próximos e variaram entre 18,6, 18,8 e 19 °C para os pontos P2, P3 e P4, respectivamente. Destaca-se que, às 13h30, estes pontos apresentaram um salto de diferencial em relação ao ponto controle, com aumento em torno de 12 °C. A partir das 17h os valores se invertem e o ponto controle passa a registrar valores inferiores para a TRM em relação aos demais pontos.

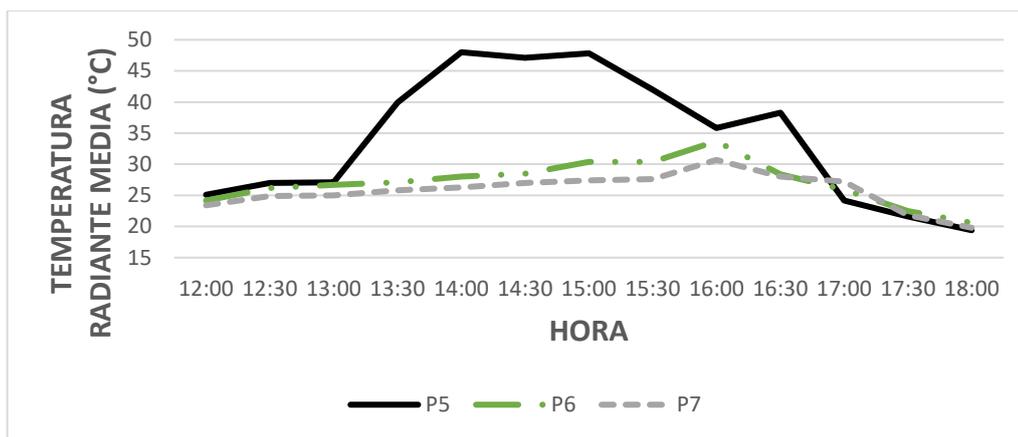
Figura 82. Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5.



O ponto P2 é o que registrou melhor desempenho entre os três localizados imediatamente atrás das fachadas verdes indiretas, em função do efeito conjunto do Potencial de Sombreamento das espécies, que bloqueia e ameniza grande parte da radiação solar. Além disso, pode-se ressaltar que o sombreamento promovido pelo jardim vertical é responsável pela amenização de temperatura superficial do piso para os pontos sombreados pelas fachadas verdes e, conseqüentemente, interfere na TRM e ao gerar amenização dos resultados para esses pontos.

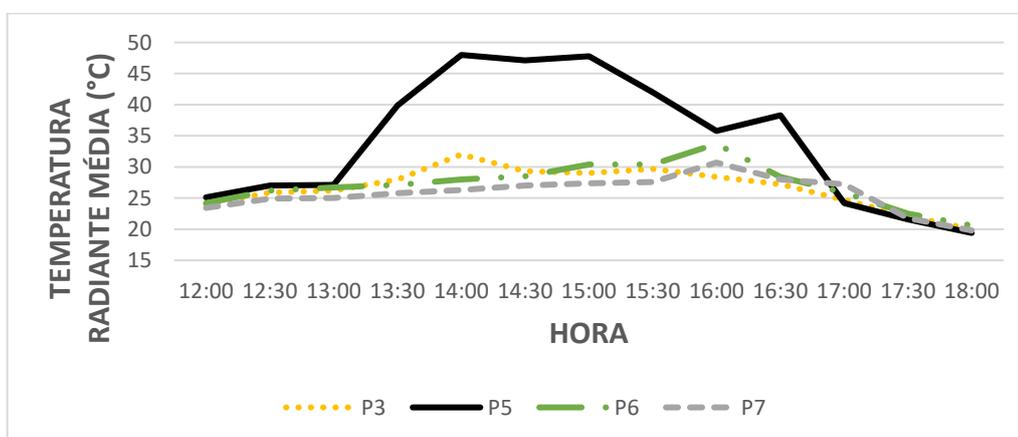
Os pontos P6 e P7, por sua vez, apresentaram valores maiores da TRM em relação ao ponto controle às 14h, e registraram 20 e 21,7 °C, respectivamente (Figura 83). Esse resultado é consequência da posição e sombreamento dos mesmos, pois estão mais afastados da área externa.

Figura 83. Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P5.



Quando comparados com o ponto P3, é possível observar que o maior diferencial em relação ao ponto P6 foi de 10,7 °C e ocorreu às 15h30. Em relação ao ponto P7, a diferença máxima ocorreu às 17h, horário em que o ponto se encontrava 2,5 °C mais alto (Figura 84). Esses resultados permitem compreender o desempenho da variável TRM em três diferentes níveis no espaço de transição sob influência da fachada verde.

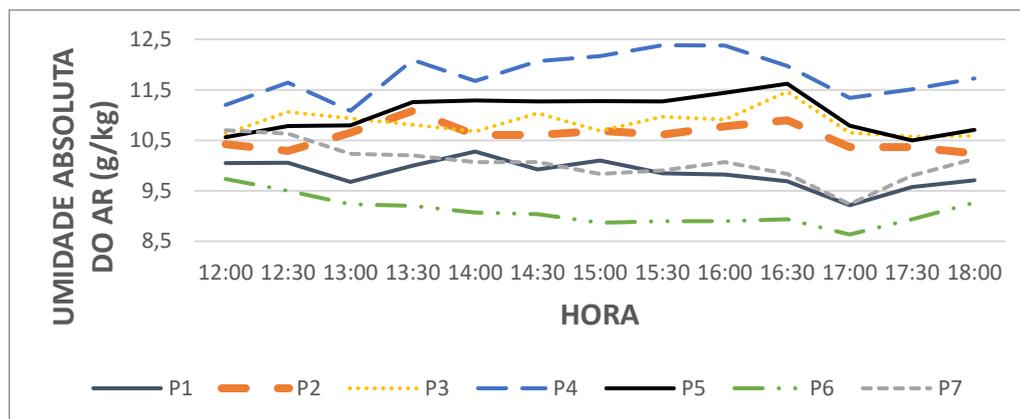
Figura 84. Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P3 e controle.



#### 4.2.2.3. Influência na umidade absoluta do ar (UA)

A Figura 85 permite observar que, com exceção do P4, todos os pontos apresentaram valores inferiores aos registrados pelo ponto controle. Apenas até às 13h o ponto P3 mostrou valores superiores ao ponto controle. O ponto P4, seguido pelo controle, obteve o melhor desempenho, uma vez que, durante todo o período de monitoramento, registrou os maiores valores para a umidade absoluta do ar. Com exceção dos pontos P6 e P7, que apresentaram valores máximos ao meio dia, os demais pontos não seguiram um padrão, visto que os horários de registro das máximas são variados e específicos para cada ponto. Quanto aos valores mínimos, os pontos P6 e P7 seguem a mesma tendência e registraram as umidades absolutas mínimas às 17h, enquanto os demais apresentaram horários variados.

Figura 85. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar para cada um dos pontos.



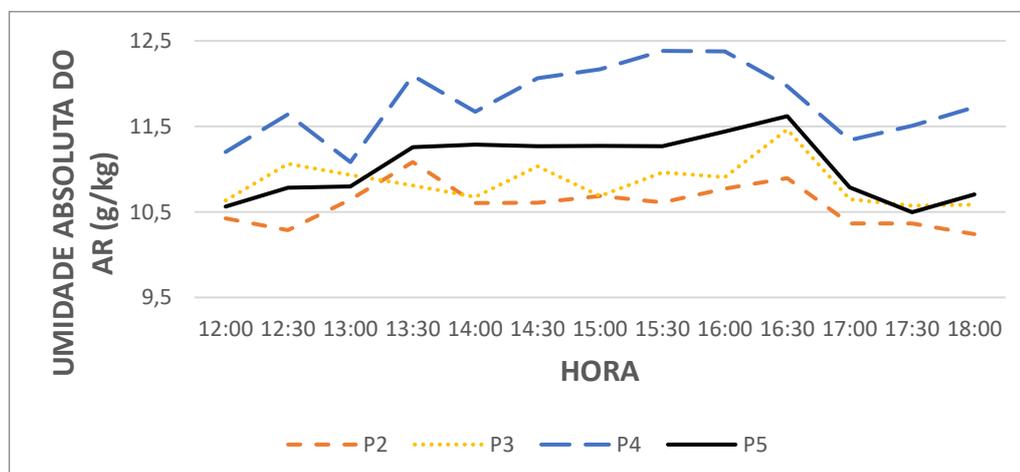
O Quadro 15 apresenta os valores de UA máximos, mínimos e as variações registradas em cada ponto monitorado. O melhor desempenho dos pontos P4 e P5 (ponto controle) contraria o esperado e, são explicados, através do frescor trazido pelo vento até estes pontos. O resfriamento evaporativo das fachadas verdes indiretas com o maracujá e com a ipomeia é transportado pelo vento e, somado ao frescor produzido pela tumbérgia, resultou nos maiores valores de umidade absoluta para os pontos P4 e o P5, respectivamente.

Quadro 15 – Valores máximos, mínimos e variação de UA em condições de tempo frio

PONTO	UA (g/Kg)		
	Máximo	Mínimo	Varição de UA
P1 (externo)	10,3	9,2	1,1
P2	11,1	10,2	0,9
P3	11,5	10,6	0,9
P4	12,4	11,1	1,3
P5 (controle)	11,6	10,5	1,1
P6	9,7	8,6	1,1
P7	10,7	9,2	1,5

Quando comparados ao controle, os pontos P2, P3 e P4 apresentaram um padrão de resultados (Figura 86). O primeiro registrou os menores valores em relação aos demais, enquanto o ponto P3 obteve resultados intermediários. Isso é devido à influência do vento no resfriamento evaporativo das espécies. Dessa maneira, os melhores resultados foram registrados para o ponto P4, seguido pelo P3 e P2, respectivamente.

Figura 86. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5.

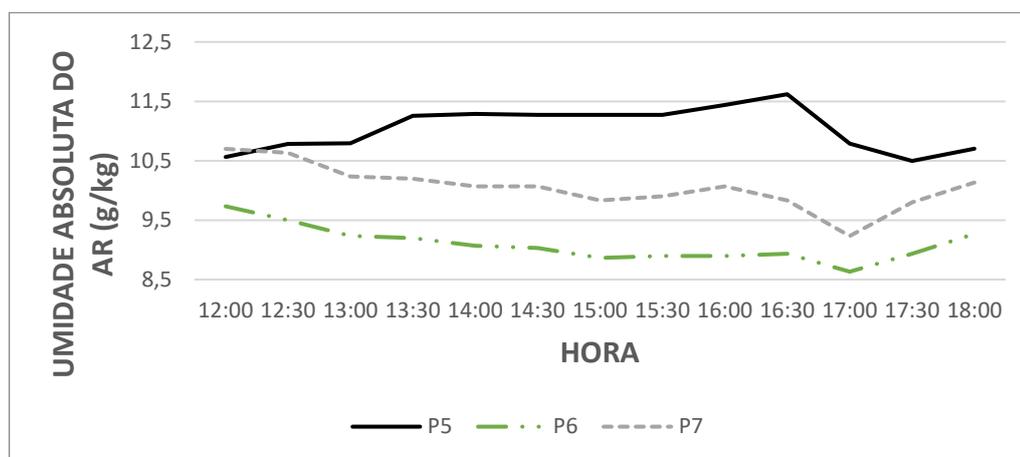


O ponto P3 registrou valores mais próximos do controle, com diferença máxima às 12h30, momento em que estava 0,3 g/Kg mais úmido em relação ao P5 (controle). O ponto P4, por sua vez, registrou valores superiores em relação ao controle durante todo o dia, com máxima de diferença às 15h30, quando estava 1,1 g/Kg mais úmido do que P5.

Os pontos P6 e P7 registraram valores inferiores ao controle durante todo o período de monitoramento (Figura 87), com exceção das 12h em que P7 encontrava-

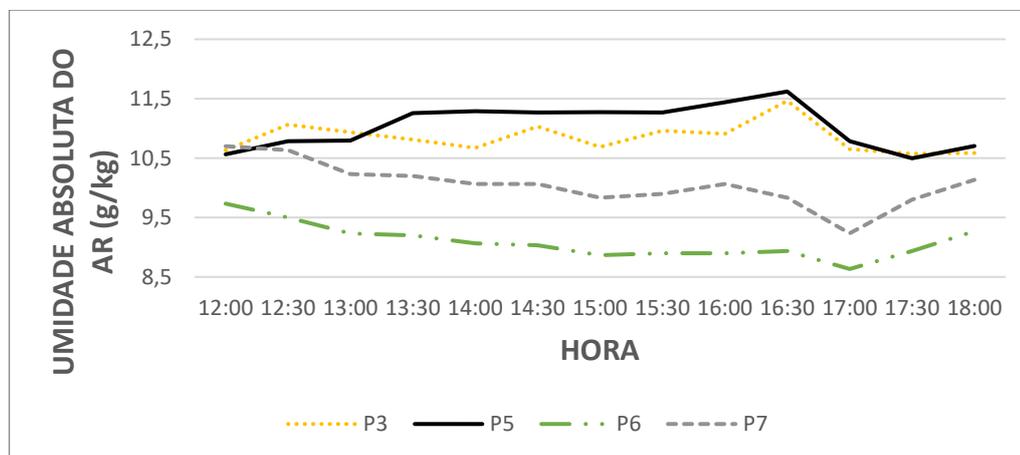
se 0,1 g/Kg mais úmido em relação ao ponto controle. Esses pontos registraram diferenciais máximos às 16h30, 2,7 e 1,8 menores em relação ao controle, respectivamente. Ressalta-se que o ponto P7 apresentou melhor desempenho em relação ao ponto P6 durante todo o monitoramento. Isso é devido à sua localização mais no interior do espaço de transição e receber maior sombreamento por um período de tempo maior.

Figura 87. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5.



Quando comparados com o ponto P3, fica visível a influência do jardim vertical no desempenho da variável umidade absoluta do ar (Figura 88). Juntamente ao efeito de sombreamento, o resfriamento evaporativo promove o aumento desta variável e, por isso, o ponto P3 obteve o melhor resultado, seguido dos pontos P7 e P6, respectivamente.

Figura 88. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5.



#### 4.2.2.4. Análise estatística dos dados

Os Quadros 16, 17 e 18 mostram os resultados das análises estatísticas para as variáveis TAR, TRM e UA. Em função dos valores de  $F < F$  crítico e  $P > 0,05$ , a variável temperatura do ar não apresentou relações de dependência expressivas entre os grupos e, portanto, não foi realizado o Teste de Tukey.

Quadro 16 – ANOVA de fator único da variável TAR para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.

Fonte de variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	9,040898	3	3,013633	0,587176	0,626362	2,798061
Dentro dos grupos	246,3559	48	5,132414			
Total	255,3968	51				

Para a variável TRM, foram comprovadas as relações de dependências entre os grupos através de  $F > F$  crítico e  $P < 0,05$ . A partir disso foi realizado o Teste de Tukey, que indicou o grau dessas relações de dependências. Os resultados confirmam aqueles encontrados em campo e, portanto, apontam o ponto P4 como aquele com maior grau de dependência em relação ao controle, seguido pelos pontos P3 e P2.

Quadro 17 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável TRM para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.

Fonte de variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	533,6345	3	177,8782	4,926938	0,004603	2,798061
Dentro dos grupos	1732,953	48	36,10319			
Total	2266,588	51				
Tukey	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>		
P2		0,9996	0,999	0,01856		
P3	0,1468		1	0,01407		
P4	0,1976	0,05077		0,01276		
P5	4,321	4,468	4,519			

Quadro 18 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável UA para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.

Fonte de variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	10,42615	3	3,475383	31,48732	2,12E-11	2,798061
Dentro dos grupos	5,297954	48	0,110374			
Total	15,7241	51				
Tukey	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>		
<b>P2</b>		0,189	2,377E-11	0,004694		
<b>P3</b>	2,881		3,069E-8	0,4378		
<b>P4</b>	12,92	10,04		6,239E-6		
<b>P5</b>	5,021	2,14	7,901			

Em relação à variável umidade absoluta também foram comprovadas as dependências entre os grupos, visto que os valores encontrados foram  $F > F$  crítico e  $P < 0,05$ . O Teste de Tukey apresentou como resultados o grau dessas relações de dependências, que demonstraram o ponto P4 como o mais relevante não apenas em relação ao ponto controle, como também em relação aos demais pontos P2 e P3. Assim como para a variável TRM, esse resultado também confirma aqueles encontrados em campo, cujo ponto P4 obteve resultados superiores aos demais pontos durante todo o monitoramento.

#### 4.3. Análise do monitoramento de dados em condições de tempo quente

O monitoramento dos dados microclimáticos (temperatura do ar e de globo, radiação solar e umidade absoluta do ar) nas condições de tempo quente foi realizado durante os dias 12, 13 e 14 de dezembro de 2018. Em função do horário de verão vigente no período, as medições tiveram início às 13h e término às 19h. Para a análise dos resultados foram calculados os valores médios para cada variável e horário encontrados durante esses três dias e calculada a temperatura radiante média.

Para a radiação solar foi possível analisar a atenuação promovida por cada espécie de trepadeira nos três módulos de fachadas verdes indiretas. Para as demais variáveis, foi avaliado o efeito conjunto das fachadas verdes na amenização microclimática do espaço de transição, através da comparação dos microclimas em pontos com e sem a influência das fachadas verdes.

#### 4.3.1. Intensidade de atenuação da radiação solar

A intensidade de atenuação da radiação solar para cada uma das fachadas verdes indiretas foi determinada com medições da radiação em cinco pontos nas faces interna e externa de cada módulo. Os valores de radiação incidente e protegidas podem ser observados no Apêndice C. Dessa maneira, foi possível calcular a quantidade de radiação incidente em cada uma delas e quanto foi bloqueado pela vegetação. Esse bloqueio está diretamente relacionado ao Potencial de Sombreamento (PSO) de cada uma das espécies e a fatores externos como a posição do Sol no período analisado.

A Figura 89 mostra os valores de radiação solar registrados para a caracterização externa ao espaço de transição e às fachadas verdes durante o monitoramento em condições de tempo quente. Os valores máximos encontrados na superfície das fachadas verdes ficaram próximos dos 1000 W/m<sup>2</sup>, registrados às 15h30 em frente ao maracujá e ipomea rubra e às 14h30 para a tumbérgia azul. Em frente aos módulos de fachadas verdes, os valores médios de radiação externa apresentaram desempenhos bastante semelhantes. Destaca-se aqui, que as quedas registradas são consequência da presença de nuvens passageiras, típicas de condições de tempo quente e úmido em alguns horários durante o monitoramento.

Nos pontos centrais das fachadas verdes (P3) a vegetação era mais uniforme, menos espaçada e com maior espessura foliar durante o período de monitoramento, diferente dos demais pontos de análise, que apresentavam falhas ou até mesmo a falta de vegetação. A disposição dos cinco pontos de análise das fachadas verdes pode ser observada na Figura 90.

Figura 89. Gráfico da radiação solar registrada na área externa ao espaço de transição e em frente às fachadas verdes durante os dias de monitoramento.

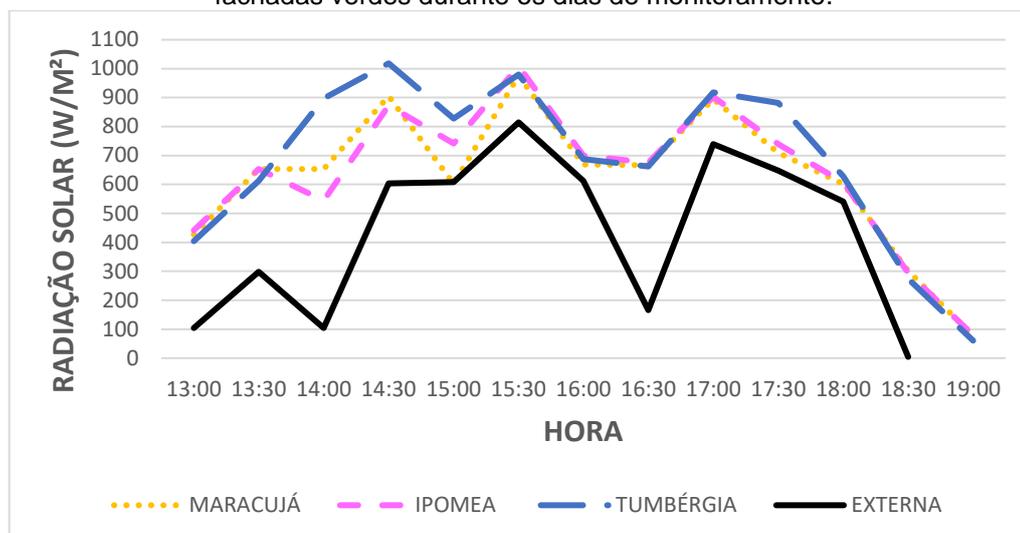


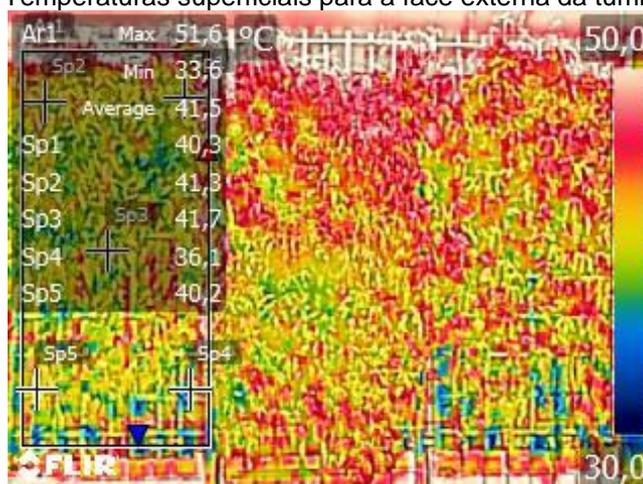
Figura 90. A cobertura vegetal externa durante o monitoramento de tempo quente.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2019.

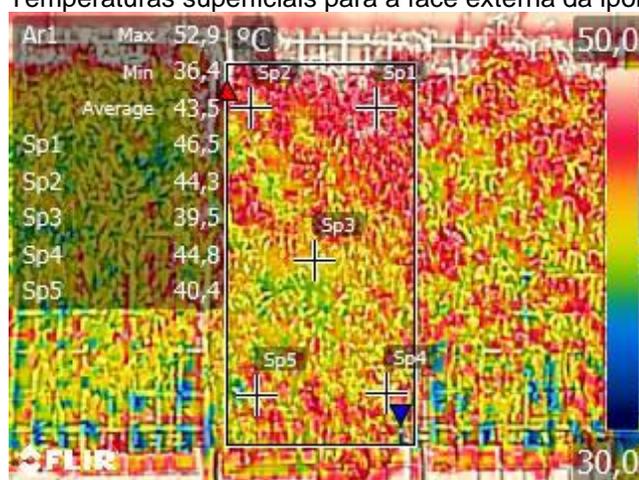
Os valores máximos de temperatura superficial das faces externas das fachadas verdes ocorreram às 17h, devido ao acúmulo de calor e incidência direta de radiação solar durante toda a tarde. Nas Figuras 91, 92 e 93 é possível observar que os valores máximo e mínimo registrados ficaram entre 53 e 33 °C para todas as espécies. Com exceção da tumbérgia azul, os pontos P3 apresentaram os menores valores de temperatura entre os cinco estabelecidos para cada fachada verde.

Figura 91. Temperaturas superficiais para a face externa da tumbérgia azul.



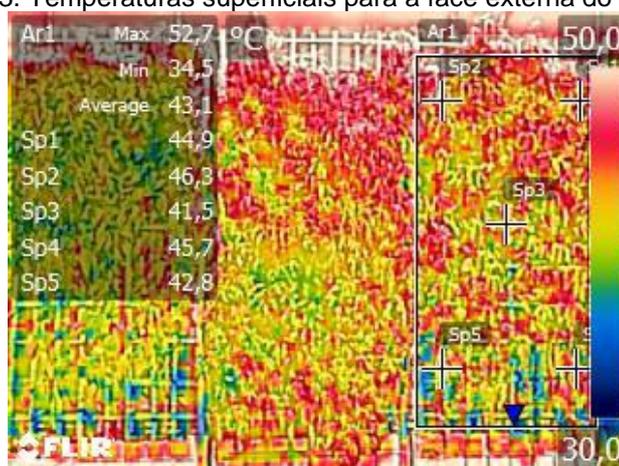
Fonte: Imagem modificada pela autora, 2019.

Figura 92. Temperaturas superficiais para a face externa da ipomea rubra.



Fonte: Imagem modificada pela autora, 2019.

Figura 93. Temperaturas superficiais para a face externa do maracujá.



Fonte: Imagem modificada pela autora, 2019.

Ressalta-se que, nas condições de tempo quente as trepadeiras tinham maior PCV, em comparação aos registros de inverno, mas os pontos P4 e P5 do maracujá

e tumbérgia azul eram os únicos a apresentar falhas da vegetação. Os quatro fatores para a determinação do PSO (FCV, FEF, FTF, FES) e o valor final do potencial durante o monitoramento em condições de tempo quente podem ser observados no Quadro 19.

Quadro 19. Os fatores determinantes e o PSO de cada espécie durante o monitoramento em condições de tempo quente.

<b>Espécie</b>	<b><i>Passiflora edulis</i></b>	<b><i>Ipomoea horsfalliae</i></b>	<b><i>Thunbergia grandiflora</i></b>
<b>FCV</b>	0,72	0,88	0,60
<b>FEF</b>	1	1	0,3
<b>FTF</b>	1	0,7	0,7
<b>FES</b>	0,3	1	0,7
<b>PSO</b>	0,75 (Bom)	0,89 (Ótimo)	0,57 (Regular)

Legenda: FCV – Fator de Cobertura Verde; FEF – Fator de Espessura Foliar; FTF – Fator de Tamanho das Folhas; FES – Fatos de Espaçamento das folhas; PSO – Potencial de Sombreamento.

Apesar de apresentar um FCV de 0,72 e FEF máximo, o maracujá possui folhas espaçadas, o que diminui seu fechamento de cobertura vegetal no centro e, conseqüentemente, a atenuação de radiação solar neste ponto. No Quadro 20 é possível observar os valores de atenuação registrados ao longo do período de monitoramento para cada ponto e cada espécie. Destaca-se aqui, que durante o monitoramento em condições de tempo quente, a tumbérgia azul apresentava FCV inferior em relação às condições de tempo frio e, por isso, obteve PSO inferior.

Mesmo durante os horários em que foram registrados os maiores valores de temperatura superficial para as espécies, as atenuações de radiação solar registradas foram todas superiores a 80%, com valores de 80,4, 90,6 e 85,4% para a tumbérgia azul, ipomea rubra e maracujá, respectivamente.

Para o maracujá, os pontos que obtiveram maior e menor médias de atenuação foram P2 e P3 e P5. Para a ipomea rubra, os pontos com maior e menor médias de atenuação solar foram P3 e P5. A tumbérgia azul, por sua vez, obteve o melhor e pior desempenho nos pontos P1 e P4, respectivamente. Esses resultados têm relação com o grau de cobertura vegetal, visto que o ponto P3 é o central, onde a vegetação se encontrava mais densa e uniforme, enquanto o P5 é o ponto inferior, onde a vegetação apresentou menor cobertura. Em relação a tumbérgia, a maior média de atenuação no P1 é devido a esse ponto apresentar cobertura vegetal mais uniforme e densa.

Quadro 20. Atenuação de radiação solar para as espécies.

ATENUAÇÃO DE RADIAÇÃO POR ESPÉCIE (%)															
Espécie	Ponto	Hora													Média
		13h	13h30	14h	14h30	15h	15h30	16h	16h30	17h	17h30	18h	18h30	19h	
Maracujá	P1	97	97	96	95	91	90	89	88	90	93	89	82	90	91
	P2	97	97	96	95	94	91	91	88	92	92	90	90	86	92
	P3	97	95	95	92	95	93	92	92	91	92	89	86	82	92
	P4	69	61	89	87	86	86	83	83	84	85	82	7	55	74
	P5	52	35	86	91	90	90	90	87	70	87	84	58	63	76
Média		82,4	77	92,4	92	91,2	90	89	87,6	85,4	89,8	86,8	64,6	75,2	85
Ipomea rubra	P1	98	98	96	94	94	92	90	93	92	92	91	94	87	93
	P2	96	97	93	94	94	87	90	90	91	92	90	94	85	92
	P3	98	97	97	96	96	94	95	93	94	94	91	95	84	94
	P4	67	68	91	94	91	91	91	90	89	89	83	81	77	85
	P5	60	50	60	82	86	91	90	88	87	59	88	78	71	76
Média		83,8	82	87,4	92	92,2	91	91,2	90,8	90,6	85,2	88,6	88,4	80,8	88
Tumbérgia azul	P1	96	96	93	95	91	90	90	89	89	92	87	92	76	90
	P2	96	95	93	87	90	70	89	88	89	91	88	93	70	88
	P3	94	94	93	94	89	90	91	89	87	90	85	92	75	89
	P4	39	34	91	90	85	82	86	51	59	39	49	68	57	64
	P5	0	18	88	85	85	87	83	85	88	84	77	57	39	67
Média		63,6	67,4	91,6	90,2	88	83,8	87,8	80,4	82,4	79,2	77,2	80,4	63,4	80

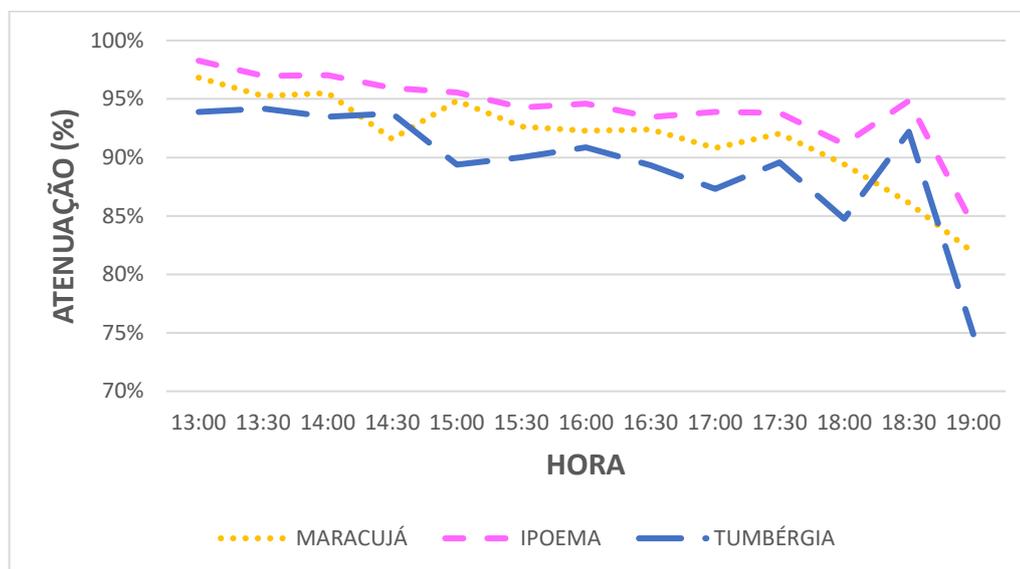
A análise comparativa dos resultados evidencia que o ponto P3 apresentou valores maiores e mais constantes para a atenuação da radiação solar proporcionada pelas espécies, apesar de apresentar variações durante o monitoramento. Mesmo para a tumbérgia azul, cujo ponto P1 apresentou melhor desempenho, sua diferença em relação ao P3 é irrisória, o que também demonstra a importância do ponto central na atenuação de radiação solar.

Outro aspecto que merece destaque é que o maracujá e a tumbérgia apresentaram maiores oscilações de atenuação solar em seus pontos centrais, em função da posição do sol. Assim, a radiação solar penetrava em maior ou menor quantidade no espaço de transição através do espaçamento formado entre a folhagem. Essa variação de atenuação promovida e o desempenho das outras espécies em relação a esse parâmetro podem ser observados no Figura 94.

Em relação aos pontos adjacentes ao centro (P1, P2, P4 e P5), o maracujá e a ipomea rubra apresentaram resultados uniformes para todos os pontos, com exceção do P5, que apresentou maiores variações. A tumbérgia azul também, mostrou a mesma característica para o P5, além de também apresentou falhas de cobertura vegetal no ponto P4 e, por isso, este foi um ponto vulnerável e de oscilação.

Entre as três trepadeiras, a ipomea rubra apresentou os maiores valores de atenuação, seguida pelo maracujá e tumbérgia azul.

Figura 94. Gráfico de atenuação de radiação solar nos pontos centrais de monitoramento das fachadas verdes.



Destaca-se que, as quedas nos valores da atenuação solar registradas às 18h para a ipomea rubra e tumbérgia azul são devido à posição e a menor altura solar, cujos raios penetravam em maior quantidade através da folhagem. O mesmo não aconteceu com o maracujá devido suas folhas serem maiores e, nessa situação, bloqueou maior quantidade de radiação.

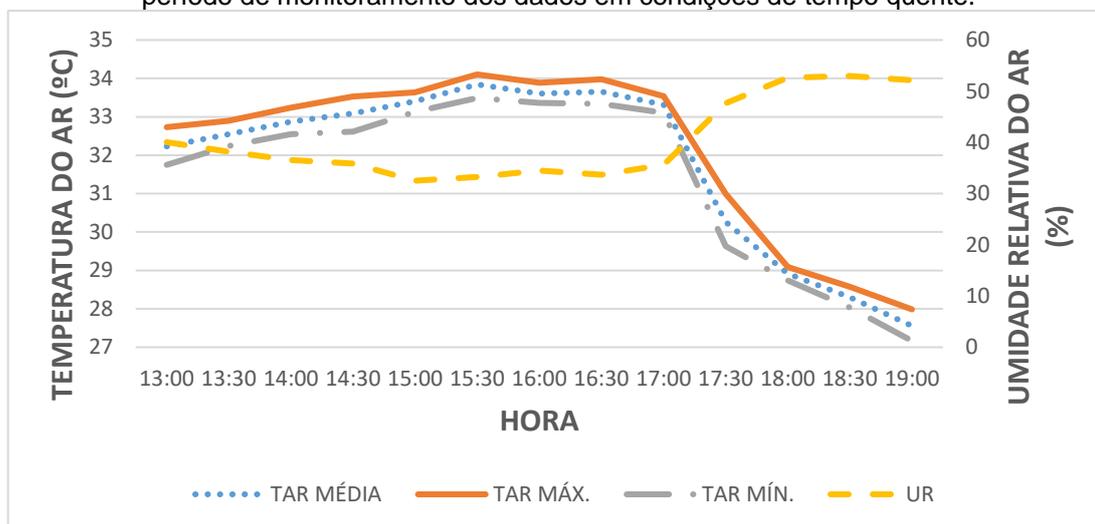
Dessa maneira, foi possível concluir que, assim como para o Potencial de Sombreamento, a espécie que apresentou maior intensidade na atenuação da radiação solar foi a ipomea rubra, seguida pelo maracujá e tumbérgia azul. A espécie ipomea rubra registrou valores uniformes não apenas para o ponto central, como também para os demais pontos durante grande parte do monitoramento e, portanto, obteve o melhor desempenho entre as demais.

#### 4.3.2. Impacto das fachadas verdes indiretas nas variáveis microclimáticas do espaço de transição

As variáveis do clima registradas no IPMET durante os horários do monitoramento de dados em condições de tempo quente estão caracterizadas na

Figura 95. Para a variável temperatura do ar, o valor máximo atingido foi de 34,1 °C às 15h30, enquanto o mínimo foi de 27,2 °C, às 19h, o que resultou numa variação de 6,9 °C no período de monitoramento dos dados.

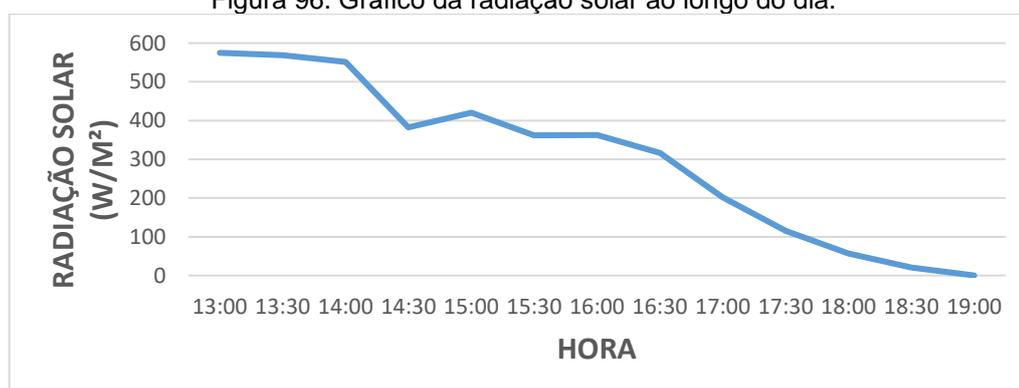
Figura 95. Gráfico do desempenho das variáveis temperatura do ar e umidade relativa durante o período de monitoramento dos dados em condições de tempo quente.



Fonte: IPMET, 2019.

Para a umidade relativa do ar, os valores mínimo e máximo foram de 32,5 e 52,9%, respectivamente, enquanto o valor médio foi de 40,4%. O valor máximo ocorreu próximo ao registro mínimo de temperatura do ar (às 18h30), enquanto que o valor mínimo diário ocorreu às 15h, próximo ao horário em que a temperatura do ar atingiu seu valor máximo. Em relação a variável radiação solar (Figura 96), o valor máximo atingido foi de 574,9 w/m<sup>2</sup> (13h), e o mínimo foi de 0,2 w/m<sup>2</sup> (19h). Em decorrência da presença de nuvens passageiras, pequenos decréscimos podem ser observados ao longo do período de monitoramento.

Figura 96. Gráfico da radiação solar ao longo do dia.

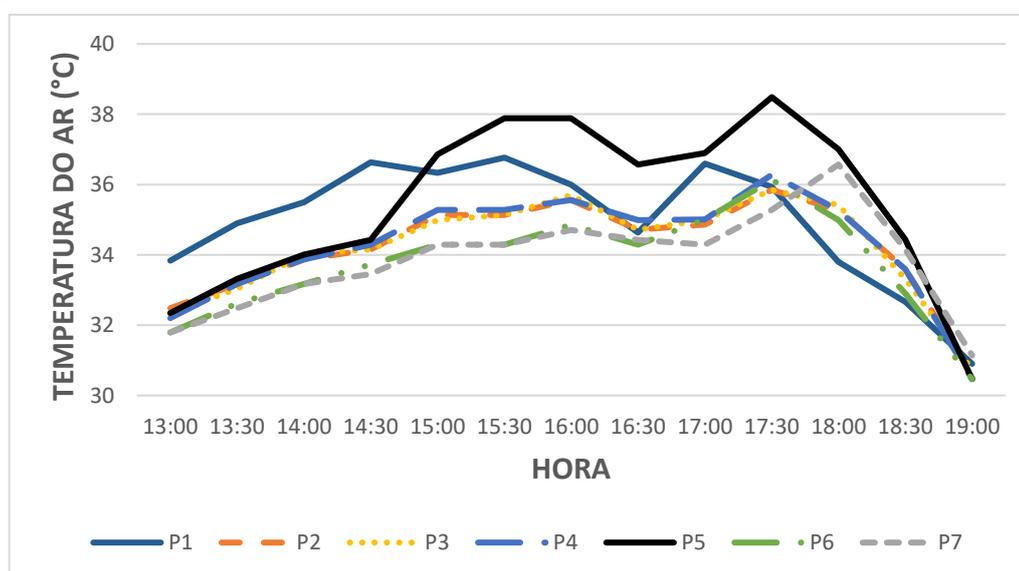


Fonte: IPMET, 2019.

#### 4.3.2.1. Influência na temperatura do ar (TAR)

Os resultados do monitoramento da variável temperatura são apresentados no Figura 97. O ponto P1 representa o espaço externo às fachadas verdes, o P5 é o ponto controle localizado no espaço de transição e os demais pontos (P2, P3, P4, P6 e P7) ficam atrás das três fachadas verdes em diferentes distâncias. Ressalta-se que a queda registrada às 16h30 para todos os pontos ocorreu em função da presença de nuvens passageiras. A maior queda registrada nos pontos P1 e P5 foi porque eles já se encontravam sombreados.

Figura 97. Gráfico dos valores da temperatura do ar para os pontos do espaço de transição.



Observa-se que, às 13h, todos os pontos localizados no espaço de transição registraram valores semelhantes, em torno de 32 °C, enquanto o ponto externo (P1) atingiu 33,8 °C, ou seja, um valor aproximadamente 1,8 °C mais alto. Este diferencial é devido à sua exposição ao sol, pois os demais pontos no espaço de transição estavam todos sombreados (Figura 98). Em relação aos pontos P2, P3, P4 e P5, que se encontravam alinhados, os valores registrados estavam muito próximos nesse horário, com variação máxima entre eles de 0,3 °C. os pontos P6 e P7, por estarem localizados mais internamente ao espaço de transição, apresentaram os menores valores, ambos com 31,8 °C.

Figura 98. O espaço de transição completamente sombreado as 13h e P1 exposto ao sol.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

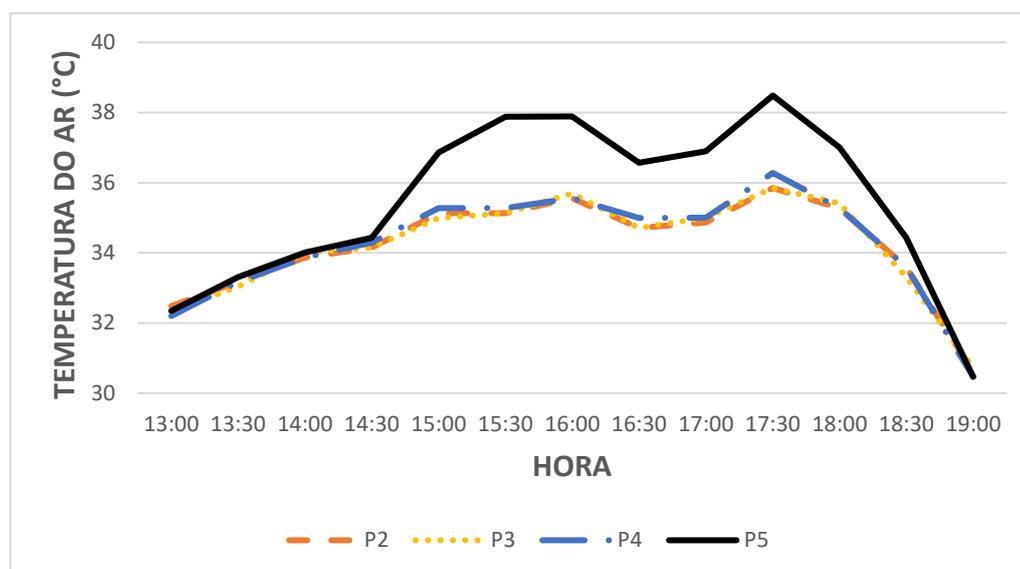
O Quadro 21 apresenta os valores das temperaturas máximas, mínimas e a variação térmica em cada ponto monitorado. Observa-se que, para os valores de temperaturas máximas, todos os pontos protegidos pelas fachadas verdes obtiveram amenização térmica em relação ao ponto controle no espaço de transição. No entanto, os melhores desempenhos foram obtidos nos pontos P2 e P3, localizados imediatamente atrás das fachadas verdes.

A Figura 99 mostra os valores de temperatura do ar nos pontos P2, P3 e P4, localizados imediatamente atrás das fachadas verdes, em relação ao ponto controle (P5), e evidenciam que as temperaturas para esses quatro pontos são semelhantes até às 14h30, período em que o ponto controle passa a registrar valores maiores. Durante todo o monitoramento de dados, os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes apresentaram desempenho semelhante, com valores de temperatura do ar inferiores em relação ao ponto controle (P5).

Quadro 21 – Temperaturas máximas, mínimas e variação de temperaturas em condições de tempo quente

PONTO	TAR (°C)		
	Máximo	Mínimo	Variação térmica
P1 (externo)	36,8	30,9	5,9
P2	35,9	30,6	5,3
P3	35,9	30,7	5,2
P4	36,3	30,5	5,8
P5 (controle)	38,5	30,5	8
P6	36,1	31,1	5
P7	36,6	31,1	5,5

Gráfico 99. Gráfico dos valores de temperatura do ar dos pontos P2, P3, e P4 em relação à P5.



Diferentemente do monitoramento em condições de tempo frio, em função da trajetória solar durante o verão, todos os três pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes encontravam-se protegidos e, devido a isso, os seus desempenhos ao longo do dia foram muito semelhantes, não havendo diferenças significativas entre si. Às 17h30, horário em que foram registradas os valores máximos de temperatura do ar para os três pontos, as fachadas verdes com espécies de maracujá e ipomea rubra registraram temperaturas menores em relação à tumbérgia azul. Essa amenização térmica ocorre devido ao Potencial de Sombreamento das duas primeiras serem maiores e, portanto, bloqueiam maior quantidade de radiação solar.

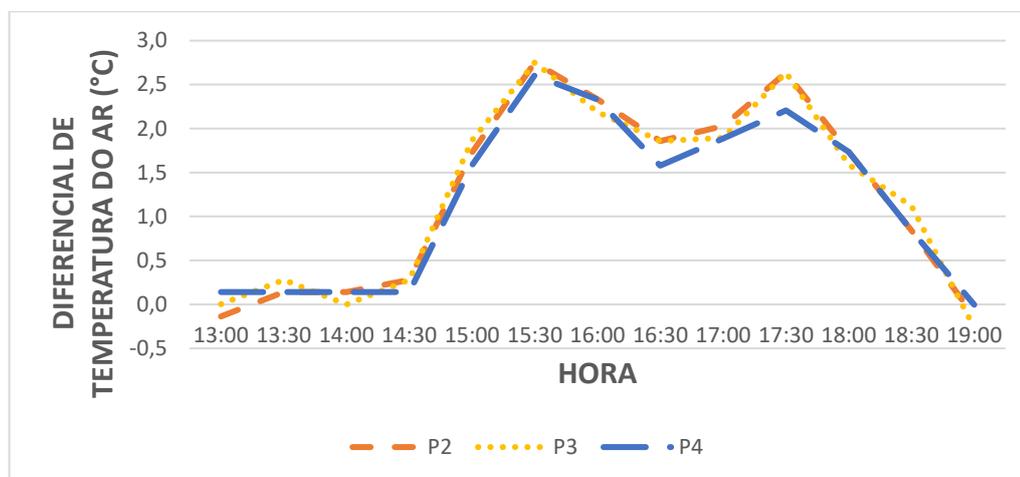
A diferença máxima entre os três pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e ponto controle ocorreu às 15h30 e foi de 2,8 °C menor para os pontos P2 e P3, e de 2,6 °C para o ponto P4. A redução máxima de temperatura entre todos os pontos protegidos e o controle ocorreu às 15h30.

Na medição das 19h apresentou uma inversão dos dados, pois os pontos P2 e P3 atingiram temperaturas maiores que o ponto controle (entre 0,2 e 0,3 °C), mas, o ponto P4, localizado mais próximo ao ponto controle registrou temperatura similar. Essa inversão de valores, que ocorre no início do período noturno, para dois pontos imediatamente atrás do jardim vertical, demonstra o mecanismo de ação do isolamento térmico, que está diretamente associado à densidade de cobertura

vegetal. Este mecanismo diminui a troca de calor convectiva com o meio e é responsável por manter o ambiente aquecido durante a noite.

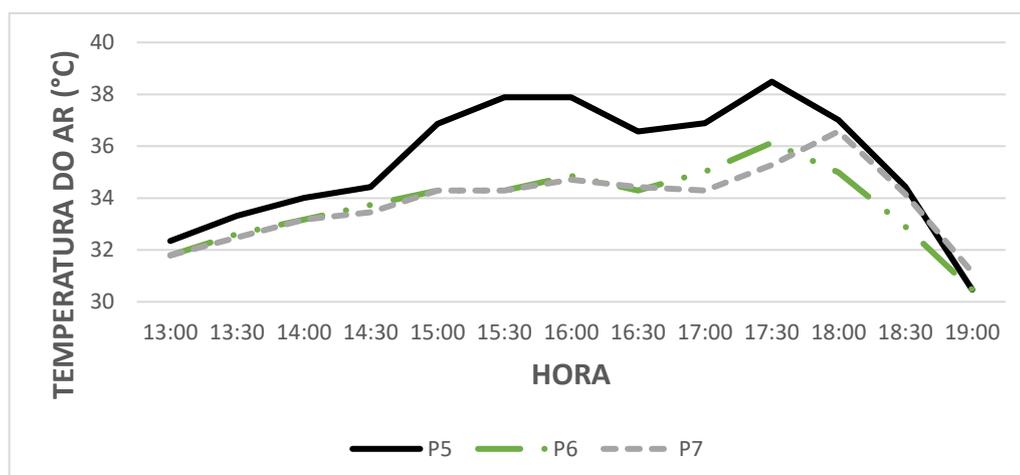
A presença de nuvens passageiras às 16h30 acarretou a diminuição da radiação solar e, conseqüentemente, redução do diferencial de temperatura entre os pontos P2, P3 e P4 em relação ao controle. Pode-se observar essa variação na Figura 100 e também os horários de pico em relação a esse diferencial (das 15h às 17h30).

Figura 100. Gráfico do diferencial de temperatura do ar entre os pontos P2, P3, P4 e o P5, ponto controle.



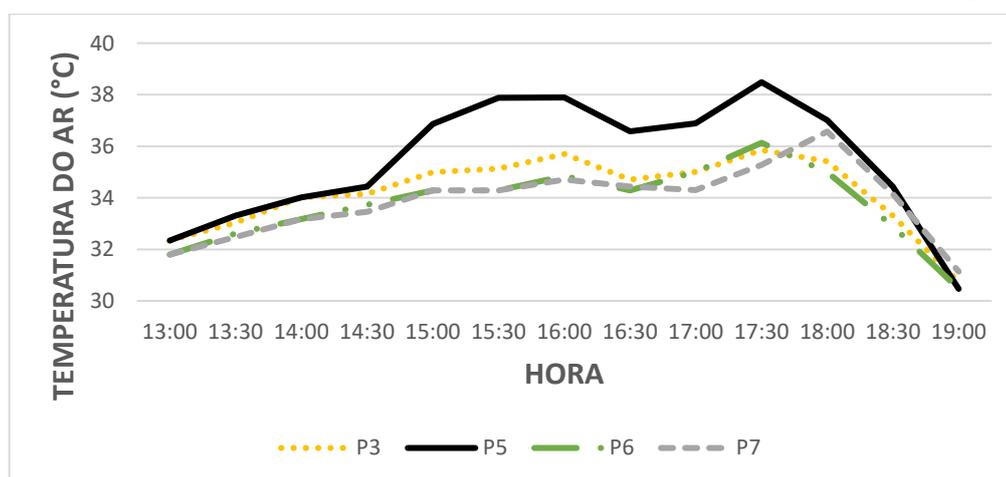
Os pontos P6 e P7, localizados mais no interior do espaço de transição, registraram valores de temperatura do ar próximos ao controle no início do monitoramento, mas atingiram a máxima diferença (3,6 °C) às 15h30 (Figura 101). Esses dois pontos apresentaram maiores diferenças em relação ao ponto controle. Assim como os demais pontos, P6 atinge sua temperatura máxima às 17h30 (36,1 °C) e o P7 às 18h (36,6 °C). Esse atraso é devido ao posicionamento dos pontos, visto que P7 se encontrava mais distante da borda do espaço de transição e, portanto, menos suscetível à radiação solar.

Figura 101. Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5.



Quando comparados ao ponto P3, é possível observar que este apresenta valores maiores em relação aos pontos P6 e P7 no início da tarde até às 17h, momento em que o ponto P6 passa a receber insolação direta e supera os outros dois. Às 17h45, no entanto, ocorre o ponto de inversão, quando P7 passa a receber radiação direta (devido a abertura entre as fachadas verdes e a estrutura da cobertura) e supera os valores registrados nos P3 e P6 (Figura 102).

Figura 102. Gráfico dos valores de temperatura do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5.

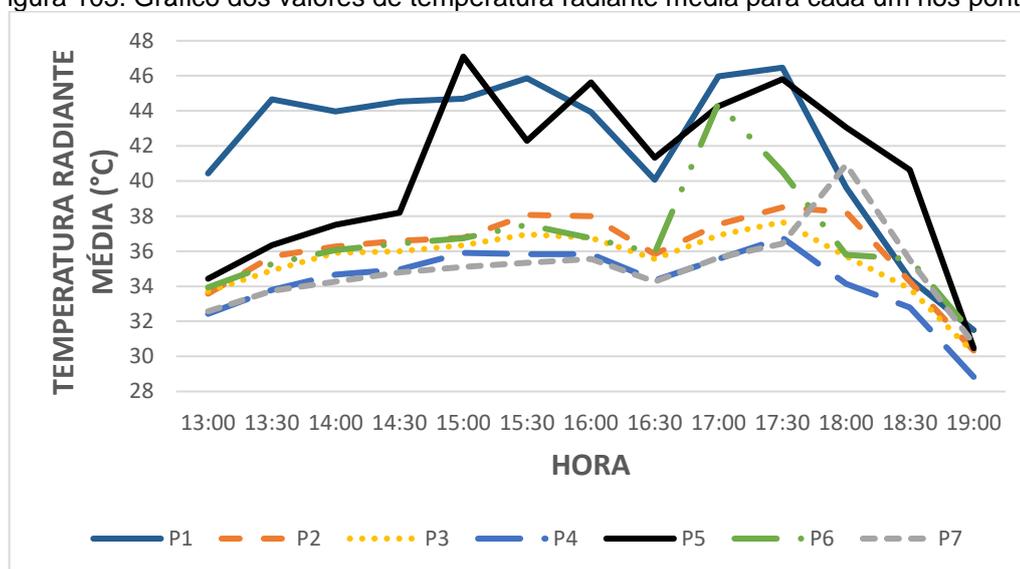


Resultados evidenciam o desempenho da variável temperatura do ar em três diferentes níveis no espaço de transição durante todo o dia: imediatamente atrás do jardim vertical (P2, P3 e P4), no centro do espaço de transição (P6) e na extremidade interna desse espaço (P7).

#### 4.3.2.2. Influência na temperatura radiante média (TRM)

A Figura 103 mostra o comportamento da variável temperatura radiante média em todos os pontos analisados. O ponto controle (P5) apresentou valores superiores durante todo o período de monitoramento, com exceção das 17h, momento em que P6 registra um pico devido à insolação direta que recebe. O ponto externo (P1) apresentou valores superiores até próximo das 18h, quando P7 o supera, devido à insolação direta, assim como P6 (Figura 104).

Figura 103. Gráfico dos valores de temperatura radiante média para cada um nos pontos.



O ponto P1 registrou seu valor máximo de 46,5 °C às 17h30, enquanto que para o ponto controle o valor máximo da TRM foi de 47,1 °C, às 15h. Quanto aos valores mínimos, os pontos P1 e P5 registraram 31,5 e 30,5 °C, respectivamente. Para todos os pontos analisados os valores mínimos ocorreram às 19h. As oscilações registradas no gráfico foram consequência da presença de nuvens em alguns momentos de medições, como às 16h30, responsável pela queda nos registros de todos os pontos. Os pontos P1 e P5 apresentaram maiores oscilações pois estavam expostos ao sol e, portanto, mais vulneráveis.

Figura 104. Os pontos P6 e P7 recebendo insolação às 17h e às 18h, respectivamente.



Fonte: Arquivo pessoal da autora, 2018.

O Quadro 22 apresenta os valores das temperaturas radiantes médias máximas, mínimas e a variação térmica em cada ponto monitorado. Observa-se que, para os valores de TRM máximas, todos os pontos protegidos pelas fachadas verdes obtiveram amenização térmica em relação ao ponto controle no espaço de transição. No entanto, os melhores desempenhos foram obtidos nos pontos P2, P3 e P4, localizados imediatamente atrás das fachadas verdes, visto que, apesar de ter registrado redução de TRM de 12 °C, o ponto P7 encontrava-se muito distante da área externa do espaço de transição e, portanto, não foram apenas o sombreamento das fachadas verdes que contribuem para esse resultado.

Quadro 22 – Temperaturas máximas, mínimas e variação de TRM em condições de tempo quente

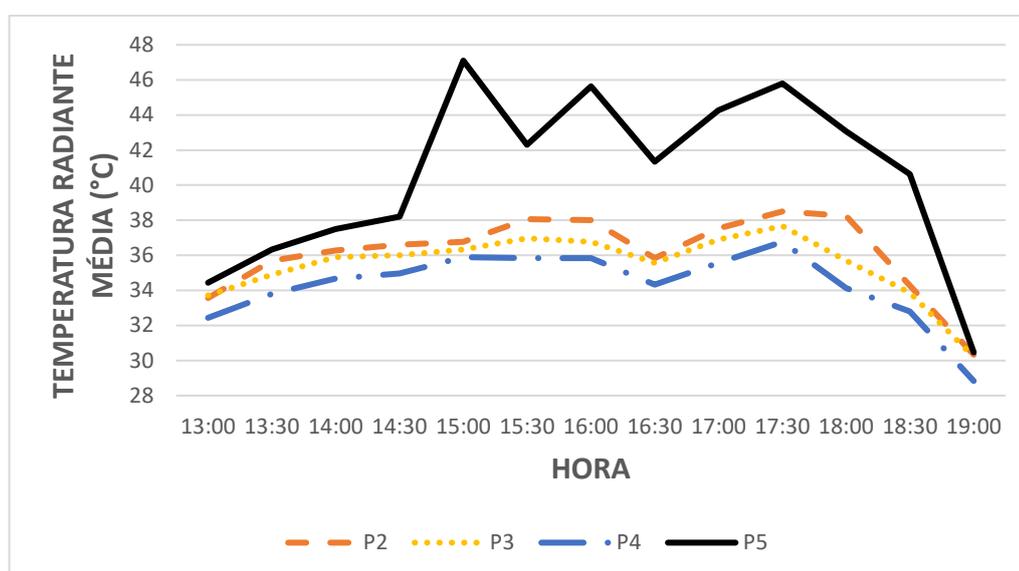
PONTO	TRM (°C)		
	Máximo	Mínimo	Variação da TRM
P1 (externo)	46,5	31,5	15
P2	38,5	30,3	8,2
P3	37,7	30,2	7,5
P4	36,8	28,8	8
P5 (controle)	47,1	30,5	16,6
P6	44,4	31,2	13,2
P7	40,9	30,7	10,2

Os três pontos imediatamente atrás do jardim vertical apresentaram valores máximos diários às 17h30, enquanto que os pontos P6 e P7 apresentaram valores máximos às 17h e 18h, respectivamente. O ponto P4 registrou o menor resultado, 36,8 °C, seguido pelos pontos P3 e P2.

Quanto aos valores de TRM mínimos para os três dias de análise, todos os pontos atingiram estes valores às 18h e apresentaram resultados muito próximos entre si, com variações entre 28,8 e 31,2 °C para os pontos P4 e P6, respectivamente.

O desempenho térmico dos pontos P2, P3 e P4 em relação ao ponto controle P5 é apresentado na Figura 105. Estes pontos atingiram diferenças máximas às 15h00, em relação ao controle, com valores que variaram entre 10,3, 10,8 e 11,2 °C para os pontos P2, P3 e P4, respectivamente. A partir das 14h30, estes pontos apresentaram um salto de diferencial em relação ao ponto controle de, aproximadamente, 8 °C.

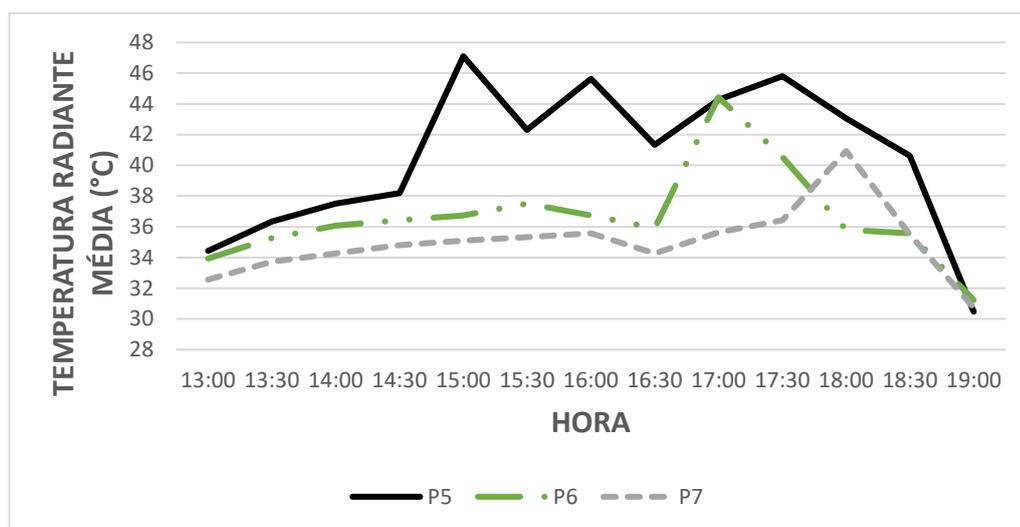
Figura 105. Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5.



O ponto P4 é o que apresentou melhor desempenho entre os três localizados imediatamente atrás das fachadas verdes indiretas. Destaca-se que, o sombreamento promovido pelo jardim vertical é responsável pela amenização de temperatura superficial do piso para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e, conseqüentemente, interfere no melhor desempenho para os valores da TRM nesses pontos.

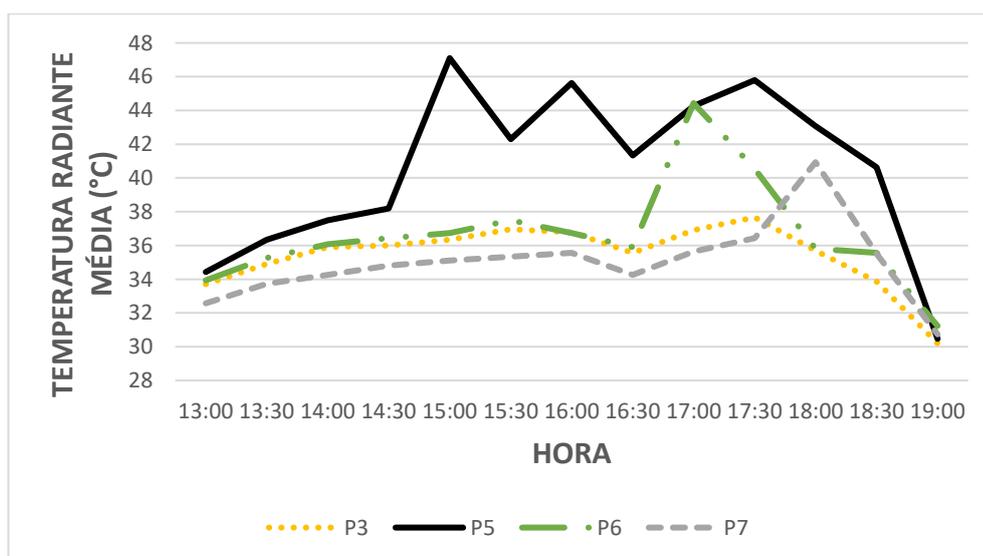
O ponto P7 apresentou maior valor de redução em relação ao ponto controle às 15h, equivalente a 12 °C (Figura 106). Esse resultado é devido à posição e sombreamento do mesmo, visto que está localizado no interior do espaço de transição, ou seja, afastado da área externa.

Figura 106. Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P5.



Quando comparados com o ponto P3, é possível observar que o maior diferencial em relação ao ponto P6 ocorreu às 17h, momento em que este estava sob influência de radiação direta. Em relação ao ponto P7, essa diferenciação máxima ocorreu às 18h, também pelo mesmo motivo (Figura 107). A partir disso é possível compreender o desempenho desta variável em três diferentes níveis no espaço de transição sob influência da fachada verde.

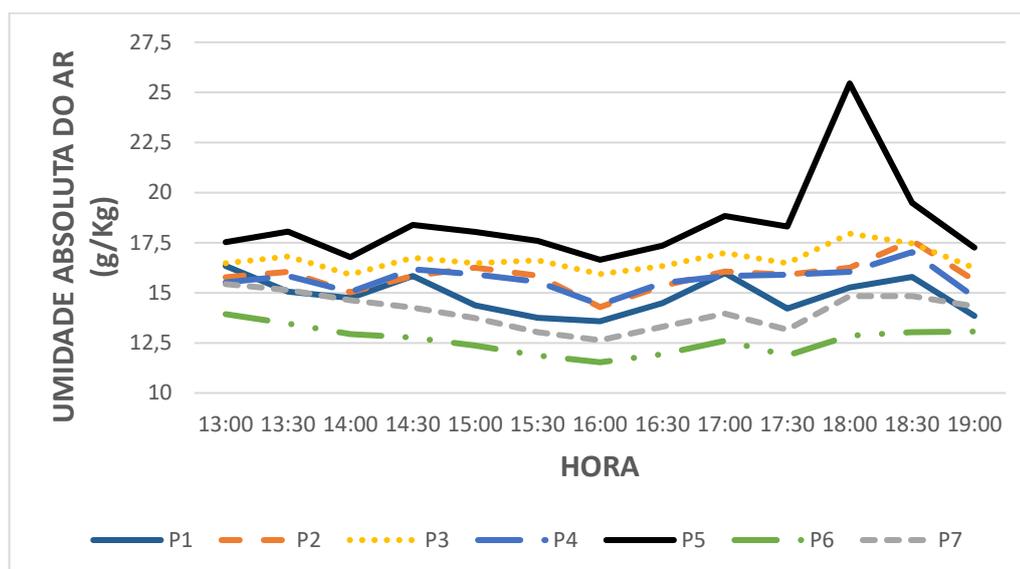
Figura 107. Gráfico dos valores de temperatura radiante média nos pontos P6 e P7 em relação à P3 e controle.



### 4.3.2.3. Influência na umidade absoluta do ar (UA)

A Figura 108 mostra que os valores de umidade absoluta do ar nos pontos monitorados foram inferiores aos registrados pelo ponto controle. Dentre os demais pontos, P3 obteve o melhor desempenho, uma vez que, durante todo o período de monitoramento, registrou os maiores valores para a umidade absoluta do ar. Com exceção dos pontos P6 e P7, que apresentaram seus valores máximo às 13h, P2 e P4 registraram às 18h30 e P3 e P5 às 18h. Quanto às mínimas ao longo do período de monitoramento, com exceção de P5, que registrou esses valores às 19h, os demais pontos registraram às 16h. O Quadro 23 apresenta os valores máximos, mínimos e as variações registradas em cada ponto monitorado.

Gráfico 108. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar para todos os pontos.



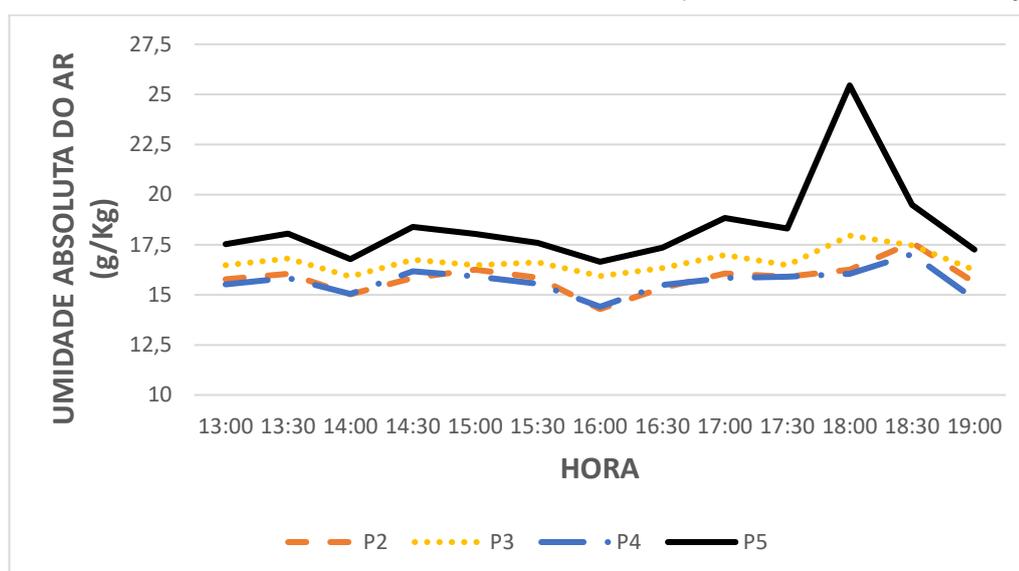
Quadro 23 – Valores máximos, mínimos e variação de UA em condições de tempo quente

PONTO	UA (g/Kg)		
	Máximo	Mínimo	Varição de UA
P1 (externo)	16,3	13,6	2,7
P2	17,6	14,3	3,3
P3	18	15,9	2,1
P4	17	14,4	2,6
P5 (controle)	25,4	17,3	8,1
P6	13,9	11,5	2,4
P7	15,4	12,6	2,8

O melhor desempenho dos pontos controle e P3 pode ser explicado em função do primeiro estar localizado próximo ao gramado e sofrer influência da ventilação, que trazia o acúmulo de frescor das fachadas verdes, e do último estar localizado atrás da fachada verde com ipomea rubra, que apresentava maior valor de PSO. Por apresentarem valores de PSO muito semelhantes, o desempenho dos pontos P2 e P4 em relação à umidade absoluta do ar também foram muito próximos durante todo o período de monitoramento.

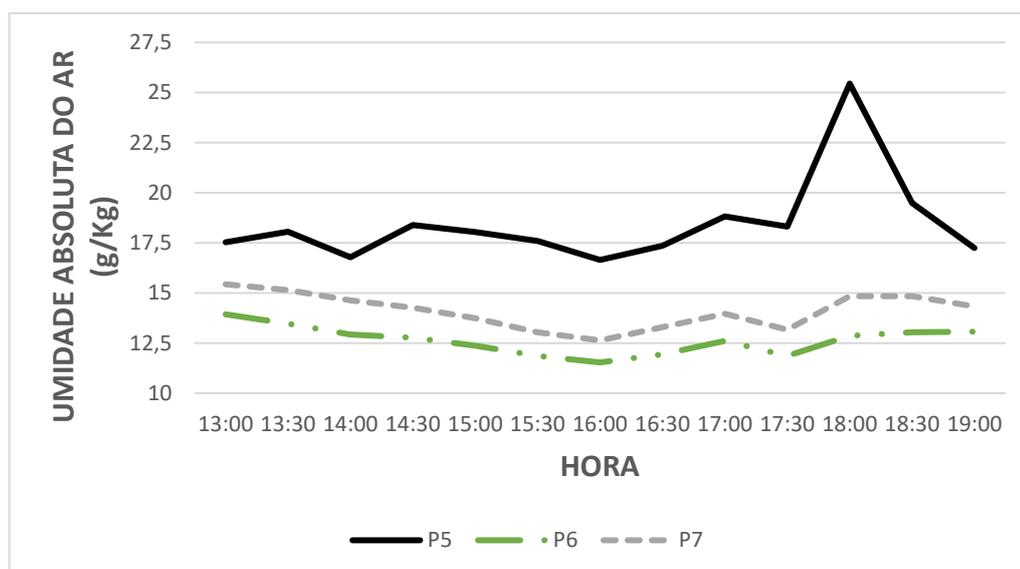
Quando comparados ao controle, os pontos P2, P3 e P4 apresentaram diferenciais máximos às 18h, variando entre 9,2, 7,5 e 9,4 g/Kg, respectivamente (Figura 109). Dessa maneira, os melhores resultados foram registrados para o ponto P3, seguido por P2 e P4, respectivamente.

Figura 109. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P2, P3 e P4 em relação à P5.



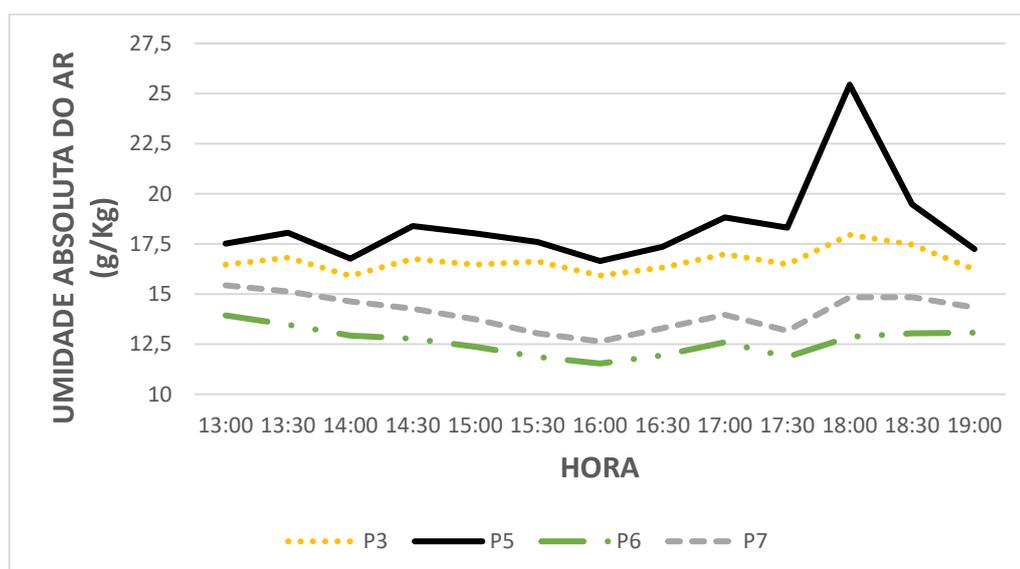
Os pontos P6 e P7 registraram valores inferiores ao controle durante todo o período de monitoramento (Figura 110). Esses pontos registraram diferenciais máximos às 18h, no valor de 12,6 e 10,6 g/Kg menores em relação ao controle, respectivamente. Destaca-se aqui que o ponto P7 apresentou melhor desempenho em relação ao ponto P6 durante todo o monitoramento. Isso é devido à sua localização mais no interior do espaço de transição e receber maior sombreamento por mais tempo, e por isso conservou mais umidade.

Figura 110. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P6 e P7 em relação à P5.



Quando comparados com o ponto P3, fica visível a influência do jardim vertical no desempenho da variável umidade absoluta do ar (Figura 111). Juntamente ao efeito de sombreamento, o resfriamento evaporativo promove o aumento desta variável e, por isso, o ponto P3 obteve o melhor resultado, seguido dos pontos P7 e P6, respectivamente.

Figura 111. Gráfico dos valores de umidade absoluta do ar nos pontos P3, P6 e P7 em relação à P5.



#### 4.3.2.4. Análise estatística dos dados

Os Quadros 24, 25 e 26 mostram os resultados das análises estatísticas para as variáveis TAR, TRM e UA. Em função dos valores de  $F < F$  crítico e  $P > 0,05$ , a variável temperatura do ar não apresentou relações de dependência expressivas entre os grupos e, portanto, não foi realizado o Teste de Tukey.

Quadro 24 – ANOVA de fator único da variável TAR para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.

Fonte de variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	14,64106	3	4,880356	1,516402	0,222231	2,798061
Dentro dos grupos	154,4821	48	3,218379			
Total	169,1232	51				

Para a variável TRM, foram comprovadas as relações de dependências entre os grupos através de  $F > F$  crítico e  $P < 0,05$ . A partir disso foi realizado o Teste de Tukey, que indicou o grau dessas relações de dependências. Os resultados confirmam aqueles encontrados em campo e, portanto, apontam o ponto P4 como aquele com maior grau de dependência em relação ao controle, seguido pelos pontos P3 e P2.

Quadro 25 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável TRM para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.

Fonte de variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	292,0769	3	97,35897	10,3182	2,35E-5	2,798061
Dentro dos grupos	292,9094	48	9,435613			
Total	744,9863	51				
Tukey	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>		
P2		0,9375	0,4312	0,003454		
P3	0,8208		0,7814	0,000578		
P4	2,156	1,335		2,542E-5		
P5	5,168	5,989	7,324			

Quadro 26 – ANOVA de fator único e Teste de Tukey da variável UA para os pontos localizados imediatamente atrás das fachadas verdes e o ponto controle.

Fonte de variação	SQ	GI	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	62,8946	3	20,9649	13,0762	2,3E-6	2,79806
Dentro dos grupos	76,95752	48	1,60328			
Total	139,8521	51				
Tukey	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>		
<b>P2</b>		0,3547	0,9821	1,891E-5		
<b>P3</b>	2,35		0,1897	0,004015		
<b>P4</b>	0,5272	2,878		5,222E-6		
<b>P5</b>	7,447	5,096	7,974			

Em relação à variável umidade absoluta também foram comprovadas as dependências entre os grupos, visto que os valores encontrados foram  $F > F$  crítico e  $P < 0,05$ . O Teste de Tukey apresentou como resultados o grau dessas relações de dependências, que demonstraram o ponto P4 como o mais relevante em relação ao ponto controle. Diferentemente da análise dos resultados obtidos em campo, o teste aponta o P4 como aquele com maior relação de dependência em relação ao ponto controle, seguido pelos pontos P2 e P3. Isso é devido aos pontos P2 e P4 não sofrerem efeito de borda, como o ponto P3 e, portanto, dependem exclusivamente do sombreamento proporcionado pelas fachadas verdes correspondentes.

#### 4.4. Síntese dos resultados

O acompanhamento do desenvolvimento e crescimento das espécies de trepadeiras (*Passiflora edulis*, *Ipomoea horrsfalliae* e *Thunbergia grandiflora*) utilizadas supriu lacunas informativas da bibliografia da área e possibilitou a comparação entre as mesmas. Os cálculos de FCV (Fator de Cobertura Vegetal), do FEF (Fator de Espessura foliar), do FTF (Fator do Tamanho das Folhas) e FES (Fator de Espaçamento da Folhagem) possibilitaram determinar o Potencial de Sombreamento (PSO) de cada espécie e comparar com os dados de atenuação de radiação solar promovida pelas mesmas.

Nesse contexto, a ipomea rubra se destacou ao apresentar os melhores resultados, visto que foi a espécie que atingiu o maior valor de FCV após um ano de plantio, possui baixo espaçamento entre as folhas e fator de espessura foliar

significativo. Foi a espécie que apresentou maior Potencial de Sombreamento em ambas as condições de tempo, seguida pelo maracujá e pela tumbérgia azul. As médias de atenuação de radiação solar em cada ponto monitorado e o PSO para as espécies em ambas as condições de tempo analisadas podem ser observados no Quadro 27.

Em função do PSO, cada uma das espécies apresentou desempenho diferente em relação à atenuação da radiação solar. No ponto central (P3), onde a cobertura vegetal era mais uniforme, as espécies registraram os maiores valores de atenuação, enquanto os demais pontos mostraram oscilações com valores bastante variados. Devido ao menor PSO, em comparação as outras duas espécies, a tumbérgia azul registrou os menores valores de atenuação na maioria dos pontos, enquanto a ipomea rubra, devido ao maior PSO, foi a espécie que apresentou melhor desempenho. As médias registradas durante o monitoramento para cada espécie são apresentadas no Quadro 27.

Quadro 27. Quadro síntese das atenuações médias de radiação solar em cada ponto e PSO para as espécies em ambas as condições de tempo.

<b>MONITORAMENTO EM CONDIÇÕES DE TEMPO FRIO</b>			
<b>PONTOS</b>	<b>ESPÉCIES</b>		
	<b>MARACUJÁ</b>	<b>IPOMEA RUBRA</b>	<b>TUMBÉRGIA AZUL</b>
<b>P1</b>	85%	86%	55%
<b>P2</b>	74%	76%	53%
<b>P3 – Ponto central</b>	81%	87%	86%
<b>P4</b>	65%	78%	72%
<b>P5</b>	64%	73%	37%
<b>MÉDIA</b>	73,8%	80%	60,6%
<b>PSO</b>	0,68 (Bom)	0,81 (Ótimo)	0,65 (Bom)
<b>MONITORAMENTO EM CONDIÇÕES DE TEMPO QUENTE</b>			
<b>PONTOS</b>	<b>ESPÉCIES</b>		
	<b>MARACUJÁ</b>	<b>IPOMEA RUBRA</b>	<b>TUMBÉRGIA AZUL</b>
<b>P1</b>	91%	93%	91%
<b>P2</b>	92%	92%	88%
<b>P3 – Ponto central</b>	92%	94%	90%
<b>P4</b>	74%	85%	64%
<b>P5</b>	76%	76%	67%
<b>MÉDIA</b>	85%	88%	80%
<b>PSO</b>	0,75 (Bom)	0,89 (Ótimo)	0,57 (Regular)

Legenda: PSO – Potencial de Sombreamento.

Destaca-se que o método de análise do PSO – que faz uma avaliação qualitativa de quanto a trepadeira poderia atenuar a radiação solar – foi eficiente pois,

quando comparado com os dados quantitativos da atenuação da radiação solar, os resultados seguem as mesmas tendências. Com exceção do ponto P4 da tumbérgia azul, todos os resultados encontrados para a atenuação de radiação solar das espécies durante o monitoramento em condições de tempo quente foram superiores quando comparados aos resultados para o tempo frio. Essa exceção do ponto P4 pode ser explicada pela falha de vegetação nesse ponto durante o monitoramento nessa condição de tempo.

Quanto ao PSO, a mesma tendência foi registrada, com aumentos para todas as espécies, com exceção da tumbérgia azul, que apresentou uma pequena redução em seu PSO (de 0,65 para 0,57) em decorrência da diminuição da espessura foliar e, conseqüentemente, do FEF.

Ressalta-se que a redução de atenuação de radiação solar durante o período de tempo frio é favorável, uma vez que a fachada verde exerce o mecanismo de ação do sombreamento, mas ainda permite a incidência de radiação solar para o aquecimento dos ambientes quando as temperaturas estão baixas. No entanto, no período de altas temperaturas, é essencial que o bloqueio da radiação seja maior, como ocorreu durante o monitoramento no período quente.

Em relação à amenização das variáveis microclimáticas do espaço de transição, em função da atenuação de radiação solar promovida pelas fachadas verdes indiretas, os resultados podem ser observados nos Quadros 28, 29 e 30. Esses quadros apresentam as máximas e mínimas registradas em cada ponto para cada variável e as reduções máximas em relação ao ponto controle (P5), respectivamente.

Quadro 28. Quadro síntese dos valores máximos e mínimos para as variáveis microclimáticas TAR e TRM em cada ponto para ambas as condições de tempo.

PONTO	TAR (°C)				TRM (°C)			
	TEMPO FRIO		TEMPO QUENTE		TEMPO FRIO		TEMPO QUENTE	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
<b>P1</b>	28	19,8	36,8	30,9	37,4	20,4	46,5	31,5
<b>P2</b>	27,1	22	35,9	30,6	31,4	19,8	38,5	30,3
<b>P3</b>	27,6	22	35,9	30,7	32	20	37,7	30,2
<b>P4</b>	29,9	21,9	36,3	30,5	33,5	19,5	36,8	28,8
<b>P5</b>	30,3	21,3	38,5	30,5	48	19,4	47,1	30,5
<b>P6</b>	27,9	21,9	36,1	30,5	33,7	20,6	44,4	31,2
<b>P7</b>	27,8	22	36,6	31,1	30,7	19,8	40,9	30,7

Através do fluxo de vento, ainda que baixo, o frescor produzido através da evapotranspiração das espécies de trepadeiras acarretou o registro dos maiores valores de umidade absoluta do ar para os pontos P4 e P5 durante os monitoramentos em condições de tempo frio e quente, respectivamente. Dessa maneira, fica clara a influência das fachadas verdes indiretas e seu potencial de sombreamento na amenização microclimática do espaço de transição.

Quadro 29. Quadro síntese dos valores máximos e mínimos para a variável microclimática UA em cada ponto no espaço de transição para ambas as condições de tempo.

PONTO	UA (g/kg)					
	TEMPO FRIO			TEMPO QUENTE		
	Máxima	Mínima	Diferença máx. em relação ao controle	Máxima	Mínima	Diferença máx. em relação ao controle
P2	11,1	10,2	+0,7	17,6	14,3	+9,2
P3	11,5	10,6	+0,6	18	15,9	+7,5
P4	12,4	11,1	-2,7	17	14,4	+9,4
P5	11,6	10,5	-	25,4	17,3	-
P6	9,7	8,6	+2,7	13,9	11,5	+12,6
P7	10,7	9,2	+1,8	15,4	12,6	+10,6

Quadro 30. Quadro síntese das máximas reduções para as variáveis TAR e TRM nos pontos internos ao espaço de transição em relação ao ponto controle em ambas as condições de tempo.

PONTO	TAR (°C)		TRM (°C)	
	TEMPO FRIO	TEMPO QUENTE	TEMPO FRIO	TEMPO QUENTE
P2	4	2,8	18,6	10,3
P3	3,3	2,8	18,8	10,8
P4	2,4	2,6	19	11,2
P6	4,4	3,6	20	10,4
P7	4,4	3,6	21,7	12

Foi registrada redução máxima de 4 °C para a variável temperatura do ar durante o monitoramento em condições de tempo frio. Essa redução ocorreu no ponto P2, localizado imediatamente atrás da fachada verde com a espécie de maracujá e livre da insolação que atingiu os pontos P3 e P4 durante alguns horários, mesmo sob influência do sombreamento da vegetação, devido à posição solar durante o inverno. A tendência de diminuição dos valores de reduções máximas nos pontos P3 (3,3 °C) e P4 (2,4 °C) se justifica devido a esse fato, uma vez que P4 se encontrava na borda e sofreu maior influência da radiação solar. Além disso, a menor redução apresentada

pelo ponto P4 também se relaciona com o PSO encontrado para o mesmo e a média de atenuação de radiação solar.

No verão, a máxima redução de 2,8 °C foi registrada nos pontos P2 e P3, com pequena diminuição no ponto P4 (2,6 °C). Assim como os valores registrados para as reduções, esses três pontos se encontravam em equilíbrio térmico durante o período de monitoramento, com valores de TAR sempre muito próximos. Mesmo que pequena, a menor redução registrada no ponto P4 também se relaciona com o PSO registrado e a média de atenuação de radiação solar, inferiores em relação aos demais pontos.

Os valores de temperatura radiante média, as reduções máximas para esses mesmos pontos e períodos foram registradas no ponto P4 em ambas as condições de tempo e seus resultados foram de 19 e 11,2 °C, respectivamente. Evidentemente, as reduções de temperatura superficial do piso proporcionadas pelas próprias jardineiras contribuíram, também, para a amenização dos valores dessa variável.

Para as variáveis TAR e TRM e em ambas as condições de tempo, os pontos P6 e P7 apresentaram as maiores reduções máximas entre os pontos do espaço de transição. Esses resultados estão relacionados com o posicionamento mais no interior do espaço e, por isso, esses pontos foram menos suscetíveis à incidência da radiação solar.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo experimental permitiram constatar a eficiência de fachadas verdes indiretas com três diferentes espécies de trepadeiras na atenuação da radiação solar e, conseqüentemente, na amenização térmica de um espaço de transição. Além disso, buscou aprofundar o conhecimento sobre três espécies de trepadeiras (*Passiflora edulis*, *Ipomoea horsfalliae* e *Thunbergia grandiflora*) quanto ao seu desenvolvimento, aplicação e especificidades como a produção de flores e frutos, suscetibilidade a pragas, velocidade de crescimento e adaptação ao clima local.

Em relação aos aspectos de desenvolvimento e crescimento dessas espécies, a *Ipomoea horsfalliae* (ipomea rubra) foi a que obteve os melhores resultados, uma vez que apresentou o maior Fator de Cobertura Verde e velocidade de crescimento, cobertura vegetal mais uniforme, boa adaptação às condições locais, maior valor estético e baixa suscetibilidade a pragas. A *Passiflora edulis* (maracujá) apresentou desempenho intermediário, com alto Fator de Cobertura Verde e velocidade de crescimento e alta suscetibilidade ao ataque de pragas, que afetaram e diminuíram seu FCV em determinados momentos, além de reduzido valor estético em função da demora em produzir flores durante o período estudado. Enquanto que a *Thunbergia grandiflora* apresentou o pior desempenho, visto que registrou baixo Fator de Cobertura Verde e velocidade de crescimento e reduzido valor estético durante os primeiros meses.

Em relação ao Potencial de Sombreamento (PSO), a ipomea rubra também obteve o melhor desempenho em ambas as condições de tempo, com valor de 0,81 e 0,89, que são classificados como ótimos. O maracujá e a tumbérgia azul foram classificados como bom em ambas as condições de tempo, com exceção do tempo quente, em que a tumbérgia azul apresentou queda de PSO entre inverno e verão (0,57 regular). Assim, o valor encontrado para cada espécie teve impacto na atenuação da radiação solar incidente. Em relação a esse aspecto, a ipomea rubra também obteve o melhor desempenho e registrou atenuação máxima de, aproximadamente, 87 e 94% em seu ponto central e médias de 80 e 88% em condições de tempo frio e quente, respectivamente. O maracujá e a tumbérgia azul apresentaram valores de atenuação em seus pontos centrais próximos aos da ipomea rubra, mas as médias de todos os pontos foram bastante inferiores em condições de

tempo frio, com valores de 74 e 60%, respectivamente. No entanto, durante o monitoramento em tempo quente, esses valores se equipararam aos da ipomea rubra.

Esse desempenho quanto a atenuação de radiação solar das trepadeiras contribuiu para uma amenização microclimática das áreas do espaço de transição influenciadas pelo sombreamento, em comparação com o ponto controle, sem influência desse mecanismo. Portanto, foram obtidas reduções máximas de 4 e 2,8 °C para a temperatura do ar em condições de tempo frio e quente, respectivamente, e 19 e 11,2 °C para temperatura radiante média em condições de tempo frio e quente, respectivamente. Soma-se a isso o sombreamento do piso e, conseqüentemente, a diminuição da temperatura superficial, que contribuiu para as reduções da temperatura radiante média.

A variável umidade absoluta do ar, por sua vez, apresentou aumento máximo de 2,7 g/Kg durante o inverno, registrado logo atrás da fachada verde com maracujá. Essa espécie apresentou valores maiores em relação ao controle durante todo o monitoramento em condições de tempo frio.

Portanto, os resultados comprovam o potencial amenizador térmico das fachadas verdes indiretas em função da atenuação da radiação solar proporcionada pelo mecanismo de ação sombreamento. Os resultados ressaltam, ainda, a importância dessa tipologia de infraestrutura verde nos espaços de transição, ainda pouco estudados, e a importância da escolha correta das espécies vegetais. Portanto, as especificidades morfológicas das espécies são essenciais para o sucesso das fachadas verdes, seja em relação a melhoria microclimática ou até mesmo aos fatores estéticos.

Esta pesquisa destaca, ainda, sua contribuição em suprir algumas lacunas de conhecimento e informação, especialmente aquelas relacionadas aos aspectos morfológicos das espécies vegetais e sua relação com o potencial de sombreamento de cada uma. Além do entendimento de detalhes técnicos sobre o desenvolvimento e crescimento de cada trepadeira analisada, bem como a importância do uso de fachadas verdes em para melhoria microclimática de um espaço de transição, ainda pouco explorado na literatura da área.

Com base nesses resultados e da revisão bibliográfica, destacam-se algumas questões que merecem ser investigadas em futuros trabalhos e que são descritas a seguir:

- Monitorar a variável velocidade do vento e sua direção para que sua influência possa ser melhor entendida;
- Relacionar o parâmetro transmitância média de radiação solar com o Potencial de Sombreamento (PSO);
- Selecionar as espécies de trepadeiras adequadas para cada localidade, e avaliar as condições climáticas dos ambientes, em especial a variável umidade relativa do ar, que interfere diretamente no desenvolvimento das espécies;
- Desenvolver estudos com maiores áreas de fachadas verdes e em locais que sofram menos interferência do entorno;
- Realizar campanhas de monitoramento com duração maior que três dias;
- Estudar diferentes espécies de trepadeiras plantadas diretamente no solo, mas utilizar a mesma metodologia desta pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVEZ, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.

BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and green facades: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 915-939, 2018.

CAMERON, R. W. F.; TAYLOR, J.; EMMETT, M. Hedera green façade - energy performance and saving under different maritime-temperate, winter weather conditions. **Building and Environment**, v.92, p. 111–121, 2015.

CHENG, C.Y.; CHEUNG, K.K.S.; CHU, L.M. Thermal performance of a vegetated cladding system on facade walls. **Building and Environment**, Hong Kong, v.45, n. 8, p.1779-1787, 2010.

CHUN, C.; KWOK, A.; TAMURA, A. Thermal comfort in transitional spaces—basic concepts: literature review and trial measurement. **Building and environment**, v. 39, n. 10, p. 1187-1192, 2004.

EUMORFOPOULOU, E. A.; KONTOLEON, K. J. Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour of building envelopes. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 1024–1038, 2009.

GSR ARCHITECTURAL. **The Living Screen: Trellis System**. 2013. Disponível em: < <http://gsrarch.com/the-living-screen-trellis-system/#!prettyPhoto>>. Acesso em 26 dez 2018.

HISTORY CHANNEL. **Possível localização dos míticos Jardins Suspensos da Babilônia intriga pesquisadores**. 2013. Disponível em: <<https://seuhistory.com/noticias/possivel-localizacao-dos-miticos-jardins-suspensos-da-babilonia-intriga-pesquisadores>>. Acesso em 27 dez 2018.

HOELSCHER, M.; NEHLS, T.; JANICK, B.; WESSOLEK, G. Quantifying cooling effects of facade greening: shading, transpiration and insulation. **Energy and Buildings**, v. 114, p. 283–290, 2016.

HUNTER, A. M.; WILLIAMS, S. G. N.; RAYNER, J. P.; AYE, L.; HES, D.; LIVESLEY, S. J. Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review. **Ecological Engineering**, v. 63, p. 102-113, 2014.

INOVAT ARQUITETURA E INTERIORES. **Cortina verde – um isolante térmico sustentável**. 2014. Disponível em: < <https://inovatarquitetura.wordpress.com/2014/09/05/cortina-verde-um-isolante-termico-e-sustentavel/>>. Acesso em 01 jan 2019.

IP, K., LAM, M., MILLER, A. Shading performance of a vertical deciduous plant canopy. **Building and Environment**, v. 45, p. 81-88, 2010.

JAAFAR, B., SAID IS., REBA M. N., RASIDI M. H. Impact of vertical greenery system on internal building corridors in the tropic. In: Asia Pacific International Conference on Environment-Behaviour Studies, 105, Londres, 2013. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, v. 105, p. 558-568, 2013.

KÖHLER, M. Green facades- a view back and some visions. **Urban Ecosystems**, Neubrandenburg, v.11, p. 423-436, 2008.

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.

KOYAMA, T.; YOSHINAGA, M.; HAYASHI, H.; MAEDA, K.; YAMAUCHI, A. Identification of key plant traits contributing to the cooling effects of green façades using freestanding walls. **Building and Environment**, v. 66, p. 96-103, 2013.

KOYAMA, T.; YOSHINAGA, M.; MAEDA, K.; YAMAUCHI, A. Transpiration cooling effect of climber greenwall with an air gap on indoor thermal environment. **Ecological Engineering**, v. 83, p. 343–353, 2015.

LEE, L., S., H.; JIM, C., Y. Subtropical summer thermal effects of wirerope climber green walls with different air-gap depths. **Building and Environment**, v. 126, p. 1–12, 2017.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 41, p. 863-871, 2015.

MASCARÓ, Lúcia, MASCARÓ, Juan Luis. **Vegetação urbana**. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS, 2010. 212 p.

MATZARAKIS, A.; RUTZ, F.; MAYER, H.. Estimation and calculation of the mean radiant temperature within urban structures. In: Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium (ed. By R. J. de Dear, J. D> Kalma, T. R. Oke and A. Auliciems): selected papers the conference ICB-ICUC`99, Sydney, WCASP-50, WMO/TD No. 2000.

MEDL, A.; STANGL, R.; FLORINETH, F. Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement. **Building and Environment**, v. 125, p. 227-239, 2017.

MNY ECOSYSTEMS. **Green Facade**. 2017. Disponível em: < <http://www.omni-ecosystems.com/green-facade-3/>>. Acesso em 15 jan 2019.

MORELLI, Denise Damas de Oliveira. **Paredes verdes**: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído. 2009. Dissertação (mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MORELLI, D. D. O.; LABAKI, L. C. . Paredes verdes: estudo experimental sobre seus efeitos no espaço construído. In: XII Encontro Nacional e VIII Encontro Latino

Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2013, Brasília. **Anais do ENCAC/ELACAC 2013**, 2013. p. 1098-1107.

MUÑOZ, L. S.; CRUCIOL BARBOSA, M.; FONTES, M. S. G. de C; FARIA, J. R. G. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, n. 2, mar. 2019. ISSN 1980-6809. Disponível em: <<https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8652775>>. Acesso em: 28 mar. 2019.

MUR VEGETAL PATRICK BLANC. **Museu do Quai Branly**. 2004. Disponível em: <<https://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/paris-ile-de-france/musee-du-quai-branly>>. Acesso em 27 dez 2018.

MUR VEGETAL PATRICK BLANC. **Athenaeum Hotel**. 2009. Disponível em: <<https://www.murvegetalpatrickblanc.com/realisations/londres/athenaeum-hotel>>. Acesso em 27 dez 2018.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Improvements to the globe thermometer for outdoor use. **Architectural Science Review**, v.42, p. 27-34, 1999.

O JARDINEIRO. **Maracujá – Passiflora sp.** 2014. Disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/maracuja-passiflora-sp.html>>. Acesso em 27 dez 2018.

O JARDINEIRO. **Tumbérgia-azul – Thunbergia grandiflora**. 2014. Disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/tumbergia-azul-thunbergia-grandiflora.html>>. Acesso em 27 dez 2018.

O JARDINEIRO. **Ipomea rubra – Ipomoea horsfalliae**. 2015. Disponível em: <<https://www.jardineiro.net/plantas/ipomeia-rubra-ipomoea-horsfalliae.html>>. Acesso em 27 dez 2018.

PELCKMANS. **Up climbers**. 2018. Disponível em: <<https://www.pelckmans.net/nl/69359/parthenocissus-tricuspidata-veitch-boskoop-1>>. Acesso em 26 dez 2018.

PÉREZ, G.; COMA, J.; MARTORELL, I., CABEZA, L.F., Vertical greenery systems (VGS) for energy saving in buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 139-165, 2014.

PÉREZ, G.; COMA, J.; SOL, S.; CABEZA, L. F. Green facade for energy savings in buildings: the influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. **Applied Energy**, v. 187, p. 424–437, 2017.

PÉREZ, G.; RINCÓN, L.; VILA, A.; GONZÁLEZ, J. M.; CABEZA, L. F. Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy Conservation and Management**, v. 52, n. 4, p. 1861-1867, 2011.

PERINI, K., OTTELÉ, M., FRAAIJ, A.L.A., HAAS, E.M., RAITERI, R. Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. **Building and Environment**, v. 46, p. 2287-2294, 2011.

PERINI, K.; OTTELÉ, M.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. **Urban Ecosystems**, v. 16, n. 2, p. 265-277, 2013.

PINTEREST. **MM-arquitetura, Javier Callejas Sevilla - Ampliación del Centro de Investigaciones Biomédicas.** 2018. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/737323770217819243/>>. Acesso em 03 mai 2019.

RUAS, A.C. Sistematização da avaliação de conforto térmico em ambientes edificados e sua aplicação num software. 2002. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

SAFIKHANI, T., ABDULLAH, A.M., OSSEN, D.R., BAHARVAND, M. Thermal impacts of vertical greenery systems. **Environmental and Climate Technologies**, v. 14, p. 05-11, 2014.

SAFIKHANI, T.; ABDULLAH, A.M.; OSSEN, D.R.; BAHARVAND, M. A review of energy characteristic of vertical greenery systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.40, p. 450-462, 2014a.

SCHERER, M. J.. **Cortinas verdes na arquitetura: desempenho no controle solar e na eficiência energética de edificações.** 2014. Dissertação (doutorado). Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SHARP, R.; SABLE, J.; BERTRAM, F.; MOHAN, E.; PECK, S. **Introduction to Green Walls: technology, benefits & design.** In: Green Roofs for Healty Cities, 2008. Disponível em: <[http://www.greenroofs.net/components/com\\_lms/flash/Green%20Walls%20Intro%200908b.pdf](http://www.greenroofs.net/components/com_lms/flash/Green%20Walls%20Intro%200908b.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2018.

SHEWEKA, S. M; MOHAMED N. M. Green facades as a new sustainable approach towards climate change. **Energy Procedia**, v.18, p. 507-520, 2012.

SORTE, Pedro Dias Boa. **Simulação térmica de paredes verdes compostas de vegetação nativa do cerrado.** 2016. Dissertação (mestrado). Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. Thermal performance of biofacade with natural ventilation in the tropical climate. In: 2011 international conference on green buildings and sustainable cities, 21. Bangkok, 2011. **Procedia Engeneering**, n. 21 p. 34-41, 2011.

SUSOROVA, I. Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. In: PACHECO-TORGAL, F; LABRINHA, J.

A.; CABEZA, L. F.; GRANQVIST, C.-G. (Org.). **Eco-efficient materials for mitigating building cooling needs**. Chicago: Elsevier, 2015. p. 127-153.

SUSOROVA, I.; AZIMI, P.; STEPHENS, B. The effects of climbing vegetation on the local microclimate, thermal performance, and air infiltration of four building facade orientations. **Building and Environment**, v. 76, p. 113–124, 2014.

TEC 21. **Green facade**. 2016. Disponível em: <<https://www.espazium.ch/optisch-ansprechend-kologisch-von-vorteil-tec-21>>. Acesso em 27 dez 2018.

VOX, G.; BLANCO, I.; SCHETTINI, E. Green façades to control wall surface temperature in buildings. **Building and Environment**, v. 129, p. 154–166, 2018.

VOX, G.; SCHETTINI, E.; CAMPIOTTI, C. A.; VIOLA, C.; ALONZO, G.; BLANCO, I.; MUGNOZZA, G. S. Building climate control by means of passive systems. In: International conference of agricultural engineering. **Proceedings International Conference of Agricultural Engineering**, Zurique, p. 1-8, 2014.

WEISER, Veridiana de Lara. **Árvores, arbustos e trepadeiras do cerradão do jardim botânico municipal de Bauru, SP**. 2007. Tese (Doutorado). Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

WIDIASTUTI, R.; CAESARENDRA, W.; PRIANTO, E.; BUDI, W. S. Study on the leaves densities as parameter for effectiveness of energy transfer on the green façade. **Buildings**, v.8, n. 10, p. 1-14, 2018.

WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; TAN, P.Y.; WONG, N.C. Energy simulation of vertical greenery systems. **Energy and Buildings**, v. 41, n. 12, p. 1401-1408, 2009.

WONG, N.H.; TAN, A.Y.K.; CHEN, Y.; SEKAR, K.; TAN, P.Y.; CHAN, D.; CHIANG, K.; WONG, N.C. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, v. 45, n. 3, p. 663-672, 2010.

WONG, I.; BALDWIN, A. N. Investigating the potencial of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. **Building and Environment**, v. 97, p. 34-39, 2016.

YANG, F.; YUAN, F.; QIAN, F.; ZHUANG, Z.; YAO, J. Summertime thermal and energy performance of a double-skin green façade: a case study in Shanghai. **Sustainable Cities and Society**, v. 39, p. 43–51, 2018.

YIN, H.; KONG, F.; MIDDEL, A.; DRONOVA, I.; XU, H.; JAMES, P. Cooling effect of direct green façades during hot summer days: an observational study in Nanjing, China using TIR and 3DPC data. **Building and Environment**, v. 116, p. 195–206, 2017.

## 7 APÊNDICES

### APÊNDICE A – Ficha das espécies selecionadas para o experimento

<b>Nome científico:</b> <i>Thunbergia grandiflora</i> Roxb.	<b>Nome popular:</b> Tumbérgia azul
<b>Família:</b> Acanthaceae	<b>Ordem:</b> Angiospermae
<b>Origem:</b> Índia	<b>Clima:</b> tropical ou subtropical
<b>Perda foliar:</b> Perenifólia	<b>Tipo de trepadeira:</b> Volúvel
<b>CrITÉRIOS de escolha:</b> selecionada, principalmente, por ser perenifólia, ser muito utilizada em estudos científicos, ser adaptada ao clima local, característica de sol pleno, apresentar densa cobertura vegetal e rápido crescimento.	
<b>Exemplo ilustrativo da espécie</b>	
	

<b>Nome científico:</b> <i>Passiflora edulis</i>	<b>Nome popular:</b> Maracujá azedo
<b>Família:</b> Passifloraceae	<b>Ordem:</b> Violales
<b>Origem:</b> América	<b>Clima:</b> Tropical
<b>Perda foliar:</b> Perenifólia com mínima perda foliar durante o inverno	<b>Tipo de trepadeira:</b> Sarmentosa

**Critérios de escolha:** selecionada, principalmente, por ser uma espécie frutífera e, portanto, se diferenciar das duas demais, pela beleza de suas flores, por ser adaptada ao clima local, ser nativa, ser característica de sol pleno, apresentar densa cobertura vegetal e rápido crescimento e ser perenifólia, mesmo que perca um mínimo de folhas no inverno.

#### Exemplo ilustrativo da espécie



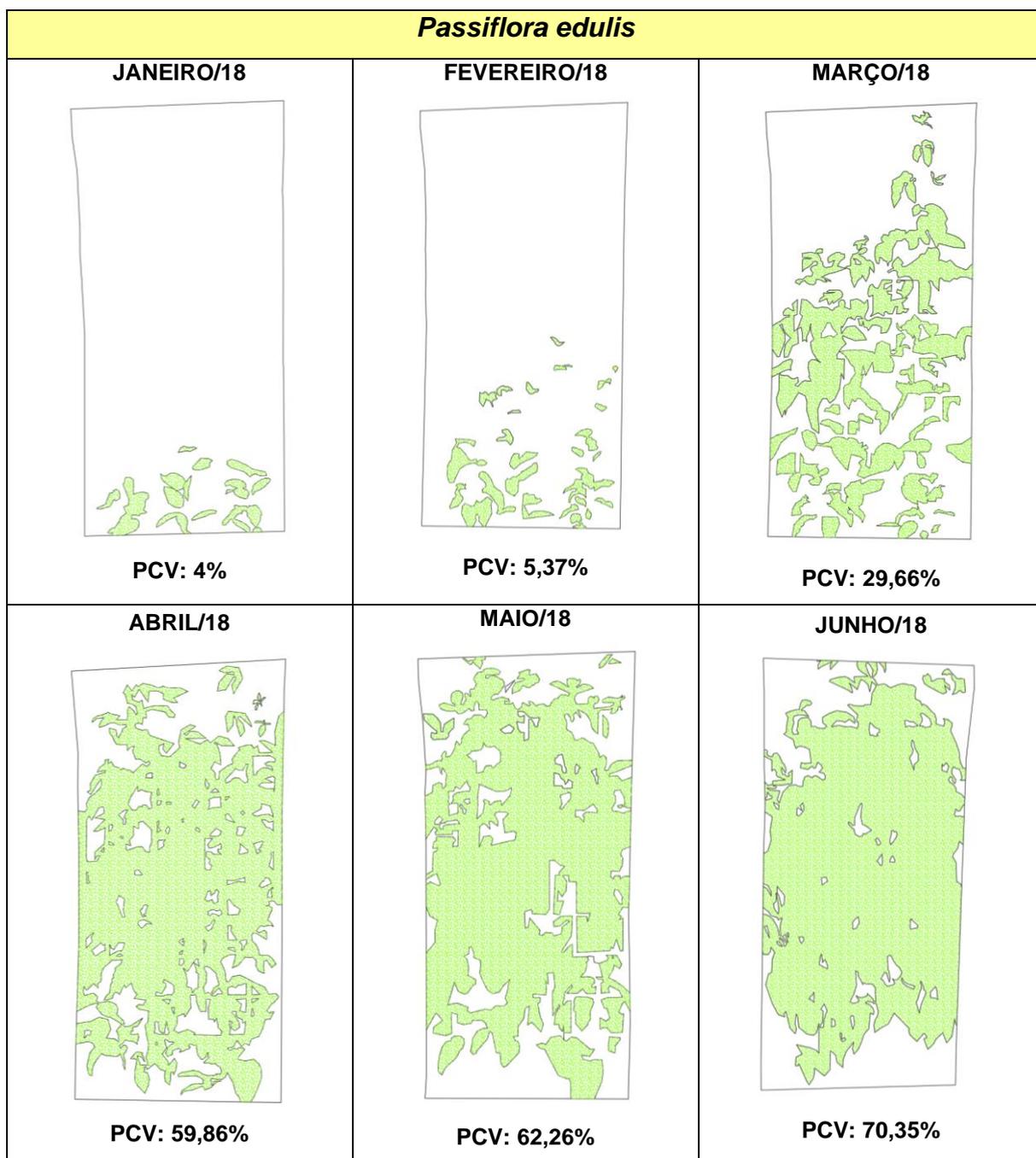
<b>Nome científico:</b> <i>Ipomoea horsfalliae</i>	<b>Nome popular:</b> Ipomea rubra
<b>Família:</b> Convolvulaceae	<b>Ordem:</b> Solanales
<b>Origem:</b> Indonésia	<b>Clima:</b> Equatorial, Subtropical, Tropical
<b>Perda foliar:</b> Perenifólia	<b>Tipo de trepadeira:</b> Volúvel

**Critérios de escolha:** selecionada, principalmente, pela beleza de suas flores, por ser adaptada ao clima local, ser característica de sol pleno, apresentar densa cobertura vegetal e rápido crescimento e ser perenifólia.

**Exemplo ilustrativo da espécie**

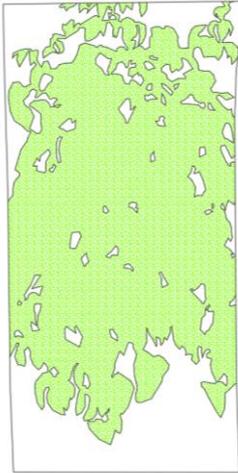


**APÊNDICE B – Quadros com os valores de PCV e espessura foliar para cada espécie durante o desenvolvimento do experimento.**



***Passiflora edulis***

**JULHO/18**



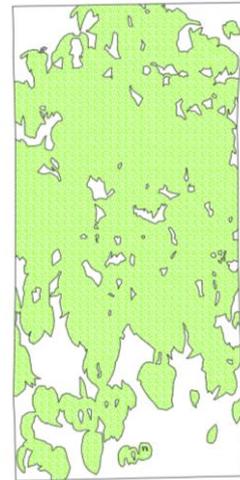
**PCV: 66,93%**

**AGOSTO/18**



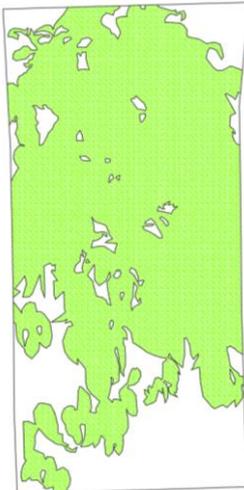
**PCV: 70,19%**

**SETEMBRO/18**



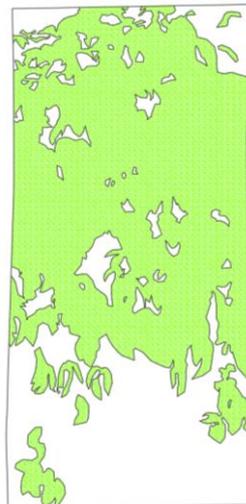
**PCV: 70,30%**

**OUTUBRO/18**



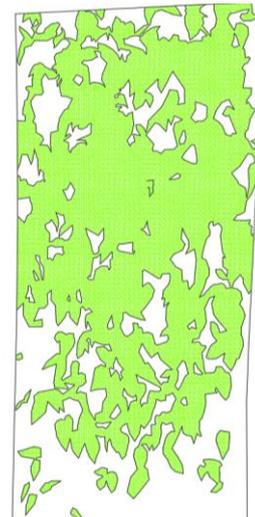
**PCV: 70,37%**

**NOVEMBRO/18**



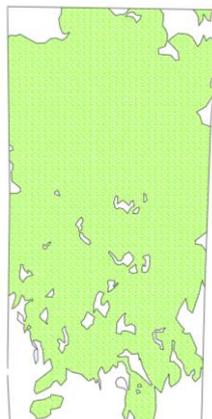
**PCV: 62,74%**

**DEZEMBRO/18**



**PCV: 72,09%**

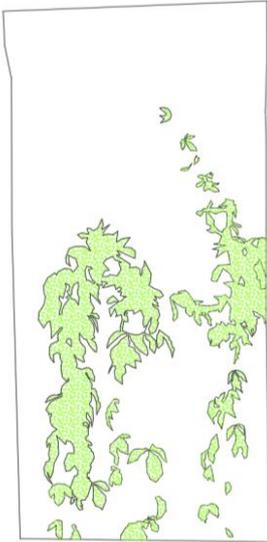
**JANEIRO/19**



**PCV: 80,03%**

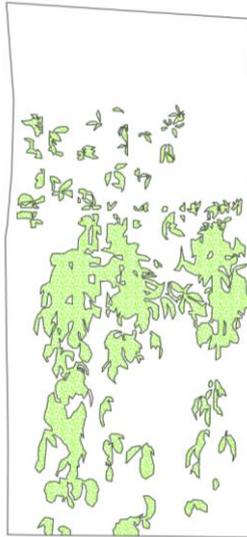
***Ipomoea horsfalliae***

**JANEIRO/18**



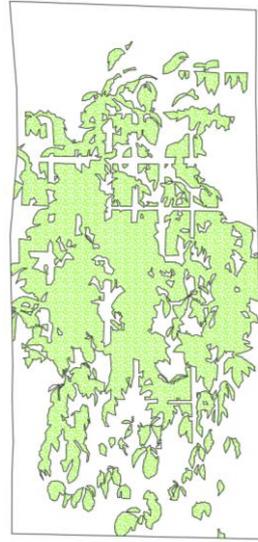
**PCV: 17,40%**

**FEVEREIRO/18**



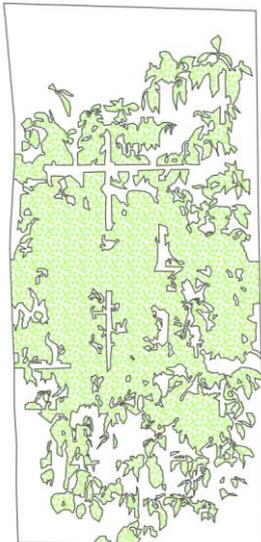
**PCV: 19,94%**

**MARÇO/18**



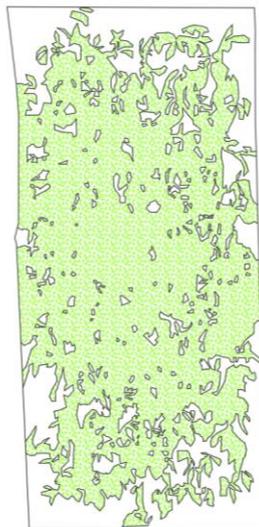
**PCV: 40,52%**

**ABRIL/18**



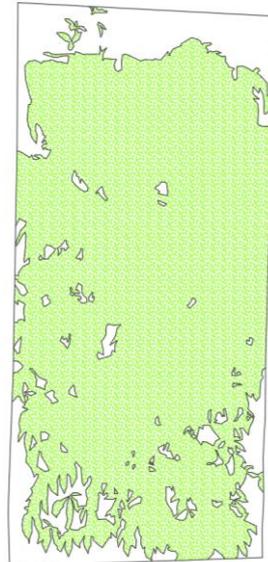
**PCV: 47,68%**

**MAIO/18**



**PCV: 65,80%**

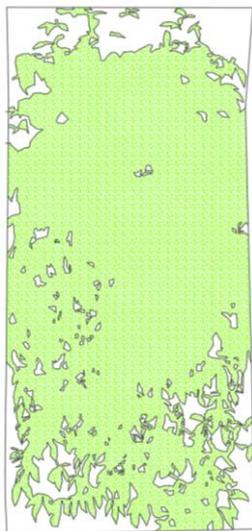
**JUNHO/18**



**PCV: 79,65%**

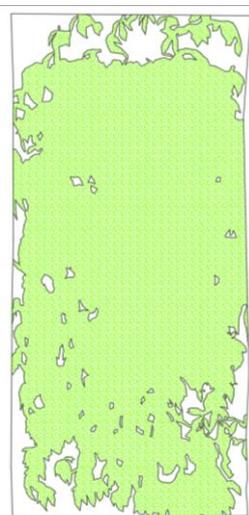
***Ipomoea horsfalliae***

**JULHO/18**



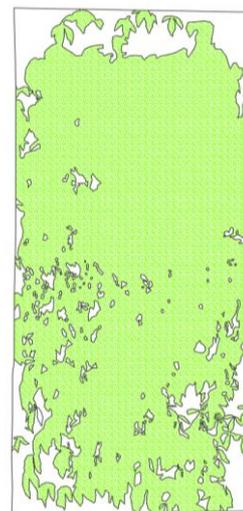
**PCV: 78,14%**

**AGOSTO/18**



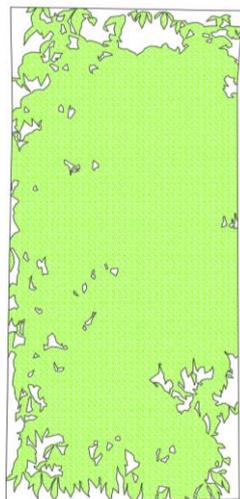
**PCV: 81,91%**

**SETEMBRO/18**



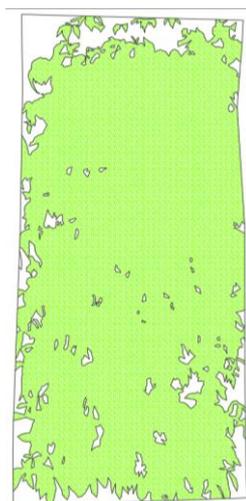
**PCV: 79,87%**

**OUTUBRO/18**



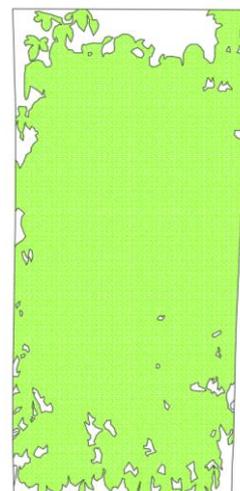
**PCV: 84,76%**

**NOVEMBRO/18**



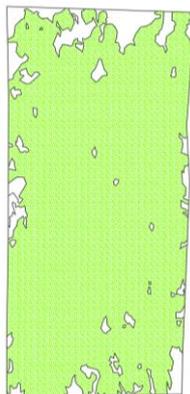
**PCV: 85,64%**

**DEZEMBRO/18**



**PCV: 87,84%**

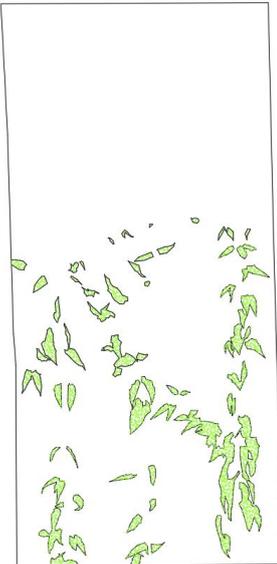
**JANEIRO/19**



**PCV: 89,50%**

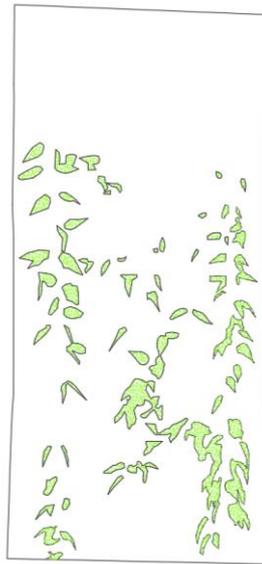
*Thunbergia grandiflora*

JANEIRO/18



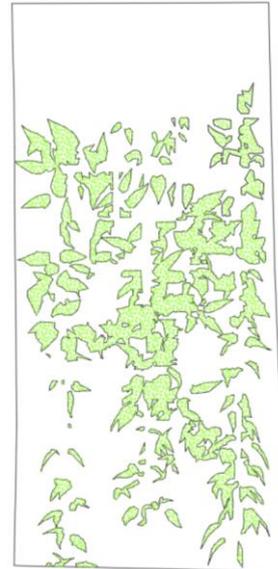
PCV: 6,51%

FEVEREIRO/18



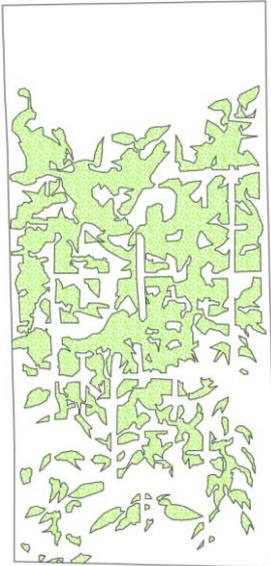
PCV: 8,20%

MARÇO/18



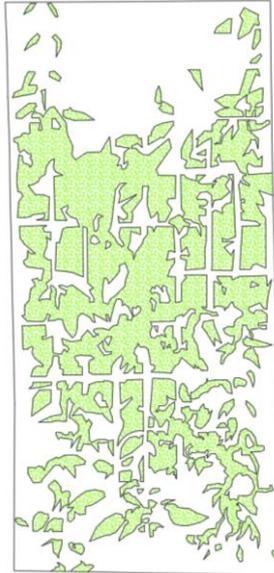
PCV: 21,32%

ABRIL/18



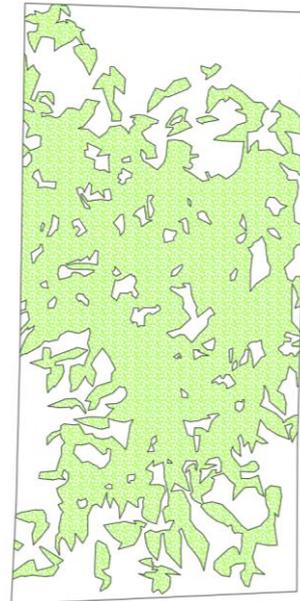
PCV: 32,25%

MAIO/18



PCV: 38,96%

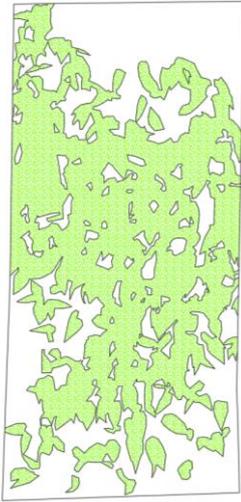
JUNHO/18



PCV: 55,56%

***Thunbergia grandiflora***

**JULHO/18**



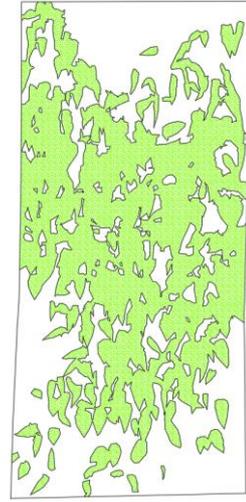
**PCV: 54,43%**

**AGOSTO/18**



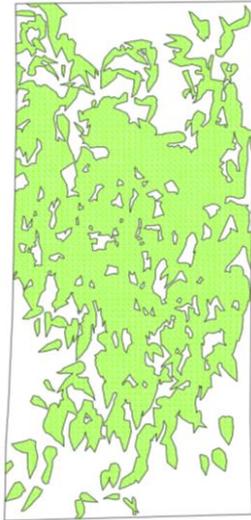
**PCV: 52,21%**

**SETEMBRO/18**



**PCV: 50,51%**

**OUTUBRO/18**



**PCV: 52,91%**

**NOVEMBRO/18**



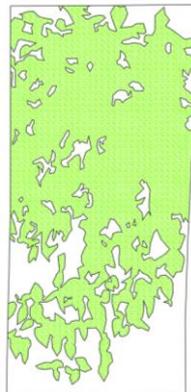
**PCV: 58,58%**

**DEZEMBRO/18**



**PCV: 60,93%**

**JANEIRO/19**



**PCV: 65,08%**

<b>MÊS/ANO</b>	<b>ESPESSURA FOLIAR PARA CADA ESPÉCIE</b>		
	<i>Passiflora edulis</i>	<i>Ipomoea horrfalliae</i>	<i>Thunbergia grandiflora</i>
<b>JUNHO/18</b>	70 cm	58 cm	45 cm
<b>JULHO/18</b>	90 cm	70 cm	55 cm
<b>AGOSTO/18</b>	88 cm	65 cm	60 cm
<b>SETEMBRO/18</b>	90 cm	77 cm	50 cm
<b>OUTUBRO/18</b>	80 cm	60 cm	40 cm
<b>NOVEMBRO/18</b>	100 cm	83 cm	40 cm
<b>DEZEMBRO/18</b>	110 cm	110 cm	40 cm
<b>JANEIRO/19</b>	120 cm	87 cm	70 cm
<b>FEVEREIRO/19</b>	110 cm	100 cm	75 cm

**APÊNDICE C – VALORES DE RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E PROTEGIDA  
PARA AMBAS AS CONDIÇÕES DE TEMPO ESTUDADAS**

RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE E PROTEGIDA (W/M <sup>2</sup> ) – TEMPO FRIO											
HORA	ESPÉCIE	INTERNA					EXTERNA				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
12H00	MARACUJÁ	17,5	19,4	32,2	59,1	48	734,6	653,9	826,2	484,7	705,8
	IPOMEA	15	16,13	20,56	39,8	45	816,8	612	671,8	827	766,8
	THUNBERGIA	18,3	22,1	27,5	47,6	46,6	738,1	808,3	739,9	703,1	768,5
12H30	MARACUJÁ	21,3	23,5	40,8	68,6	55,6	613,8	772,3	773,5	504,9	610,2
	IPOMEA	17,7	25,2	31	48,4	57,3	780	706,3	813,5	581,9	920,6
	THUNBERGIA	26,5	29,3	39,1	55,5	64,4	581,4	716,1	675,1	595,4	946
13H00	MARACUJÁ	33,5	41,8	55,2	76,1	67,3	863,3	854,7	878,7	734,1	930,3
	IPOMEA	28,1	41,7	41,8	59,6	77,4	897,2	821,2	844,1	949,8	944,5
	THUNBERGIA	47,2	53,8	83,5	73,2	558,8	894	846	903,4	957,5	917,4
13H30	MARACUJÁ	45,4	59,9	74,6	86,2	81,8	898,8	910,4	873,4	887,4	962,2
	IPOMEA	44,8	71,3	60	66,5	89,9	882,3	919,4	604	959,2	916,7
	THUNBERGIA	408,5	335,1	86,5	78,8	577,9	906,1	936	857,4	912,6	889,7
14H00	MARACUJÁ	117,4	204,1	83,3	181,4	90,3	877,7	912,7	850,6	784,5	905,1
	IPOMEA	278,9	325,1	61,7	70,3	96	862,1	904,9	864,7	929,8	869,8
	THUNBERGIA	785,6	735	94,1	89,1	725	811	877,6	806,3	931,9	669
14H30	MARACUJÁ	281,8	248,4	88,5	229,4	98	801,2	776	762,8	830,7	929,4
	IPOMEA	140,6	391,9	66	81	99,4	777,1	808,1	760,9	833,4	839,6
	THUNBERGIA	370,7	655,3	92,2	113,1	636	778,1	696,9	705,6	867,6	814,9
15H00	MARACUJÁ	202,8	361,2	219,2	367,4	107,1	672,8	672	600,6	836,7	762,7
	IPOMEA	54,5	114,6	62	81,2	98	785,1	650,9	716,7	631,2	838,5
	THUNBERGIA	558,6	343,9	96,6	167,8	529,4	681,9	816,2	674,6	705,3	747,2
15H30	MARACUJÁ	57,1	92,4	91,1	445,1	268,6	720,4	695,7	651,3	699,5	651,9
	IPOMEA	66,3	254,2	69	83,3	125,3	755,3	677,3	704	600,7	550,2
	THUNBERGIA	331,1	477,2	71,6	188,9	430,6	600,5	553,5	599,3	556,6	572,1
16H00	MARACUJÁ	82,1	270,5	259,7	419,2	580,3	641	671,5	591	694,2	733,4
	IPOMEA	54,2	131,4	67,1	177,5	331,3	626,9	590,9	568,5	651,9	657
	THUNBERGIA	421,7	389,3	84,4	295,6	314,3	590	556,3	577	517,9	528,7
16H30	MARACUJÁ	54,9	146,8	72,9	45,4	52,9	525	592,7	555	43,9	39,6
	IPOMEA	52,8	117,4	65	35,8	39,7	593,4	529,4	574,1	36,3	38,1
	THUNBERGIA	257,1	298,1	73,6	29,7	28,5	586,3	557,4	534,8	31,6	29,3
17H00	MARACUJÁ	17,1	28,9	13,7	10,3	11,9	29,2	30,1	23,6	15,1	13,5
	IPOMEA	19,9	21,3	12	8,2	9,7	28,9	27,7	19,7	14	13,8
	THUNBERGIA	17,1	15,3	9,3	8,6	11	27	24,2	20,9	13,6	12,3
17H30	MARACUJÁ	0,7	4,2	3,3	1,7	5,2	12,3	13,2	11,5	7	7,1
	IPOMEA	1,1	2,3	0,6	1,3	1,7	12,9	13,2	10,7	7,5	7,2
	THUNBERGIA	4,7	5,2	1,8	2,3	3,5	12,3	11,3	9,8	7,2	6,2
18H00	MARACUJÁ	0,3	0,2	0,4	0,6	0,5	4,3	3,9	3,7	14,5	2,4
	IPOMEA	0,3	0,5	0,2	0,4	0,4	4,2	4,2	3,7	2,3	2,2
	THUNBERGIA	0,9	1	0,2	0,2	1,2	3,8	3,6	3,1	1,9	2,1

RADIÇÃO SOLAR INCIDENTE E PROTEGIDA (W/M <sup>2</sup> ) - TEMPO QUENTE											
HORA	ESPÉCIE	INTERNA					EXTERNA				
		P1	P2	P3	P4	P5	P1	P2	P3	P4	P5
13H00	MARACUJÁ	21,1	15,5	21,5	56,8	37,6	607,8	586,6	677	185,1	78,3
	IPOMEA	12,8	21,3	15,7	31,6	40	535,9	568,9	907,3	96,4	99,4
	THUNBERGIA	26,0	27,4	36,8	50,5	81,1	609,3	648,9	602,6	82,2	75,9
13H30	MARACUJÁ	30,5	29	38,4	88,7	61,7	1110,3	1027	807,7	225	94,4
	IPOMEA	23,6	31,7	30,7	49,3	58,1	1033,4	948,8	1015,4	154,6	116
	THUNBERGIA	38,4	46,8	44,6	79,2	84,7	1062	1010,6	766,1	119,7	103,1
14H00	MARACUJÁ	27,3	28,2	32	73,1	54,6	761,1	770	710,6	643,2	381,7
	IPOMEA	26,5	55,5	22,5	36,2	45,3	738,2	718,7	756,4	394,4	112,4
	THUNBERGIA	59,4	65,7	61,9	83,1	90	851,0	988,3	949,6	928,5	769
14H30	MARACUJÁ	46,8	49,1	79,7	106,2	72	996,2	922,1	944,3	831,6	828,1
	IPOMEA	55,1	57	41,5	60,8	72,7	996,9	988,5	1024,7	952,9	404
	THUNBERGIA	54,4	125,4	65,9	99,7	153,8	1035,3	990,5	1054	1007,8	1004,9
15H00	MARACUJÁ	41,5	28,8	40,1	90,5	65,7	449,7	451,1	779,6	647,8	684,7
	IPOMEA	52,1	50,9	36,2	55,3	77,5	852,5	870,4	813,8	598,5	571,6
	THUNBERGIA	94,5	100,4	81,1	102	93,9	1034,4	1035	764,6	663,8	638,4
15H30	MARACUJÁ	100,3	89,4	73,3	131,2	94,5	1010,6	987	996,2	951,1	935,9
	IPOMEA	84,2	125,6	59,2	84,7	92,4	1038	999,8	1035	983	987,7
	THUNBERGIA	101	296,7	102,5	177,7	119,9	980,7	989,4	1026,7	988,1	914,5
16H00	MARACUJÁ	74,1	63,3	52	108,3	69	669,4	682,1	674,4	629,8	690,2
	IPOMEA	69,4	72	38,8	62,3	66,3	712,9	723,3	719,1	673,6	671,4
	THUNBERGIA	70,8	77,6	65,2	88,9	111,7	726,1	721,3	713,8	634,5	644,2
16H30	MARACUJÁ	83,6	82,6	53,4	110,4	83,3	692,6	661,9	700,6	649,5	627,5
	IPOMEA	51,9	68,4	45,4	68,4	74,3	697,3	693,7	695,0	666,7	622,1
	THUNBERGIA	73,1	82,9	73,9	304,6	94,7	693,9	676,5	691,9	620,4	630,6
17H00	MARACUJÁ	90,5	77,6	83	141,4	244,5	932,4	926,5	901,3	899,1	815
	IPOMEA	71,8	79,8	57,1	96,9	104,3	933,7	935,3	933,8	885,8	826,9
	THUNBERGIA	101,2	98,4	115,6	368,3	115,6	943,7	914,7	911,9	888,1	934,2
17H30	MARACUJÁ	49,9	57,8	57,7	109,2	97,2	685,9	685,2	724	720,1	734,9
	IPOMEA	69,5	70,8	57,2	89,7	58,2	874,1	911	923,6	846,5	141,5
	THUNBERGIA	70,9	77,6	92,6	523,4	142,1	903	882,7	887,8	861	874,1
18H00	MARACUJÁ	71,6	58,7	65,9	106,1	86,2	650,2	603,5	621,5	579,3	554,5
	IPOMEA	55,5	66,6	57,6	87,8	68,5	651,6	649,4	649,3	523,6	559,8
	THUNBERGIA	86,1	81,7	100,1	300,7	125,7	678,7	680	656,3	584,8	539
18H30	MARACUJÁ	89,5	52,4	44,1	77,6	33	493,4	533,2	317,8	83,1	78,3
	IPOMEA	30,5	28	19,3	15,8	17	502,7	439,4	373,1	82,8	75,8
	THUNBERGIA	23,8	38,5	30,7	23,8	32,2	300,2	528,7	393,9	73,5	74,1
19H00	MARACUJÁ	11,2	15,5	12,1	21,6	17,3	110,5	111,7	66,7	47,6	47
	IPOMEA	14,8	19,3	10,3	10,1	12,3	114	132,4	65,2	43,7	42,4
	THUNBERGIA	17,8	21,7	16,6	19,6	27	75,3	71,7	66,2	45,3	44