

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Anelise Jung Reis

**ÍNDICE DE SOMBREAMENTO DA *WISTERIA FLORIBUNDA*
USADA EM UM SISTEMA DE FACHADA VERDE**

Santa Maria, RS
2022

Anelise Jung Reis

**ÍNDICE DE SOMBREAMENTO DA *WISTERIA FLORIBUNDA*
USADA EM UM SISTEMA DE FACHADA VERDE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do Título de **Engenheira Sanitarista e Ambiental**.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Rutineia Tassi

Santa Maria, RS
2022

Anelise Jung Reis

**ÍNDICE DE SOMBREAMENTO DA *WISTERIA FLORIBUNDA*
USADA EM UM SISTEMA DE FACHADA VERDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Engenheira Sanitarista e Ambiental.**

Aprovado em 16 de agosto de 2022:

Rutineia Tassi, Prof^a. Dr^a. (UFSM)
(Presidente/ Orientadora)

Elaise Gabriel, Msc. Engenheira Civil (UFSM)

Tiago Liberalesso, Msc. Engenheiro Ambiental e Sanitarista (IST/ULISBOA)

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

A minha família, que me deram todo o suporte e incentivo necessário para que eu pudesse chegar até aqui, sempre me apoiando e tornando meus estudos possíveis.

A meu namorado, Guilherme, que esteve presente nos últimos semestres do curso e mesmo de longe me deu todo apoio emocional possível, tornando a reta final do curso mais leve.

As minhas amigas e amigos, que por muitos momentos foram família, aconchego, diversão e apoio incondicional dos quais sou imensamente grata.

A minha orientadora, Prof^a Rutineia, por todo auxílio, compreensão, orientação e conhecimentos transmitidos a mim na etapa final da graduação, agradeço por todo tempo dedicado a me orientar.

Ao grupo de pesquisa em Modelagem Hidroambiental e Ecotecnologias por todo apoio e auxílio na minha pesquisa.

Aos demais professores do curso de Engenharia Sanitária e Ambiental por todo o ensino de excelência e a Universidade Federal de Santa Maria por ter me propiciado este ambiente de qualidade para realizar meus estudos.

RESUMO

ÍNDICE DE SOMBREAMENTO DA *WISTERIA FLORIBUNDA* USADA EM UM SISTEMA DE FACHADA VERDE

AUTOR: Anelise Jung Reis
ORIENTADORA: Prof^a. Dr^a. Rutineia Tassi

Fachadas verdes são soluções alternativas que promovem o sombreamento de partes ou da totalidade de uma edificação por meio da utilização de plantas específicas aptas para tal uso. As fachadas verdes podem aumentar o isolamento térmico e acústico, bem como, contribuir para a mitigação das ilhas de calor urbano. Nesse sentido, a utilização de fachadas verdes constitui uma importante estratégia para reduzir as demandas energéticas dos sistemas de refrigeração, melhorando o desempenho térmico e energético dos edifícios, além de contribuir para aumentar a resiliência urbana em face as mudanças climáticas globais. Este trabalho de conclusão de curso, teve como objetivo avaliar o índice de sombreamento (IS) de uma fachada verde instalada na face oeste de uma edificação popular experimental e vegetada com *Wisteria floribunda* (Glicínia). Por meio de um monitoramento fotográfico mensal ao longo de um ano, avaliou-se o IS e as consequentes interferências na temperatura da superfície da parede influenciada pela vegetação. Os resultados mostram um IS máximo de 99.71% durante o verão, época em que a planta apresenta maior desenvolvimento vegetativo. Como esperado, o IS durante os meses de outono e inverno reduziu significativamente, até valores próximos a zero. A partir da análise dos dados térmicos observou-se que a máxima diferença entre a temperatura do ar e a temperatura da fachada externa ocorreu no verão, quando para o dia representativo de máxima e mínima temperatura registrou uma amplitude de 15 °C e 13.25 °C, respectivamente. A magnitude da diferença entre as temperaturas atingidas na face externa e interna da parede foram menores, mostrando a eficiência da fachada verde; a maior magnitude da diferença para o dia de máxima temperatura ocorreu no inverno (3.45 °C), enquanto que para o dia de mínima temperatura ocorreu no verão (4.1 °C). O IS se mostrou bastante efetivo para explicar o papel da vegetação na temperatura da fachada externa, especialmente para os dias das estações quentes (comprovado a partir da análise da ΔT_{af}). Já para a possível relação entre o IS e da diferença de temperatura das fachadas internas e externas não foi conclusiva, em função do fluxo de calor que pode ocorrer na parede da edificação que não é totalmente sombreada pela fachada verde. Estes resultados demonstram o potencial do sombreamento da fachada verde na redução das cargas térmicas locais de uma edificação, principalmente no verão.

Palavras-chaves: *Wisteria floribunda* (Glicínia). Fachada verde. Índice de sombreamento.

ABSTRACT

SHADE INDEX OF *WISTERIA FLORIBUNDA* USED IN A GREEN FACADE SYSTEM

AUTHOR: Anelise Jung Reis

ADVISOR: Rutineia Tassi

Green facades are alternative solutions that promote the shading of parts or the entirety of a building through the use of specific plants suitable for such use. Green facades can increase thermal and acoustic insulation, as well as contribute to the mitigation of urban heat islands. In this sense, the use of green facades is an important strategy to reduce the energy demands of refrigeration systems, improving the thermal and energy performance of buildings, in addition to contributing to increase urban resilience in the face of global climate change. This course conclusion work aimed to evaluate the shading index (SI) of a green facade installed on the west side of a popular experimental building vegetated with *Wisteria floribunda*. Through a monthly photographic monitoring over a year, the SI and the consequent interferences in the surface temperature of the external face of the wall influenced by the vegetation were evaluated. The results show a maximum IS of 99.71% during the summer, when the plant presents greater vegetative development. As expected, the SI during the autumn and winter months reduced significantly, to values close to zero. From the analysis of the thermal data, it was observed that the maximum difference between the air temperature and the temperature of the external facade occurred in the summer, when for the representative day of maximum and minimum temperature recorded an amplitude of 15 °C and 13.25 °C, respectively. The magnitude of the difference between the temperatures reached on the external and internal face of the wall were smaller, showing the efficiency of the green facade; the greatest magnitude of the difference for the day of maximum temperature occurred in winter (3.45 °C), while for the day of minimum temperature it occurred in summer (4.1 °C). The IS proved to be very effective in explaining the role of vegetation in the temperature of the external facade, especially for the days of the hot seasons (proved from the analysis of ΔT_{af}). As for the possible relationship between the IS and the temperature difference of the internal and external facades, it was not conclusive, due to the heat flow that can occur on the wall of the building that is not completely shaded by the green facade. These results demonstrate the potential of shading the green facade to reduce the local thermal loads of a building, especially in summer.

Keywords: *Wisteria floribunda*. Green facades. Leaf area index.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
1.1	OBJETIVOS	9
1.1.1	Objetivo geral	9
1.1.2	Objetivos específicos.....	9
2	REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1	FACHADAS VERDES.....	10
2.2	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E SOMBREAMENTO EM FACHADA VERDE..	13
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3.1	CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO.....	20
3.2	MONITORAMENTO.....	23
3.3	TRATAMENTO DE DADOS	26
3.3.1	Determinação do índice de sombreamento (IS)	26
3.3.2	Análise de dados de temperatura.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	ÍNDICE DE SOMBREAMENTO	32
4.2	ANÁLISE DAS TEMPERATURAS PARA OS DIAS REPRESENTATIVOS .	34
4.2.1	Monitoramento fotográfico infravermelho	43
5	CONCLUSÃO.....	46
	REFERÊNCIAS.....	47
	APÊNDICE A – RESULTADOS DA POLIGONIZAÇÃO DO 1M² DAS IMAGENS...	53

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção enfrenta atualmente grandes desafios para reduzir seus impactos ambientais e alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável, entre os desafios, estão a redução da produção de resíduos e do consumo de materiais, destacando-se a necessidade de reduzir o consumo de energia (COMA, et al., 2019).

A integração da vegetação na fachada do edifício é uma estratégia interessante, alinhada aos princípios de sustentabilidade e eficiência energética, de importância evidente (SILVEIRA, 2019; SORTE, 2016). As fachadas verdes promovem o sombreamento da edificação, com ganhos efetivos no conforto térmico, no isolamento acústico, e na proteção dos materiais internos (MORELLI, LABAKI, 2009); além disso, podem causar melhoria do valor estético da edificação, atuar na redução do efeito de ilha de calor urbano, promover a captação de CO_2 e poluentes, além de serem uma nova forma de aumentar exponencialmente a biomassa vegetal urbana e, paralelamente, proporcionar um valioso ganho na percepção e qualidade ambiental (LABAKI 2009.; PÉREZ, et al., 2017).

Devido à presença da vegetação na fachada verde, há redução da incidência direta da radiação solar, o que pode melhorar o desempenho térmico do edifício através de quatro mecanismos: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento evaporativo (MUNÓZ et al., 2019; PÉREZ et al., 2011; HUNTER et al., 2014; SUSOROVA, 2015; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018). Esses mecanismos são fortemente dependentes do tipo VGS, tipo de vegetação, estágio do desenvolvimento da planta, época do ano, manutenção, entre outros fatores.

No caso do uso de plantas trepadeiras decíduas em fachadas verdes, a variação sazonal de seu efeito de sombreamento é uma forma de explicar o seu efeito dinâmico no desempenho térmico da edificação (LP; LAM; MILLER, 2010). Assim o índice de sombreamento pode fornecer importantes indicativos do benefício desempenhado pelas fachadas verdes. Nesse trabalho, buscou-se um melhor entendimento dos potenciais benefícios das fachadas verdes sobre o desempenho térmico nas edificações, por meio da análise do efeito de sombreamento em longo prazo, especialmente quando o sistema de fachada verde emprega uma vegetação caducifólia, cuja cobertura foliar tende a apresentar alta variabilidade ao longo das estações climáticas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Determinar o índice de sombreamento de uma fachada verde composta pela espécie *Wisteria floribunda* (Glicínia) ao longo de um ano, e avaliar sua influência na temperatura da parede da edificação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar os índices de sombreamento da fachada verde, em diferentes fases fenológicas da vegetação durante as quatro estações do ano;
- Determinar a diferença de temperatura entre as paredes internas e externas da edificação;
- Identificar possíveis correlações entre índice de sombreamento da fachada verde com a temperatura das paredes interna e externa da edificação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Como embasamento para a produção deste trabalho, o referencial teórico se estrutura em 2 principais seções. No item 2.1 são descritas as características, tipos, funções e estudos sobre as fachadas verdes; no item 2.2 é debatido o entendimento sobre as vegetações utilizadas e o índice de área foliar, como outros pesquisadores avaliaram esse índice em suas pesquisas; e o efeito de sombreamento das fachadas verdes.

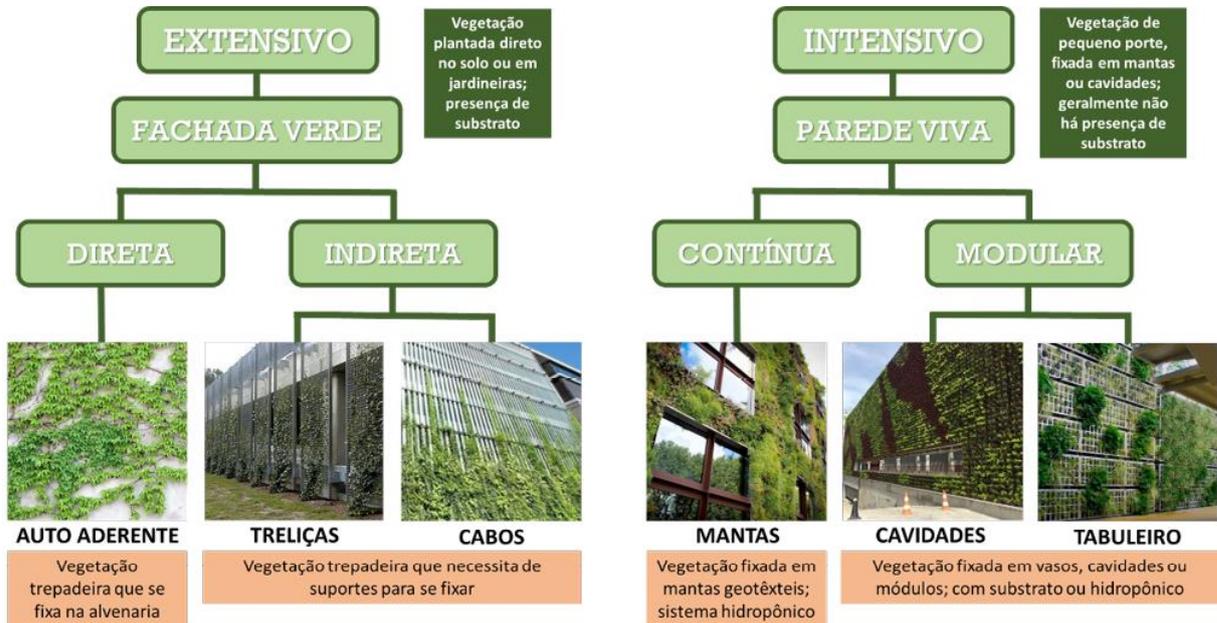
2.1 FACHADAS VERDES

Diversos tipos de coberturas com vegetação em paredes acabam sendo identificados com classificações e denominações diferenciadas (SCHERER, 2014). Neste estudo será utilizado o termo “jardim vertical” como designação genérica para todos os tipos de sistemas de fachadas com vegetação, indo ao encontro do conceito utilizado por autores como Barbosa e Fontes (2016), Scherer (2014), Pérez et al. (2011) e Sharp et al. (2008).

Os jardins verticais permitem a integração entre a construção e natureza, trazem benefícios ambientais, sociais e econômicos, como a diminuição dos efeitos das ilhas de calor urbanas (PERINI; OTTELÉ, 2014; MUNÓZ et al., 2019), a melhoria do desempenho térmico e a economia energética da edificação (PÉREZ et al., 2014; SAFIKHANI et al., 2014; RAZZAGHMANESH; RAZZAGHMANESH, 2017).

Os jardins verticais podem ser tratados como o revestimento de arranjos verticais ou fachadas, com vegetação trepadeira ou de pequeno porte, onde as raízes da vegetação estão em contato direto com o solo, ou com substrato disposto em outras infraestruturas de apoio, como cavidades ou floreiras (DUNNETT; KINGSBURY, 2004), podendo ainda ter diferentes tipologias. Barbosa e Fontes (2016), reuniram informações e estudos disponíveis na bibliografia, e sugerem uma classificação a partir de uma adaptação de Manso e Castro-Gomes (2015) para os modelos e técnicas aplicados nos jardins verticais. Scherer; Alves e Redín (2018) e Pérez et al (2011) também fazem uso dessa classificação adaptada e proposta por Barbosa e Fontes, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Classificação dos sistemas de jardim vertical quanto à técnica construtiva



Fonte: (SCHERER; ALVES; REDÍN, 2018).

A classificação proposta por Scherer et al. (2018) divide os jardins verticais em dois grupos principais: extensivos e intensivo. Os sistemas extensivos, também chamados de “Fachada verde” (termo em inglês *green façade*) referem-se ao revestimento de alvenarias ou outras estruturas verticais, por meio de vegetação auto aderente ou com auxílio de suportes (DUNNETT; KINGSBURY, 2004). O desenvolvimento da vegetação verticalmente, ao longo da parede pode se dar de forma direta, onde a vegetação utiliza a própria parede como elemento suporte, ou podem ser utilizados sistemas indiretos, com estruturas auxiliares (treliças, cabos, etc.) que são fixados junto às paredes da edificação (MANSO, CASTRO-GOMES, 2015; PÉREZ et al., 2011). Nestes sistemas, a vegetação é composta por plantas trepadeiras cultivadas diretamente no solo ou em jardineiras. A necessidade de manutenção é baixa, assim como os custos relacionados a instalação e manutenção.

De acordo com Scherer, Alves e Redín (2018), as fachadas verdes diretas são a forma mais tradicional e natural, já que a vegetação se adere diretamente à parede da construção. Nesse caso, geralmente a vegetação é plantada diretamente no solo. Os maiores cuidados estão relacionados à manutenção em relação a poda, para evitar o crescimento excessivo. Neste tipo de sistema, as espécies vegetais mais

comumente utilizadas são a *Parthenocissus tricuspidata* (hera japonesa ou falsa-vinha), *Hedera helix* (hera-inglesa) e a *Ficus pumila* (unha-de-gato ou falsa-hera).

No caso das fachadas verdes indiretas, a vegetação cresce com auxílio de suportes afastados da parede, que podem estar na frente de aberturas ou janelas, atuando também como elemento de controle solar junto às esquadrias. Neste sistema, a vegetação pode estar diretamente no solo ou em floreiras, sendo que o último caso requer um maior cuidado quanto à nutrição e irrigação, além da poda, necessária para controlar o crescimento da planta e direcionar a planta em toda área destinada a fachada. Espécies vegetais como a *Lonicera japonica* (madressilva), *Wisteria floribunda* (Glicínia), *Thunbergia grandiflora* (tumbérgia-azul) são bastante utilizadas no sul do Brasil (SCHERER; ALVES; REDÍN, 2018). O sistema de fachada verde indireta pode ainda ser combinado com canteiro de floreiras em diferentes níveis de altura da fachada (PERINI et al., 2011; SCHERER; ALVES; REDÍN, 2018).

Por outro lado, os jardins verticais intensivos são sistemas mais complexos, compostos por compartimentos fixados a parede, podendo ser contínuos ou modulares. O tipo de vegetação é variado, e as necessidades de manutenção também são maiores, assim como os custos relacionados à instalação, operação e manutenção do sistema. Em geral, a vegetação neste sistema é de pequeno porte, e é fixada em mantas ou cavidades. São frequentemente tratados como elementos estéticos nas fachadas ou em ambientes internos, uma vez que a combinação de diferentes espécies com variados tons de folhagem e floração causam um efeito visual impactante. As espécies adequadas dependem de cada clima, mas geralmente são de pequeno porte, como folhagens, bromélias, samambaias, suculentas, etc. (SCHERER; ALVES; REDÍN, 2018).

Segundo Scherer; Alves e Redín (2018), no jardim vertical intensivo contínuo a vegetação está geralmente fixada em uma manta geotêxtil que cobre a fachada do prédio, e é ligada através de estruturas metálicas.

2.2 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E SOMBREAMENTO EM FACHADA VERDE

A vegetação exerce um papel importante na regulação térmica dos edifícios, já que protegem a edificação da radiação solar direta. De acordo com Papadakis; Tsamis e Kyritsis (2001), a vegetação nas fachadas verdes funciona como um método de controle solar passivo, podendo reduzir a temperatura da superfície de edifícios, uma vez que as folhas impedem a incidência da radiação solar direta na fachada, e a evapotranspiração das plantas tem poder de resfriamento ao redor das mesmas. Assim, independentemente da tipologia da fachada verde, elas são capazes de aumentar o desempenho térmico da edificação através de quatro meios: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento pela evaporação (PÉREZ et al., 2011; HUNTER et al., 2014; SUSOROVA, 2015; WONG; BALDWIN, 2016; BESIR; CUCE, 2018; MUNÓZ, et al., 2019).

O sombreamento e o isolamento térmico fazem com que a vegetação e o ar presente entre a parede e a planta reduzam a radiação solar direta, reduzindo a transferência de calor na fachada da edificação. (WONG et al., 2010; PÉREZ et al., 2011; HUNTER et al., 2014; WONG; BALDWIN, 2016; MUNÓZ, et al., 2019). A estrutura da fachada verde também atua como barreira contra o vento, e a vegetação diminui as trocas térmicas por convecção (SUSOROVA; AZIMI; STEPHENS, 2014) e, por meio da evapotranspiração, a vegetação usa o calor sensível para evaporação da água do solo e da superfície das folhas, gerando um aumento na umidade do entorno (WONG et al., 2010; SUNAKORN; YIMPRAYOON, 2011).

A escolha do tipo apropriado de planta afetará o desempenho do sistema (CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2017), já que diferentes tipos de plantas têm particularidades diferentes, incluindo características da planta, que regularão a quantidade de radiação solar absorvida, refletida e transmitida (FORBES; WATSON, 1992), índice de área foliar, altura da folhagem e albedo (SAADATIAN, et al., 2013; MONTEIRO et al., 2016). A seleção do tipo de plantas para um sistema de fachadas verdes, deve considerar as condições climáticas ideais, as características de construção, a viabilidade de execução e manutenção, entre outros (SCHERER, 2014). Além disso, a escolha da planta também depende de outros fatores, como efeito visual desejado, disponibilidade de espécies vegetais na região, e a necessidade de um sistema de irrigação (DAHANAYAKE, CHOW, HOU, 2017).

Dentre as plantas trepadeiras comumente utilizadas em fachadas verdes, um importante atributo da folhagem deve ser observado: folhas perenes ou caducifólias. As plantas perenes mantêm suas folhas durante todo o ano, enquanto as plantas caducifólias perdem suas folhas no inverno (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). As espécies perenes, além de criarem uma camada isolante de ar, também protegem a edificação do vento frio de inverno. As espécies caducifólias têm alta variabilidade na quantidade de folhas, o que afeta o sombreamento e índice de área foliar (GAIDA et al., 2016); assim, no verão, a vegetação caducifólia auxilia no sombreamento, enquanto que no inverno a queda das folhas permite a absorção dos raios solares (CANTUÁRIA, 1995).

Dunnet e Kingsbury (2004) sugerem que para regiões climáticas onde o inverno apresenta baixas temperaturas é preferível se utilizar plantas caducifólias na fachada com maior incidência de raios solares, e uma planta perene nas fachadas sem incidência. Assim, é permitindo um maior ganho térmico por meio da fachada que ficará ensolarada em razão da queda das folhas, e se evita a perda de calor nas fachadas verdes com folhas perenes (SCHERER, 2014).

Uma das formas de avaliar o efeito da folhagem da vegetação sobre o sombreamento das paredes é uso do índice de área foliar (IAF). O IAF é um indicador que descreve a relação entre a área foliar e a área de superfície, podendo representar também uma relação entre a área foliar e os metros quadrados de fachada (WOLTER; DIEBEL; SCHROEDER, 2009). Este índice é amplamente utilizado na agricultura e silvicultura para estimar o crescimento e o rendimento das culturas, bem como os balanços de massa (biomassa), água e energia nos ecossistemas florestais (WATSON, 1947; LANG; YUEQIN; NORMAN, 1985). É um valor adimensional entre zero e dez, utilizado para definir as características de uma camada de vegetação (COMA et al., 2017). À medida em que o valor do índice de área foliar aumenta, a transferência de radiação solar para a edificação sofre uma redução, devido a ação do sombreamento, o que indica o desempenho térmico das fachadas verdes (WONG et al., 2009), o que caba sendo um indicador direto do desempenho térmico das fachadas verdes (MONTANARI; LABAKI, 2017; PÉREZ et al., 2011).

O índice de área foliar e a distribuição do ângulo foliar (posição angular das folhas) são parâmetros importantes que afetam o efeito de sombreamento em um sistema de fachada verde. A determinação mais confiável (método direto) do IAF implica na coleta manual e posterior medição individual de todas as folhas em um

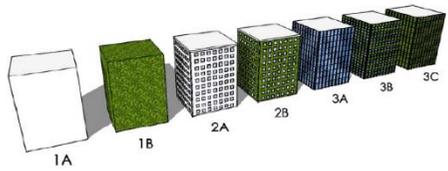
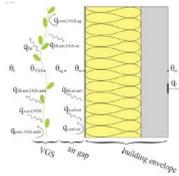
metro quadrado de planta sendo, portanto, um método destrutivo (JONCKHEERE, ET AL., 2004). Desta forma, métodos indiretos, não destrutivos, de determinação do IAF envolvem principalmente fotografia hemisférica ou estimativas fundamentadas (OOSTERLEE, 2013). Ainda segundo Oosterlee (2013), determinar um valor absoluto para o IAF será demorado, sofisticado e dará apenas um resultado temporário, pois é provável que a mudança da folhagem ocorra ao longo do tempo; assim, o IAF deve ser considerado como um valor médio.

Embora o IAF seja um parâmetro chave para caracterizar a densidade foliar e, conseqüentemente o comportamento térmico das fachadas verdes, verifica-se uma grande carência de valores de referência deste parâmetro e, também de uma metodologia consolidada e adequada para medir o IAF. O Quadro 1 mostra trabalhos de alguns autores que buscaram a determinação do IAF para diferentes vegetações de fachadas verdes.

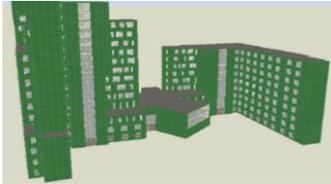
Assim, nota-se grande variabilidade nos valores de IAF, que dependem do tipo da vegetação, do método empregado para sua determinação, do clima, estágio de desenvolvimento, entre outros, e que podem afetar análises de desempenho térmico de fachadas verdes, especialmente em processos de modelagem. Portanto, a determinação de valores mais confiáveis de IAF para diferentes plantas, em diferentes climas, permite uma melhor análise de efeito de fachadas verdes na economia de energia nas edificações (PÉREZ et al., 2017).

Quadro 1 – Índices de área foliar em fachadas verdes em diferentes estudos

(continua)

Nº	Autores, ano	País	Clima (autores)	Período estudado	Espécie	Sistema	Método	IAF	SFV
1	Pérez et al. (2022)	Espanha	Mediterrâneo continental (Csa)*	Todo o ano	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	FVIPD	Inversão de radiação fotos sinteticamente ativa (PAR)	0.9-4.8	
2	C. Li, J. Wei, C. Li (2019)	China	Subtropical de monções	Verão	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	FVD	LAI-2000	1.21, 3.32 e 4.53	
3	Wong et al. (2019)	Malásia	Tropical	-	-	FVD	Relação entre coeficiente de sombreamento e IAF	0.4-2.5	
4	Lee LSH e Jim CY (2019)	China	Subtropical úmido influenciado pelas monções (Cwa)*	Verão	<i>Lonicera japonica</i>	FVI	Método destrutivo colheita isolada da folha	0.24	
5	Suklje T. et al. (2019)	Eslovênia	-	Verão	<i>Phaseolus vulgariseu</i>	FVI	Dez medições isoladas usando Li-Cor LAI 2200	6.1–7.2	

(continuação)

Nº	Autores, ano	País	Clima (autores)	Período estudado	Espécie	Sistema	Método	IAF	SFV
6	Vox, G., Blanco, I., & Schettini, E.(2017)	Itália	Mediterrâneo (Csa)	Todo o ano	<i>Rhynchospermum Jasminoides</i>	FVI	Ceptômetro AccuPAR PAR/LAI (modelo LP-80, Decagon Devices Inc., Pullman, WA, EUA)	2-4	
7	Poddar S et al. (2018).	Coréia do Sul	Clima temperado (marítimo temperado) *	Todo o ano	<i>Pandorea jasminoides</i>	FVD	Adaptado de um estudo anterior de Pitman e Broadmeadow, 2001 540 medições em três orientações e três níveis usando o PAR Sunfleck Ceptometer	1.5-3.5	
					<i>Hereda helix</i>			3.66 (primavera); 2.78 (verão); 4.29 (Outono); 3.72 (Inverno)	
8	Pérez et al. (2017)	Espanha	Mediterrâneo Continental (Csa)*	Todo o ano	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	FVIPD	Medidas in situ de PAR usando um ceptômetro	3.5-4	

(conclusão)

Nº	Autores, ano	País	Clima (autores)	Período estudado	Espécie	Sistema	Método	IAF	SFV
9	Oosterlee, JÁ (2013)	Holanda	Clima temperado	Verão e Inverno	-	FVD	LAI-2000, software HAMBASE	0.5-2.5	
10	Susurova et al. (2013)	EUA	Dfa	Verão	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	FVD	Não medido, extraído da bibliografia (Sinbank WC, 1968)	0-5	

Legenda: FVD – Fachada verde direta; FVI – Fachada verde indireta; FVIPD – Fachada verde indireta pele dupla; SFV – Sistema de Fachada Verde; * Com base na classificação de Köppen-Geiger Fonte: (Autora, 2022).

Wong et al. (2009) realizaram uma pesquisa de simulação sobre os efeitos dos sistemas de fachada verde na temperatura e no consumo de energia de edifícios em Singapura. Para isso, os autores buscaram estabelecer uma correlação entre o IAF e a razão de sombreamento (a razão da radiação solar abaixo da planta e a parede nua) com base em medições realizadas em oito VGS. Os autores verificaram uma correlação positiva entre o sombreamento e o IAF, e uma correlação negativa entre o sombreamento e o aquecimento da parede, embora destaquem que essas conclusões não podem ser generalizadas nem consideradas conclusivas, pois foram realizadas poucas medições e foram feitas em sistemas construtivos diferentes, alguns deles eram fachadas verdes e outros eram paredes vivas.

Com a utilização da *Hedera Helix* (Hera) verificou diferenças de até -3°C na temperatura interna da edificação durante o inverno. De acordo com Wong et al. (2010), introduzir o isolamento da parede externa por meio do uso de uma fachada verde, por exemplo, é mais eficaz que colocar isolamento da parede interior, especialmente durante os meses de verão, já que a fachada verde atua com duplo efeito, é capaz de reduzir a entrada de energia solar no interior através do sombreamento e de reduzir o fluxo de calor para o edifício através do resfriamento evaporativo, aumentando assim a economia de energia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo se baseia em registros térmicos e fotográficos de uma fachada verde, vegetada com *Wisteria floribunda*. O monitoramento foi realizado durante um período de doze meses, abrangendo, assim, todas as fases fenológicas da planta durante as quatro estações do ano.

Com base nos dados obtidos, foi possível avaliar o desenvolvimento da vegetação e os respectivos índices de sombreamento (IS), bem como, monitorar as temperaturas (interna e externa) da superfície.

3.1 CARACTERÍSTICAS DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado na fachada verde (Figura 2) instalada na Casa Popular Eficiente (CPE) (Figura 3), situada na latitude 29° 72' S e longitude 53° 71' 'W, altitude 101 m. A casa foi construída em uma área disponibilizada ao GEPETCS (Grupo de Estudos e Pesquisas em Tecnologias Sustentáveis) que realizou o protótipo em parceria com o grupo de estudos e pesquisas em arquitetura e engenharia sustentáveis GEPARES da Universidade Luterana do Brasil (ULBRA-SM), dentro do Parque de Exposições da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria – RS.

A CPE foi inaugurada em dezembro de 2013 e foi projetada com o intuito de ser uma construção sustentável englobando diversas tecnologias para atingir o máximo de eficiência e economia, pensando em materiais e soluções ecológicas. A casa possui 55,40 m² de área construída total, possui dois dormitórios, um banheiro, uma sala e uma cozinha com lavanderia integrada. As paredes são constituídas por tijolos de solo cimento (composto 60% a 80% por solo arenoso e 5 a 12% por cimento) (FENSTERSEIFER et al., 2019).

A fachada norte (frente da casa) e fachada oeste (lateral da casa) são as fachadas que recebem maior incidência solar, sendo que a fachada oeste possui ausência de aberturas, justamente para evitar o aquecimento com a entrada da luz solar. Mesmo comprovando a funcionalidade do sistema de ventilação da casa durante o verão, salienta-se a necessidade da instalação de vegetação em frente a fachada oeste da casa, com a finalidade de bloqueio de radiação solar. Assim, em 2017 foi instalado um sistema de fachada verde na parede oeste da edificação

(FENSTERSEIFER et al., 2019). A fachada verde cobre metade da parede, e possui 4 metros de comprimento por 3 metros de altura, tendo sido fixada a 0,40 m distante da parede, criando assim um corredor de ar.

A finalização da instalação da fachada verde ocorreu em agosto de 2017 (FENSTERSEIFER et al., 2019) onde foram plantadas cinco mudas da espécie *Wisteria floribunda* (Glicínia) com idade de 2 anos em vasos de 50 l cada, espaçadas 30 cm entre si. Para ajudar na fixação e no direcionamento da planta foi instalada uma estrutura de suporte confeccionada com cordas elásticas em forma de rede, como pode ser observado na Figura 4. A cobertura total da fachada verde nessa estrutura base levou aproximadamente um ano, e está cobrindo a fachada oeste da casa, a qual recebe radiação solar a partir das 12h30min (horário oficial de Brasília, sem considerar horário de verão), aproximadamente, no período entre os meses de novembro a março (FENSTERSEIFER et al., 2019).

Figura 2 – Fachada Verde em estudo



Fonte: (Autora, 2021).

Figura 3 – Casa Popular Eficiente no Parque de Exposições da UFSM



Fonte: (Autora, 2021).

Figura 4 – Fachada Verde recém instalada



Fonte: (FENSTERSEIFER et al., 2019).

De acordo com a classificação de Köppen; Geiger e Pohl (1953), o clima no local é subtropical úmido, chuvoso e quente do tipo Cfa. Conforme os dados

registrados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre os anos de 1981 e 2010, a temperatura média do ar variou entre 13,4 °C e 24,9 °C a temperatura máxima entre 30,3 °C e 19 °C e a temperatura mínima ficou entre 9,4 °C e 18,6 °C. Existe uma pluviosidade significativa ao longo do ano, não apresentando estação seca, com índices pluviométricos anuais entre 1.500 mm e 1.600 mm (LÖBLER; SCCOTI; WERLANG, 2015).

A Tabela 1 apresenta as normais climatológicas para Santa Maria no período de 29 anos, de 1961-1990. De acordo com o INMET (2022), janeiro é o mês com maior precipitação média, em torno de 163 mm e, novembro o menos chuvoso, com 120,5 mm (ONGARATTO et al., 2018).

Tabela 1 – Variações das médias das temperaturas, umidade e precipitação de Santa Maria no período de 1961 até 1990.

Mês	Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Média (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Umidade (%)	Precipitação (mm)
Janeiro	30,4	24,2	19,1	71,0	163,0
Fevereiro	30,0	23,9	19,5	76,0	127,2
Março	28,2	21,9	17,9	79,0	136,2
Abril	25,0	18,4	14,5	80,0	121,4
Mai	22,1	15,9	11,8	82,0	127,5
Junho	19,2	13,9	9,3	81,0	139,3
Julho	19,6	14,1	9,5	80,0	144,9
Agosto	20,3	14,2	10,4	78,0	142,1
Setembro	22,5	16,5	11,3	78,0	124,3
Outubro	24,8	18,6	13,5	73,0	128,2
Novembro	27,3	21,0	15,9	71,0	120,5
Dezembro	29,5	23,3	18,3	69,0	142,2

Fonte: (ONGARATTO et al., 2018).

3.2 MONITORAMENTO

O monitoramento teve início em 1 de agosto de 2021 e término em 1 de agosto de 2022. Foram monitoradas as variáveis climatológicas acompanhadas de fotografias mensais convencionais e térmicas, além do monitoramento da temperatura na parede, conforme descrito a seguir.

Para o monitoramento fotográfico convencional foi utilizada a câmera de celular Iphone modelo 6S, que possui resolução de 12 megapixels, 4608 x 2592 pixels. Já para o monitoramento fotográfico térmico foi utilizada a câmera térmica modelo

Perfect Prime IR0006 (Figura 5), que possui resolução térmica de 320 x 240 que oferece 76.800 pixels, e possui uma capacidade de capturar imagens com variação de temperatura de -20 °C até 300 °C;

Figura 5 – Câmera Térmica utilizada na captura de imagens infravermelhas



Fonte: (Autora, 2022).

Para padronizar o ângulo de aquisição das fotos, e facilitar a comparação, utilizou-se um tripé da marca Tomate. As capturas fotográficas foram mensais, e realizadas na posição ortogonal e frontal à fachada verde, no período da tarde, a uma altura de 1 m e a uma distância de 4,3 m da fachada verde, como mostra a Figura 6.

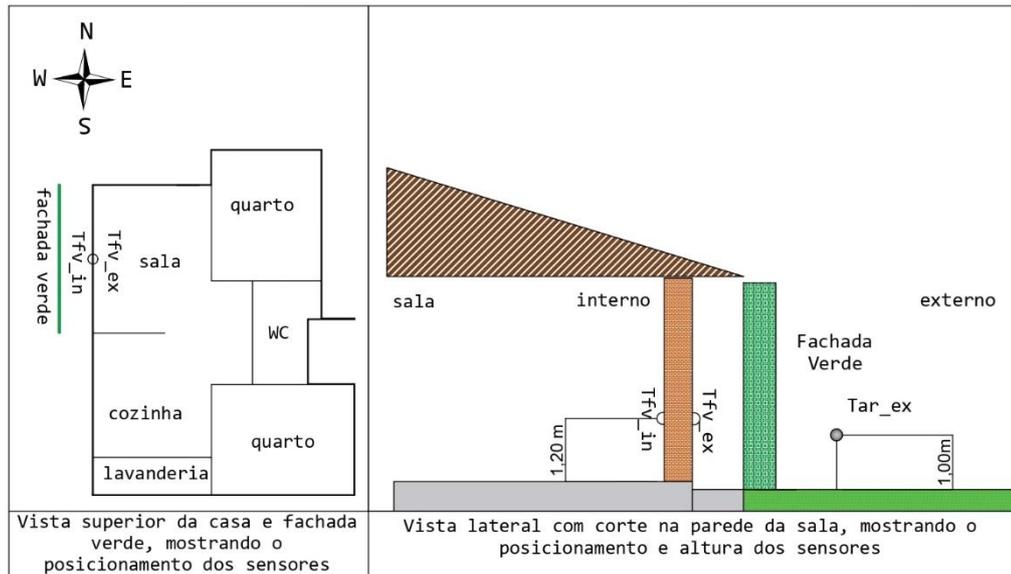
Figura 6 - Posicionamento do Tripé utilizado para os registros fotográficos



Fonte: (Autora, 2022).

Dois sensores automáticos para monitoramento de temperatura foram instalados na parede da edificação, atrás da fachada verde, sendo um sensor interno (T_{fv_in}), um sensor externo (T_{fv_ex}) à parede. Há também um sensor automático de temperatura que monitora a temperatura do ar externo (T_{ar_ex}) à edificação (Figura 7). Os sensores de temperatura da parede estão posicionados na região central da fachada verde, tanto internamente quanto externamente, em posição oposta e a 1,20 m de altura do piso. O sensor de temperatura do ar externo está posicionado a 1m do piso.

Figura 7 – Representação do posicionamento dos sensores de temperatura



(Autora, 2022).

Os sensores de temperatura são baseados na plataforma Arduino e foram desenvolvidos dentro do Grupo Ecotecnologias (MINETTO, 2018; PIMENTEL, 2020; RÊGO 2016). Os sensores internos são do tipo DHT22, enquanto os externos são DS18B20, à prova d'água. Os sensores são conectados a um Data Logger baseado em Arduino (MINETTO, 2018), e os dados coletados a cada 5 minutos foram armazenados em um cartão SD, a partir do qual era realizado download semanal de dados.

Além da informação de temperatura, foram utilizados os registros climatológicos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2022), da estação da UFSM que dista menos de 1 km do experimento.

3.3 TRATAMENTO DE DADOS

3.3.1 Determinação do índice de sombreamento (IS)

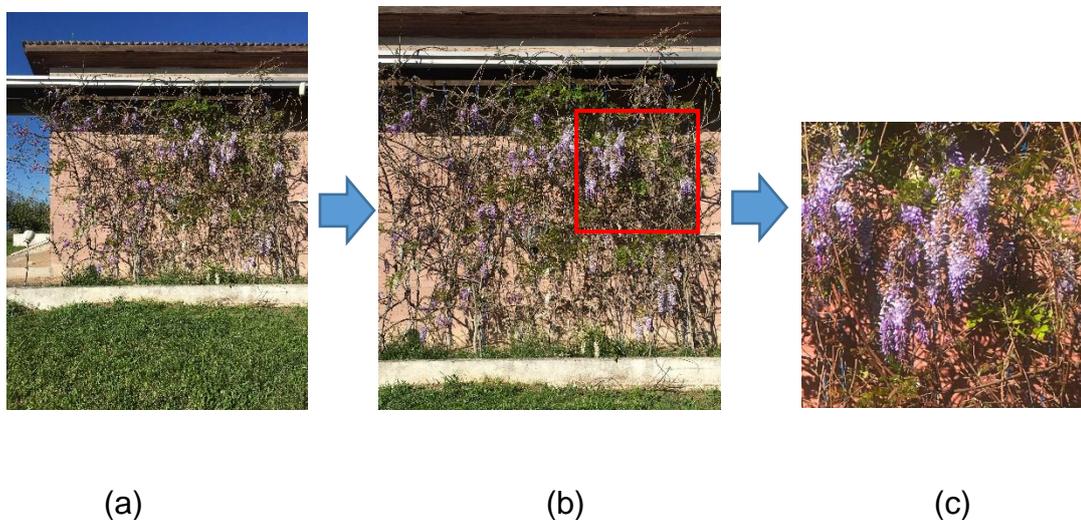
Para determinação do IS da *Wisteria floribunda*, foi realizado um processo de classificação manual de imagens. Para isso, as imagens obtidas por meio da câmera fotográfica foram inicialmente tratadas com o software GIMP 2.10 (GNU Image

Manipulation Program), um programa de código aberto voltado principalmente para criação e edição de imagens tipo raster.

A região de análise da fachada verde compreendeu uma área de 1 m². Na Figura 8 são exemplificadas as etapas sequenciais para obtenção da imagem classificada, a mesma região foi utilizada como área da referência para fins de determinação do IS. Essa região foi escolhida por estar mais preenchida pela Glicínia e não apresentar falhas, sendo escolhida para representar espacialmente o conjunto geral da fachada verde sem haver interferências externas (Figura 8b).

As fotografias foram editadas, visando aumentar o contraste dos diferentes elementos da imagem (folhas, flores, galhos, elementos de fixação, parede, entre outros). Na sequência as imagens tratadas foram importadas para o programa AutoCAD LT 2019, onde foi realizado um processo de poligonização manual da imagem, buscando identificar as áreas de sombreamento.

Figura 8 – Exemplo da sequência de obtenção e tratamento das imagens



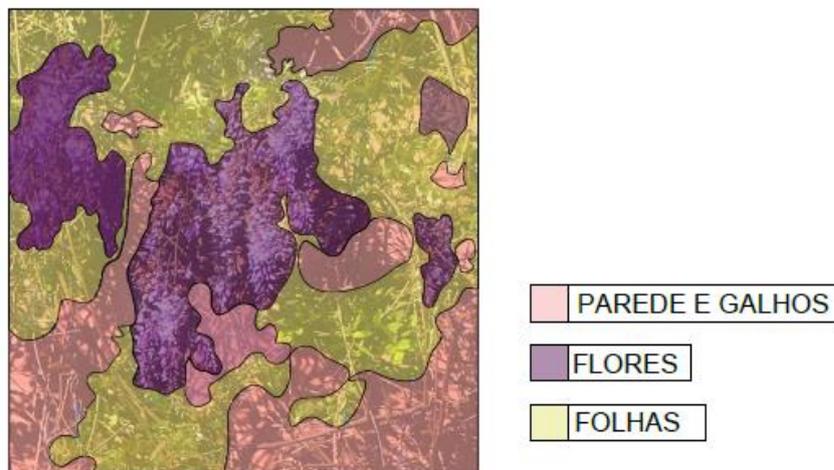
Fonte: (Autora, 2022).

Lp, Lam e Miller (2010) utilizaram uma técnica semelhante, realizando registros fotográficos em intervalos regulares, analisando através da técnica de reconhecimento de pixels para diferenciar as camadas foliares e suas áreas correspondentes no dossel de uma trepadeira decídua, utilizando o princípio de que um determinado número de camadas de folhas lança uma certa gama de tons de cores na imagem

digital. Os autores utilizaram a função de segmentação e reconhecimento de pixel de cor no software gráfico Adobe Photoshop para diferenciar os tons de verde nas imagens e, posteriormente, as áreas relativas das camadas das folhas sobre a fachada foram estabelecidas através do cálculo dos pixels de cor. Nesse estudo foi realizado processo semelhante, no entanto, por meio da utilização de poligonais.

A Figura 9 apresenta um exemplo de poligonização, considerando separação entre áreas com folhas, parede, galhos, cordas e flores na região de análise, sendo que para fins de cômputo de sombreamento são consideradas apenas área de folhas. O IS é determinado a partir da ponderação da área de folhas, com relação à área da imagem, realizando um cálculo de pixels e conversão do número de pixels para áreas da camada foliar, sendo que um valor próximo à unidade indica uma maior cobertura foliar.

Figura 9 – Exemplo da delimitação das regiões homogêneas



Fonte: (Autora, 2022).

O processo completo de todas as poligonizações manuais das imagens é apresentado no Apêndice A.

Foi realizada uma compilação das fotografias térmicas, a fim de analisar o comportamento do sombreamento da fachada verde com o passar dos meses.

3.3.2 Análise de dados de temperatura

Os dados de temperatura do ar externo (T_{ar_ex}), temperatura da fachada verde interna (T_{fv_in}) e da temperatura da fachada verde externa (T_{fv_ex}), foram analisados, consistidos para fins de correlação com os IS encontrados e análise do efeito de sombreamento gerado pela fachada verde na fachada externa e interna da casa.

Para auxiliar nas análises de dados e discussão dos resultados do monitoramento térmico foram utilizados os dados climatológicos da estação climatológica do INMET, seguindo a recomendação de Takebayashi e Moriyama (2007). A estação é automática e fica localizada a menos de 1km da área monitorada, garantindo assim um banco de dados de monitoramento mais completo, com dados climáticos como radiação solar, velocidade do vento, precipitação e umidade do ar. Sendo possível também utilizar dados de temperatura do ar, em caso de falha do sensor T_{ar_ex} .

Para a análise dos dados de desempenho térmico da fachada verde, foram selecionados dias representativos para avaliação. Assim, o ano monitorado foi dividido em suas quatro estações climáticas: inverno, primavera, verão e outono. Para cada estação do ano, utilizou-se de um episódio climático representativo de temperatura máxima do ar registrada e um dia de temperatura mínima do ar registrada. Para isso, foram analisados os dias com máximas e mínimas temperaturas para cada mês, após foram escolhidos os dias representativos para cada estação, que foram os dias com temperaturas máximas e mínimas registrados dentro de cada estação.

Após encontrar o dia representativo para cada estação, os dados de temperatura monitorados na área experimental com intervalo de 5 minutos foram analisados. Portanto, as variações térmicas da temperatura do ar externo, e temperatura da fachada verde interna e externa foram avaliadas e apresentadas para os dias representativos de cada estação, de acordo com a temperatura instantânea monitorada. Este conjunto de dados derivados, permitiu observar os diferentes comportamentos ao longo do dia da fachada verde, bem como analisar o efeito de sombreamento ao longo de todas as estações.

Na sequência, foram determinadas as diferenças de temperaturas ao longo do dia, representando o quanto a temperatura da fachada verde e da fachada da parede que ela sombreia variam.

Os dados de temperatura do intervalo de 5 minutos foram analisados para determinar as diferenças de temperatura em duas condições: i) diferença de temperatura do ar externo (T_{ar_ex}) com relação à temperatura da fachada verde externa (T_{fv_ex}), para identificar o efeito de sombreamento da fachada verde (Equação 1) e ii) diferença de temperatura da fachada verde externa (T_{fv_ex}) com a temperatura da fachada verde interna (T_{fv_in}), para identificar o efeito promovido pela própria parede (Equação 2).

$$\Delta T_{af} = T_{ar_ex} - T_{fv_ex} \quad (1)$$

$$\Delta T_{ei} = T_{fv_ex} - T_{fv_in} \quad (2)$$

Sendo: ΔT_{af} a diferença entre a temperatura do ar e parede externa, em °C; T_{ar_ex} a temperatura do ar externo, em °C; T_{fv_ex} a temperatura da fachada verde externa, em °C. E ΔT_{ei} é a diferença entre a temperatura da parede externa e parede interna, em °C; T_{fv_ex} é a temperatura da fachada verde externa, em °C; T_{fv_in} é a temperatura da fachada verde interna, em °C.

Resultados positivos para a Equação 1 indicam que a temperatura do ar foi superior à registrada na face externa da parede protegida pela fachada verde, portanto, evidenciando o efeito positivo do sombreamento. Caso contrário, os valores negativos indicam que há maior temperatura observada na parede com relação à temperatura do ar, e que nessa condição possivelmente a parede da edificação estaria liberando calor. Assim a amplitude da diferença de temperatura foi demonstrada em gráficos para os dias representativos de cada estação, apresentando as curvas ascendentes e descendentes com dados de intervalo de 5 minutos. Curvas ascendentes demonstram um aumento de temperatura do ar externo em relação à temperatura da fachada verde externa, enquanto as curvas descendentes indicam o contrário.

Da mesma forma, resultados positivos para a Equação 2 indicam maior temperatura na superfície da parede externa que a interna, sendo que o valor negativo indica comportamento oposto. Assim, a amplitude da diferença de temperatura foi demonstrada em gráficos para os dias representativos de cada estação, apresentando as curvas ascendentes e descendentes com dados de intervalo de 5 minutos. Curvas ascendentes demonstram um aumento de temperatura da fachada verde externa em

relação a temperatura da fachada verde interna, enquanto as curvas descendentes indicam o contrário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ÍNDICE DE SOMBREAMENTO

A partir dos registros fotográficos mensais durante um ano de monitoramento foi possível determinar o IS de cada mês, durante todas as estações do ano, conforme Quadro 2.

Observando a sequência de imagens, percebe-se a significativa variação na cobertura foliar desta espécie ao longo das 4 estações do ano, sendo que o IS da *Wisteria floribunda* variou entre 0% (mês de julho) a 99,71% (mês de março de 2022). Pela Figura 10 fica ainda mais perceptível a mudança do IS ao longo dos meses. O IS começa a aumentar no meio do inverno em agosto, chegando ao seu pico no verão no mês de março, e após diminui à medida em que ocorre a perda das folhas no outono, até o começo do inverno onde estas estão completamente ausentes.

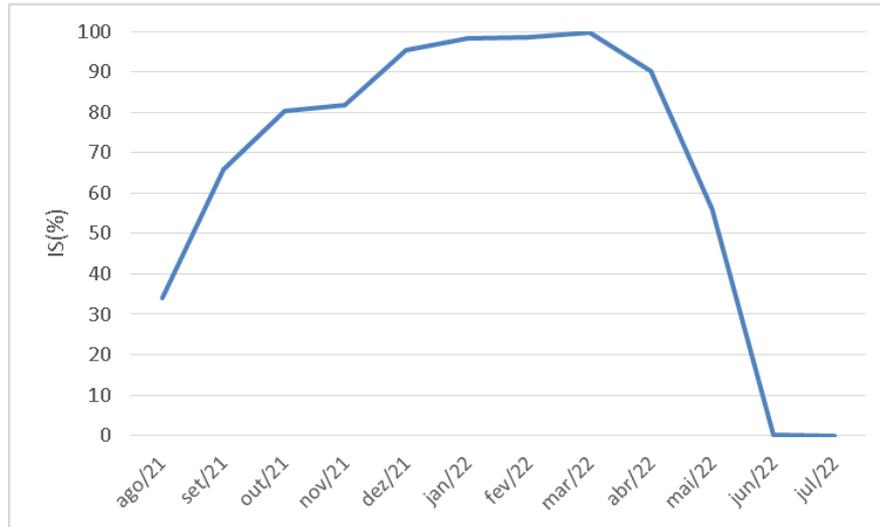
Nos meses mais quentes do verão a vegetação atinge seu maior potencial de cobertura, auxiliando na amenização da radiação solar que atingiria a fachada da casa popular eficiente. Nos meses mais quentes do ano, a vegetação apresenta maior densidade foliar e, conseqüentemente, maior potencial de sombreamento. Durante o outono, a planta inicia a perda de folhas e diminuição do índice de sombreamento, o que otimiza a entrada de radiação solar para a próxima estação. Scherer (2014) avaliou o percentual de transmissão solar (PTS) para mesma espécie, encontrando resultados similares, tendo o mesmo desenvolvimento da planta, na cidade de Formigueiro, que fica a 65 km de Santa Maria e possui o mesmo clima.

Quadro 2 – Imagem de cobertura foliar e Índice de sombreamento (IS) determinado ao longo dos 12 meses de monitoramento

		
Agosto 2021: IS = 34,04 %	Setembro 2021: IS = 65,99%	Outubro 2021: IS = 80,03%
		
Novembro 2021: IS = 81,71%	Dezembro 2021: IS = 95,49%	Janeiro 2022: IS = 98,40%
		
Fevereiro 2022: IS = 98,60%	Março 2022: IS = 99,71%	Abril 2022: IS = 94,70%
		
Mai 2022: IS = 74,70%	Junho: IS = 0,001%	Julho 2022: IS = 0%

Fonte: (Autora, 2022).

Figura 10 – IS determinado ao longo dos doze meses de monitoramento



Fonte: (Autora, 2022).

4.2 ANÁLISE DAS TEMPERATURAS PARA OS DIAS REPRESENTATIVOS

A partir da análise dos dados climáticos foram escolhidos os dias representativos para proceder com a análise de temperaturas, conforme Quadro 3.

Quadro 3 – Escolha dos dias representativos

	Máximas		Mínimas		Estação
	Temperatura máxima (°C)	Dia	Temperatura mínima (°C)	Dia	
AGO	38,50	19/08/2021*	1,25	12/08/2021*	Inverno
SET	37,75	27/09/2021	5,75	15/09/2021	Inverno
OUT	42,25	31/10/2021	6,75	05/10/2021*	Primavera
NOV	46,00	22/11/2021	11,50	20/11/2021	Primavera
DEZ	46,50	20/12/2021*	13,75	03/12/2021	Primavera
JAN	45,75	01/01/2022	15,00	06/01/2022	Verão
FEV	46,25	02/02/2022*	10,25	14/02/2022	Verão
MAR	45,25	04/03/2022	6,25	31/03/2022*	Verão
ABR	37,75	19/04/2022	6,00	01/04/2022	Outono
MAIO	38,25	25/05/2022*	1,00	31/05/2022*	Outono
JUN	29,00	20/06/2022	1,75	19/06/2022	Outono
JUL	33,50	11/07/2022	3,25	13/07/2022	Inverno

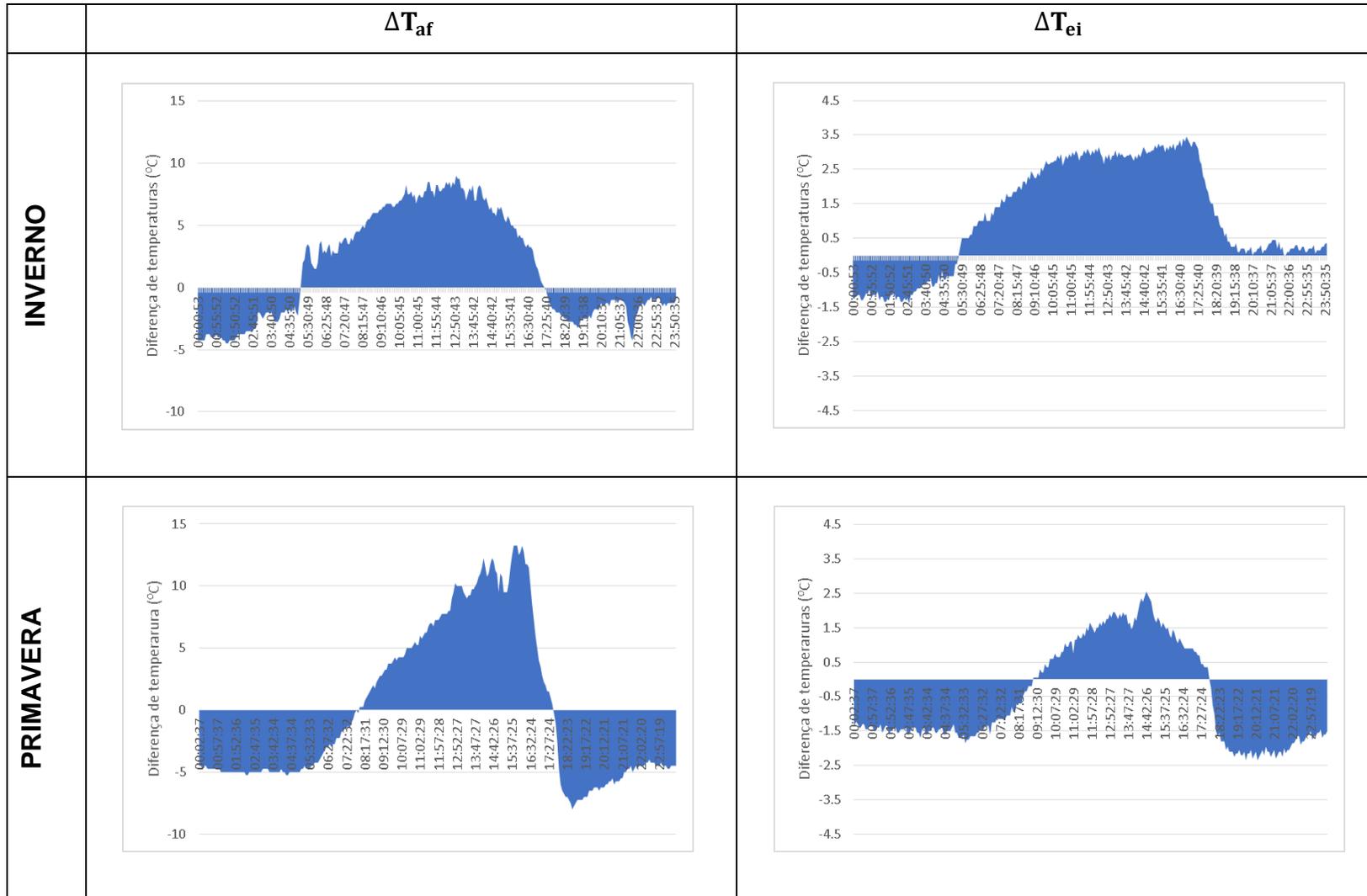
Legenda: *Dias representativos selecionados Fonte: (Autora, 2022).

Os gráficos gerados a partir da determinação de ΔT_{af} e pelo ΔT_{ei} , no intervalo de alta resolução temporal (intervalos de 5 minutos) foram realizados para todos os dias representativos. A Figura 11 apresenta as variações das diferenças de temperatura ao longo dos dias representativos, com relação às máximas temperaturas do ar registradas, sendo possível analisar o efeito do sombreamento nas ΔT_{af} e analisar a diferença das temperaturas da fachada interna e externa da edificação no ΔT_{ei} . A Figura 12 apresenta as variações das diferenças de temperatura na parede ao longo dos dias, dando destaque para as mínimas temperaturas do ar registradas. Nos gráficos das Figuras 11 e 12 cada pico representa a máxima amplitude da diferença de temperatura registrada.

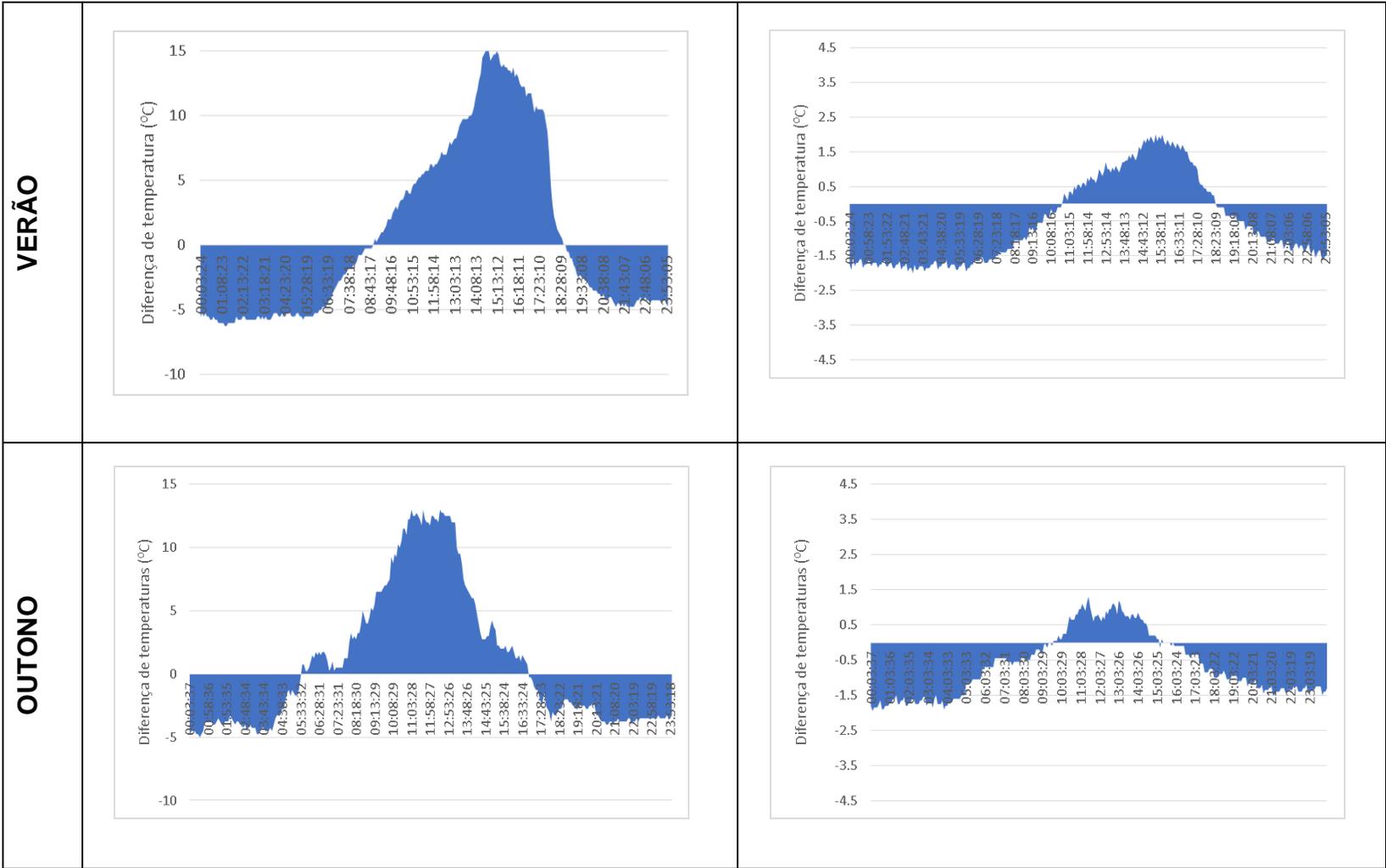
Segundo Lp, Lam e Miller (2010) além de gerar o sombreamento, a fachada verde mantém em uma determinada faixa de temperatura, através do processo de evapotranspiração, essa menor temperatura ao redor da planta também auxilia no conforto térmico no verão.

Figura 11- Diferenças da temperatura do ar externo e temperatura da fachada verde externa (ΔT_{af}) e diferença da temperatura da fachada verde externa e temperatura da fachada verde interna (ΔT_{ei}) para cada dia representativo de temperatura máxima: para cada estação: inverno, primavera, verão e outono.

continua



conclusão



Fonte: (Autora, 2022).

Analisando os gráficos da Figura 11, quando ΔT_{af} apresentou resultados de amplitude das diferenças positivos, significou que a T_{fv_ex} estava menor que a T_{ar_ex} , mostrando o efeito de sombreamento efetivo da fachada verde, justamente no período de maior incidência solar. Na primavera e no verão esse período durou de aproximadamente 8h até aproximadamente 18h, no outono das 5h até às 17h, e no inverno das 5:10h até as 17:30h. Quando essa amplitude da diferença era negativa, ou seja, a T_{fv_ex} estava maior que a T_{ar_ex} , significou que a temperatura do ar diminuiu, e com isso a T_{fv_ex} ainda estava possivelmente liberando calor e resfriando. De acordo com Montanari e Labaki (2018) o motivo das grandes diferenças no período da tarde se devem a redução do pico de temperatura da superfície externa da parede verde, que está ligada à insolação, o que foi observado nos períodos de maior incidência solar.

Em ΔT_{af} , a temperatura máxima do ar registrada foi de 46,5 °C e ocorreu na primavera; nesta ocasião o sensor da fachada verde externa registrou uma temperatura máxima de 33,5 °C, ou seja, uma amplitude de 13 °C, resultado similar ao obtido para o verão. De certa forma, esse resultado era esperado para as estações quentes, mostrando o poder de sombreamento da fachada verde e indo ao encontro dos índices de sombreamento dos dias analisados na primavera (95,49%) e no verão (98,60%), sendo visível a contribuição da fachada verde para amenização do calor na fachada da casa.

Para ΔT_{af} a máxima amplitude de diferença (15 °C) entre a temperatura do ar (T_{ar_ex} de 45,25 °C) e a parede externa (T_{fv_ex} de 30,25 °C), corroboram com o maior IS registrado também no verão. Já a máxima temperatura registrada para a T_{fv_ex} ocorreu no inverno, estação na qual a fachada verde teve o menor IS (33,04%), de acordo com o esperado, já que devido à baixa cobertura foliar era esperado as maiores temperaturas na parede nessa estação devido à incidência direta da radiação solar.

Já para ΔT_{ei} , as maiores temperaturas registradas para fachada interna da parede (T_{fv_in}) ocorreram na primavera e no verão, embora o IS tenha valor elevado nesse período. Esse resultado é um indício que o tijolo solo-cimento não promoveu um bom efeito de isolamento térmico, e que possivelmente houve elevado fluxo de calor da parede externa para a interna, já que o tijolo de solo-cimento possui capacidade térmica baixa, ou seja, ele não é um bom isolante e também não mantém o calor na parede.

As amplitudes das diferenças de temperatura em ΔT_{ei} foram menores do que as registradas em ΔT_{af} . Quando essas amplitudes das diferenças de temperaturas foram

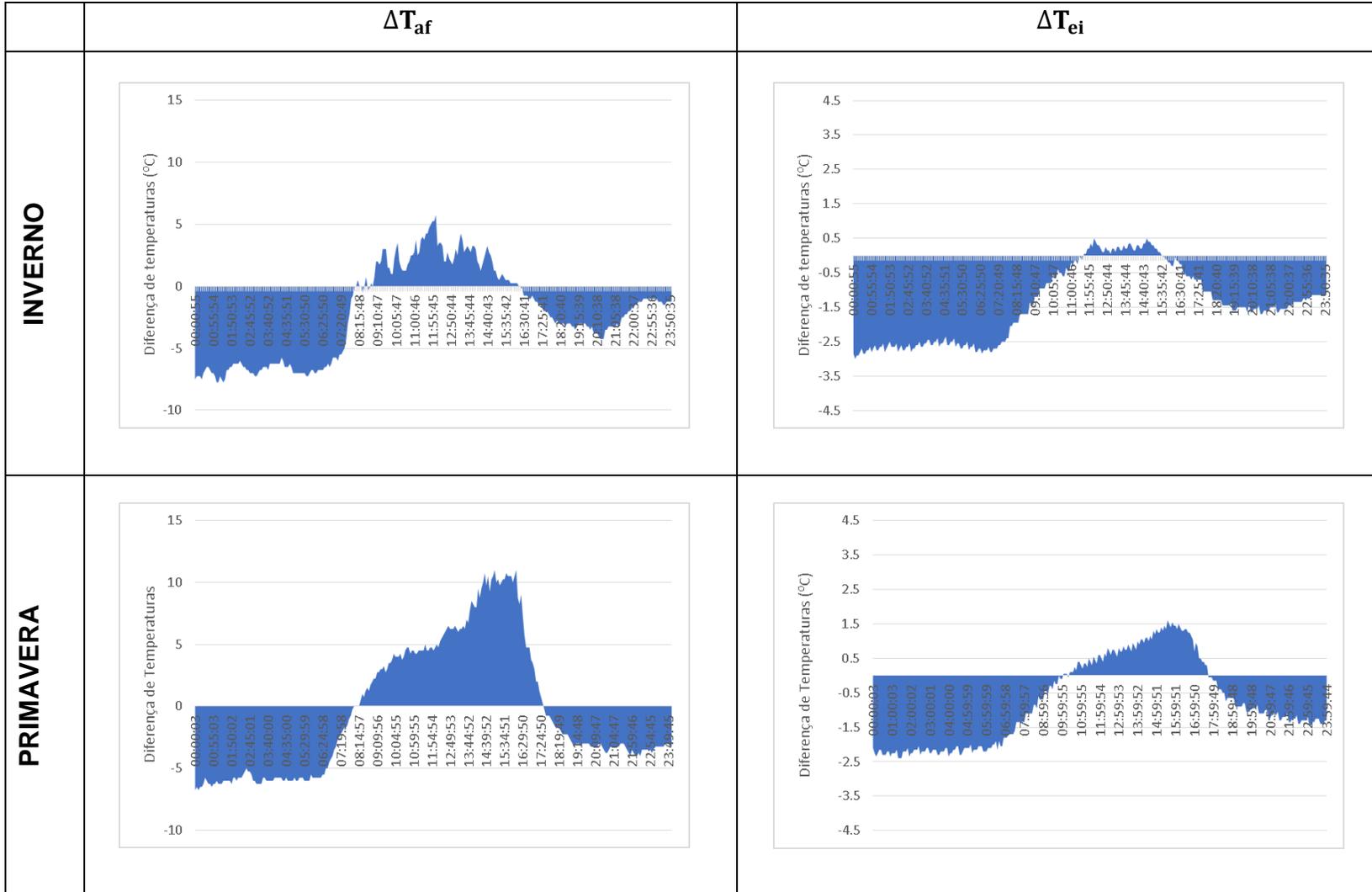
positivas, ou seja, a T_{fv_ex} estava maior que a T_{fv_in} , possivelmente a fachada verde já havia aquecido e estava liberando calor para parte interna da edificação, em um período temporal que é coincidente com parte do período onde as diferenças de ΔT_{af} são positivas (com exceção do inverno). Quando as amplitudes das diferenças foram negativas a T_{fv_ex} estava menor que a T_{fv_in} , e a parede interna já estava aquecida e estava liberando calor para a face externa, justamente no período temporal em que ΔT_{af} também apresentou valores negativos, o que corresponde ao período entre o pôr do sol até começar o aquecimento da T_{fv_ex} .

Em ΔT_{ei} a máxima amplitude da diferença entre as temperaturas das fachadas interna e externa ocorreu no inverno (T_{fv_ex} de 34,25 °C e T_{fv_in} de 30,8 °C). Nesse caso, observa-se que a temperatura externa da parede foi superior à interna da edificação, mostrando que a perda das folhas da Glicínia contribuiu para o aquecimento da superfície da parede externa, embora haja presença de galhos que promovem a proteção contra o vento e isso diminui o fluxo de calor por convecção, ou seja, o calor que incide na parede não é "levado embora" pelo vento e, assim, pode passar por condução para dentro da edificação

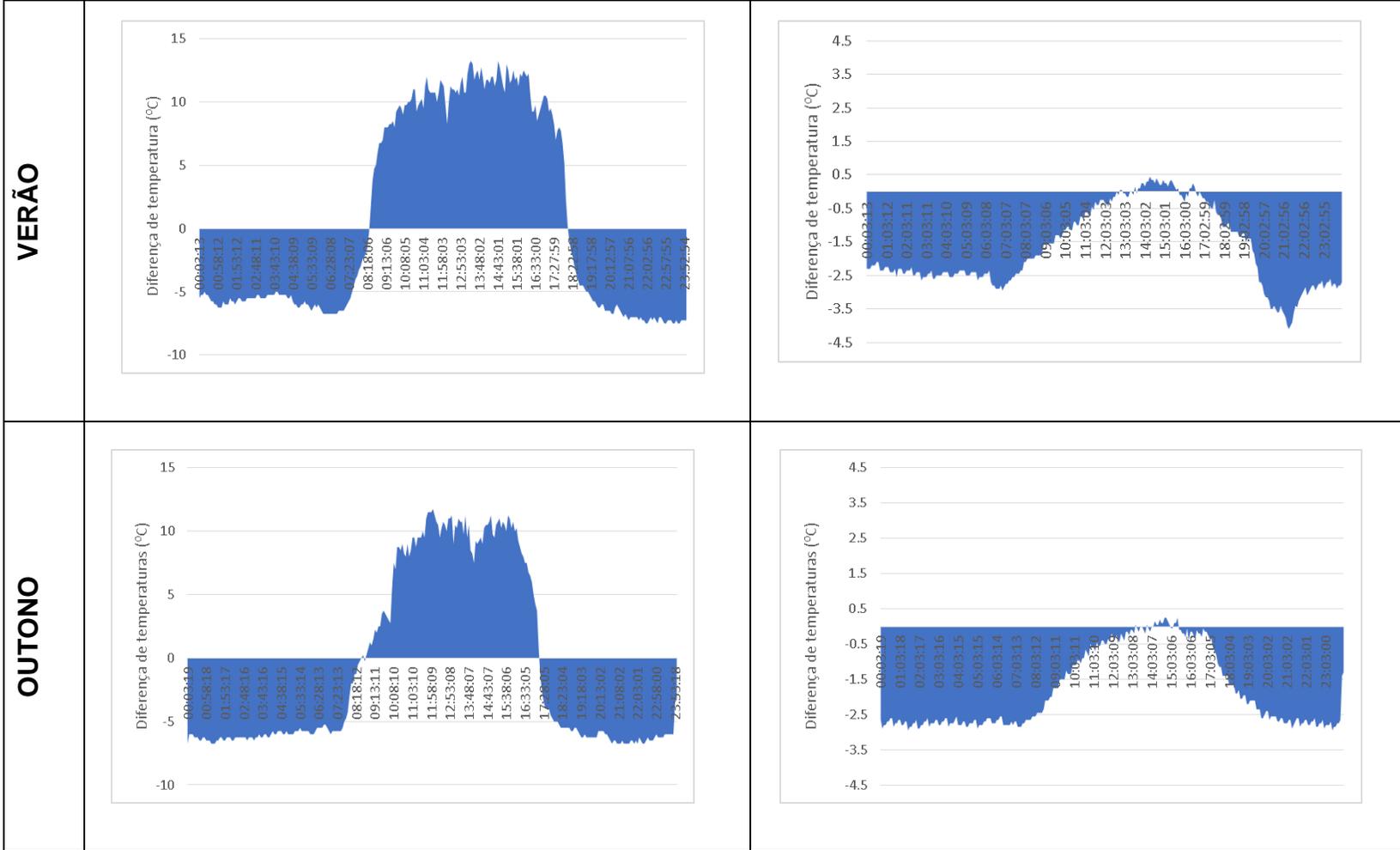
No inverno pode-se observar que no ΔT_{ei} a fachada externa da parede permaneceu aquecida e com temperaturas superiores à fachada interna até o final do dia, sendo que as temperaturas da fachada interna foram superiores às temperaturas da fachada externa apenas no período entre 00:00h até às 5:30h. Ou seja, mesmo que os galhos promovam o sombreamento no inverno, quando não é desejado, eles diminuem a perda de calor por convecção.

Figura 12- Diferenças da temperatura do ar externo e temperatura da fachada verde externa (ΔT_{af}) e diferença da temperatura da fachada verde externa e temperatura da fachada verde interna (ΔT_{ei}) para cada dia representativo de temperatura mínima: para cada estação: inverno, primavera, verão e outono.

continua



conclusão



Fonte: (Autora, 2022).

Analisando a Figura 12, em ΔT_{af} as amplitudes positivas ocorreram no período de aproximadamente 8h até às 18h na primavera e no verão, e durante o outono e o inverno, as amplitudes de diferenças de temperaturas ocorreram entre 8h e 17h.

Para ΔT_{af} a mínima temperatura do ar (T_{ar_ex}) e da parede externa (T_{fv_ex}) atrás da fachada verde foram registradas no outono, 1 °C e 6,75 °C, respectivamente, tendo uma diferença de 5,75 °C. As maiores amplitudes da diferença de temperatura (13,25 °C) ocorreram no verão, quando a temperatura do ar alcançou 29,75 °C e a temperatura da parede externa, 16,5 °C. Nessa estação ficou evidente o efeito do sombreamento, mesmo nos dias de temperaturas mínimas, devido ao IS que atingiu o valor máximo de 99,71%.

Para ΔT_{ei} as amplitudes positivas ocorreram em diferentes horários, de acordo com cada estação, mas coincidindo com os períodos positivos de ΔT_{af} . Analisando as amplitudes de ΔT_{ei} , a mínima temperatura da fachada interna (T_{fv_in}) da casa se deu no outono, quando registrou-se 9 °C, sendo maior que a temperatura da fachada externa (T_{fv_ex}), a qual registrou 6,75 °C, o que indica que no horário em que essa variação (2,25 °C) foi observada, a edificação estava perdendo calor para o ambiente externo. A máxima amplitude da diferença de temperatura entre as fachadas ocorreu no verão às 21:17h, onde a T_{fv_ex} registrou 17,5 °C e a T_{fv_in} , 21,6 °C.

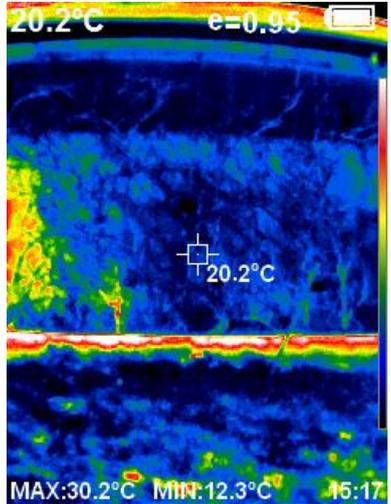
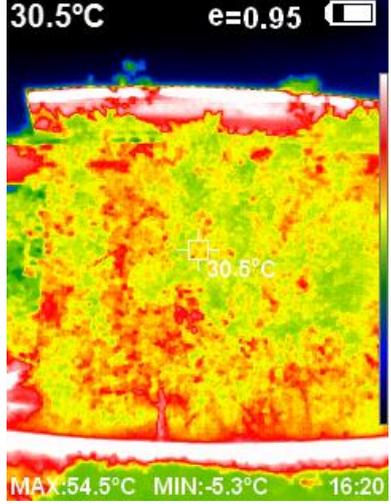
Notou-se que ΔT_{ei} apresentou atraso térmico em relação a ΔT_{af} , já que os períodos positivos de ΔT_{af} ocorriam antes. No outono foram registrados os maiores atrasos térmicos em torno de 3:20h. Este efeito pode ser explicado pela inércia térmica causada pela envoltória vegetal, que dificulta a entrada de calor durante um período, e dissipa vagarosamente o calor absorvido em outro (LOPES, 2007). De acordo com Cheng, Cheung e Chu (2010), o atraso no aumento da temperatura ajudaria a mitigar o impacto potencial do calor incidente durante o dia que continua a afetar o espaço interior após o pôr do sol.

4.2.1 Monitoramento fotográfico infravermelho

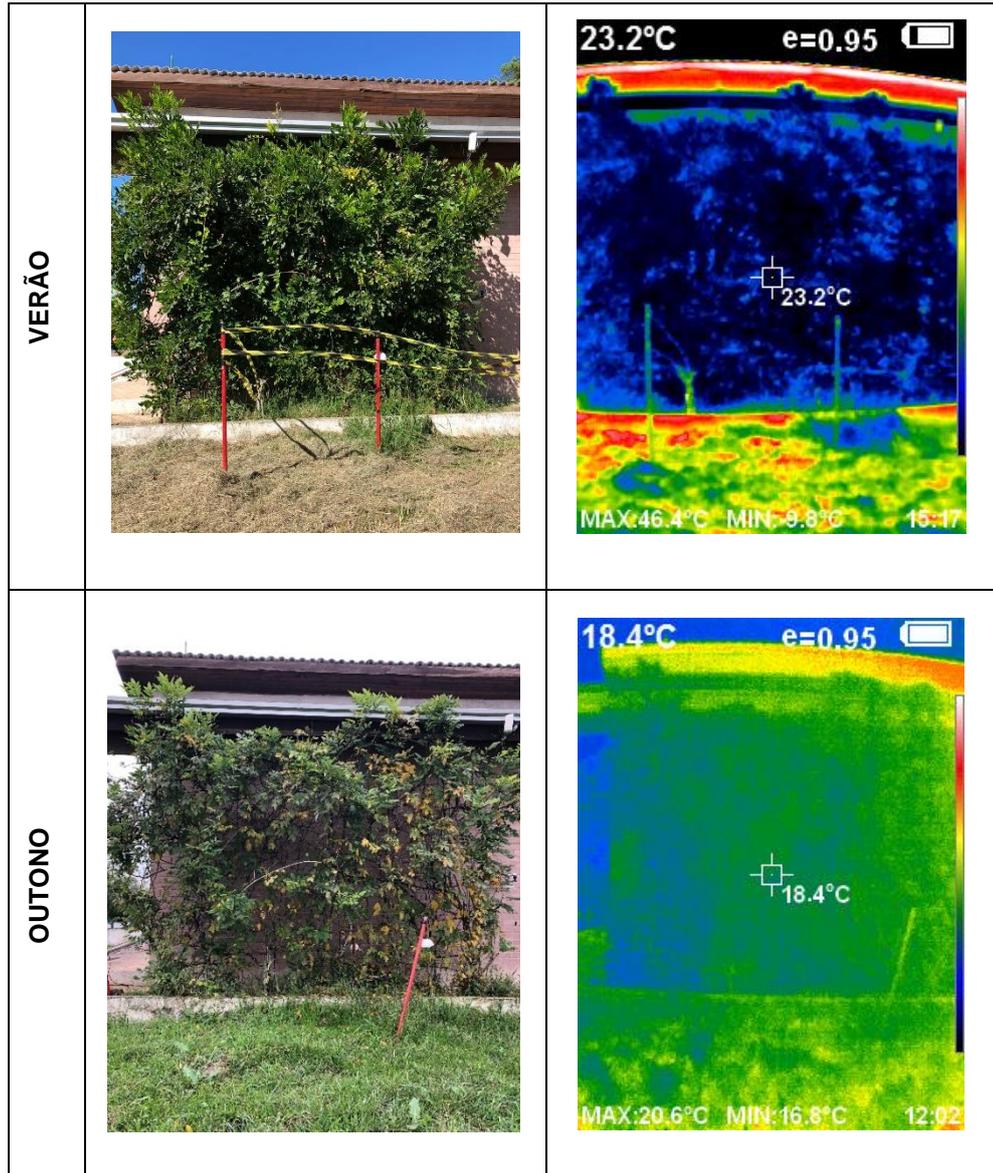
O monitoramento fotográfico infravermelho foi realizado ao longo das quatro estações para que fosse possível observar as diferentes temperaturas registradas ao longo da cobertura da Glicínia. Uma comparação entre as fotografias digitais e as fotografias térmicas infravermelhas pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 – Comparação entre as fotografias digitais e as fotografias térmicas infravermelhas.

continua

	Fotografia Digital	Fotografia Térmica Infravermelha
INVERNO		
PRIMAVERA		

conclusão



Fonte: (Autora, 2022).

No inverno, na região central da fachada verde a temperatura foi de aproximadamente 20,2 °C, enquanto a Tar_ex na hora do registro era de 22,75 °C. Ao analisar as duas fotografias (térmica e digital) do inverno, nota-se que a região central apresentou sobreposição de galhos e menor temperatura se comparada com a região à esquerda, que não possui galhos ou folhas. Nessa região a temperatura da fachada alcançou 30,2 °C. Na primavera a imagem térmica mostrou que na região do centro da fachada verde foi observada uma temperatura na ordem dos 30,5 °C, enquanto a Tar_ex marcava 34,5 °C. No entorno da fachada verde, na região fora da influência desta, observou-se que a temperatura chegou às máximas registradas de

54,5 °C (ex. calha junto ao telhado). A máxima temperatura registrada para o centro da fachada verde ocorreu na primavera.

No verão, devido ao alto IS, a temperatura registrada no centro da fachada verde foi de 23,2 °C, enquanto a temperatura do ar foi de 29,5 °C, indicando uma Dt1 de 7 °C. Essa diferença de temperatura fica ainda mais evidente quando comparada com regiões sem vegetação, como os beirais e calhas, que atingiram 46,4 °C, é possível verificar também que a própria grama na região em frente à fachada verde já registrava temperaturas maiores do que na fachada verde.

No outono, a temperatura na região central da fachada verde foi de aproximadamente 18,4 °C e a temperatura do ar foi de 17,25 °C. Nessa estação foi possível observar a diminuição da densidade foliar e a presença de folhas amarelas. Nessas regiões com falhas de vegetação, as temperaturas registradas foram menores que a Tar_ex, por se tratar de um período ainda de aquecimento da fachada verde.

Segundo Salisbury e Ross (1992) além do sombreamento solar, a planta trepadeira regula e se mantém dentro de uma determinada faixa de temperatura através do processo de evapotranspiração. Assim, mesmo com temperaturas do ar mais elevadas, a fachada verde se mantém com temperatura mais amenas do que Tar_ex. Isso pôde ser observado no inverno, primavera e no verão, onde a fachada verde se manteve com temperaturas menores que as Tar_ex. No verão onde a fachada verde atinge seu ápice de crescimento, é possível observá-la com uma boa cobertura foliar, cobrindo toda a fachada verde e apresentando valores menores de temperaturas.

Com as imagens geradas pela captura térmica infravermelha foi possível observar a diferença de temperatura nas regiões onde há menos camadas de folhas, e que não eram tão visíveis na imagem digital normal, como foi o caso da imagem da primavera. Nesta imagem é possível observar na parte inferior da fachada verde uma temperatura mais elevada, justamente onde a Glicínia está com um desenvolvimento mais recente, e por isso com menos folhas.

5 CONCLUSÃO

Esta pesquisa adotou um método de classificação manual de imagens, onde foi possível estimar o valor de índice de sombreamento promovido pela *Wisteria floribunda*, planta trepadeira caducifólia, comumente utilizada para fachadas verdes. O monitoramento foi realizado para as quatro estações do ano, e o índice de sombreamento esteve ligado às temperaturas na parede da edificação, com destaque especial para seu efeito na amenização de temperatura, principalmente para o período do verão.

A partir do monitoramento das temperaturas, foi possível verificar a influência do sombreamento da fachada verde, que promoveu uma redução de 15 °C na temperatura da fachada externa, com relação à temperatura do ar durante o verão. Durante o inverno a própria característica do material constituinte do tijolo influenciou a diferença de temperatura entre a face interna e externa da parede que atingiu um máximo de 3.45 °C, mostrando baixo potencial de isolamento térmico. Para o dia representativo de mínima temperatura a máxima amplitude de diferença entre a temperatura interna e externa da edificação ocorreu no Verão, 4.1 °C. O efeito do sombreamento da fachada verde também promoveu a máxima redução no dia representativo de mínimas temperaturas, reduzindo 13.25 °C na temperatura da fachada externa, com relação a temperatura do ar.

Nos meses quentes da Primavera e Verão, a fachada verde apresentou o melhor desempenho na redução das temperaturas, devido ao seu máximo potencial de sombreamento. A fachada verde provocou o atraso térmico das temperaturas na parede, podendo atenuar o desconforto durante o período mais quente do dia.

Não foi possível estabelecer, de forma conclusiva, uma relação entre o IS e a amplitude da diferença de temperatura da fachada interna e externa, já que a parede analisada não é totalmente coberta pelo sombreamento gerado pela fachada verde, podendo assim ocorrer um fluxo de calor.

De qualquer forma, estes resultados demonstraram que o potencial de sombreamento da fachada verde promoveu redução das cargas térmicas locais de uma edificação, principalmente no verão, e o IS se mostrou um bom parâmetro para análise do comportamento do sombreamento da fachada verde.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, C. M., FONTES, C. G. M. Jardins Verticais: Modelos e Técnicas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, 7 v., 2 n., 114-124 p., 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/parc.v7i2.8646304>. Acesso em: 14 dez.de 2021.
- BESIR, A. B.; CUCE, E. Green roofs and green facades: a comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82 v., 915-939 p., 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>. Acesso em: 14 de dez.de 2021.
- BLANC, P. The Vertical Garden: From Nature to the City. **Norton Company**, New York, 1 ed., 2008.
- CANTUÁRIA, G. A. C. **Microclimac impact of vegetation on building surfaces**. Dissertação (Mestrado) - Environment and Energy Studies Programme, A. A. School of Architecture, London, 1995.
- CHAROENKIT, S.; YIEMWATTANA, S. Living walls and their contribution to improved thermal comfort and carbon emission: A review. **Building Environment**, *sine loco*, 2017.
- COMA, J. A. et al. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between green walls and green facades. **Building Environment**, *sine loco*, 111 v., 228–237 p., 2017.
- COMA, J. M. A. et al. Comparative analysis of energy demand and CO2 emissions on different typologies of residential buildings in Europe. **Energy & Buildings**, *sine loco*, 190 v., 78-88 p., 2019.
- DAHANAYAKE, K. C.; CHOW, C. L.; HOU, G. L. Selection of suitable plant species for energy efficient Vertical Greenery Systems (VGS). **Energy Procedia**, 142 v., 2473-2478 p., 2017.
- DUNNETT, N.; KINGSBURY, N. Planting Green Roofs and Living Walls. **Timber Press**, Portland, 2004.
- FENSTERSEIFER, P. et al. Potencial de redução de temperatura na superfície externa de moradias usando fachadas verdes. *In*: SIMPÓSIO SOBRE SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 5., Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre: Editora GFM, 1 v., 585-590 p, 2019.
- FORBES, J.C.; WATSON, R.D. Thermal injury and its avoidance. **Plants in Agriculture: Cambridge University Press**, Cambridge, UK; Melbourne, Australia, 99-103 p.,1992.
- GAIDA, W. et al. Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Invertigaciones Geográficas: Boletín del Instituto de Geografía**, México, 91 n., 105-123 p., 2016.

HOPKINS, G.; GOODWIN, C. Living Architecture: Green Roofs and Walls. **CSIRO Publishing**, Melbourne, 1 ed., 2011.

HUNTER, A. M. et al. Quantifying the thermal performance of green façades: a critical review. **Ecological Engineering**, *sine loco*, 63 v., 102-113 p., 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.12.021>. Acesso em: 19 jan.de 2022.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Brasília, DF. Disponível em: <http://inmet.gov.br>. Acesso em: 5 ago. de 2022.

JONCKHEERE, I. et al. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, *sine loco*, 121 v., 19–35 p., 2004.

KÖPPEN, W. P.; GEIGER, R.; POHL, W. **Klima der Erde (mapa)**. American Distributor, Alemanha, 1953.

LANG, A. R. G.; YUEQIN, X.; NORMAN, J. M. Crop Structure and the penetration of direct sunlight. **Agricultural and Forest Meteorology**, *sine loco*, 35 v., 83–101 p., 1985.

LEE, L. S. H.; JIM, C. Y. Energy benefits of green-wall shading based on novel-accurate apportionment of short-wave radiation components. **Applied Energy**, *sine loco*, 238 v., 1506-1518 p., 2019.

LI, C.; WEI, J.; LI, C. Influence of foliage thickness on thermal performance of green façades in hot ad humid climate. **Energy & Buildings**, *sine loco*, 199 v., 72-87 p., 2019.

LÖBLER, C. A.; SCCOTI, A. A. V.; WERLANG, M. K. Contribuição à delimitação dos biomas Pampa e Mata Atlântica no município de Santa Maria, RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, 19 v., 2 n., 1250-1257 p., 2015.

MANSO, M.; CASTRO-GOMES, J. Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Covilhã, 41 v., 863-871 p., 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>. Acesso em: 06 jan. de 2022.

MINETTO, B. **Desenvolvimento de sensores de baixo custo para monitoramento hidrológico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

MONTANARI, K. B.; LABAKI, L. C. Comportamento térmico de ambientes internos sob a influência de envoltórias verdes. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, 8 v., 3 n., 181-193 p., 2017.

MONTEIRO, M. V. et al. Relative importance of transpiration rate and leaf morphological traits for the regulation of leaf temperature. **Australian Journal of Botany**, *sine loco*, 64 v., 32-44 p., 2016.

MORELLI, D. D. de O.; LABAKI, L. C. Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído. *In: X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, Natal. **Anais [...]**, Natal, 2009.

MUÑOZ, L. S. et al. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, 10 v., 2019.

ONGARATTO, D. R. L. et al. Estratégias bioclimáticas para a cidade de Santa Maria RS. *In: 10º SALÃO INTERNACIONAL DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – SIEPE*, Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento. **Anais [...]**. Santa do Livramento, 2018.

OOSTERLEE, J. A. Green walls and building energy consumption. **Building Technology**, Eindhoven, 2013.

PAPADAKIS, G.; TSAMIS, P.; KYRITSIS, S. An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. **Energy and Buildings**, *sine loco*, 33 v., 8 n., 831-836 p., 2001.

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

PÉREZ, G. et al. Vertical greenery systems (VGS) for energy saving in buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, *sine loco*, 39 v., 139-165 p., 2014.

PÉREZ, G. et al. Green Facade for Energy Savings in Buildings: The influence of leaf area index and facade orientation on the shadow effect. **Applied Energy**, Lleida, 187 v., 424–437 p., fev. 2017.

PÉREZ, G.; COMA, J; CHÀFER, M.; CABEZA, L. F. Seasonal influence of leaf area index (LAI) on the energy performance of a green façade. **Building and Environment**, *sine loco*, 207 v., 2022.

PERINI, K.; OTTELÉ, M. Designing Green Facades and Living Wall Systems for Sustainable Constructions. **Int. J. de Design & Natureza e Ecodinâmica**, *sine loco*, 9 v., 31–46 p., 2014. Disponível em: <https://www.witpress.com/elibrary/dne-volumes/9/1/796>. Acesso em: 19 dez. de 2021.

PERINI, K. et al. Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. **Open Journal of Ecology**, *sine loco*, 1 v., 1 n., 1-8 p., 2011.

PIMENTEL, F. C. **Efeito da composição dos substratos na redução da temperatura interna de telhados verdes extensivos**. Trabalho de Conclusão de

Curso (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

PODDAR, S.; PARK, D.; CHANG, S. Energy performance analysis of a dormitory building based on different orientations and seasonal variations of leaf area index. **Energy Efficient**, *sine loco*, 2016.

RAZZAGHMANESH, M., RAZZAGHMANESH, M. Thermal performance investigation of a living wall in a dry climate of Australia. **Building and Environment**, *sine loco*, 112 v., 45-62 p., 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.023>. Acesso em: 03 jan.de 2022.

RÊGO, M. de S. **Desenvolvimento e Validação de Sistemas de Monitoramento de Baixo Custo de Temperatura e Umidade Relativa do Ar**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

REZNIK, G.; SCHMIDT, E. Reduction of Emissions by Vegetation - Dry Collection and Wet Resuspension of Fine Dust Particles on Ivy. **GRdL**, *sine loco*, 69 v., 434-438 p., 2009.

SAADATIAN, O. et al. A review of energy aspects of green roofs. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, *sine loco*, 23 v., 155–168 p., 2013.

SAFIKHANI, T. et al. A review of energy characteristic of vertical greenery systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, *sine loco*, 40 v., 450-462 p., 2014.

SALISBURY, FB E ROSS, CW. **Plant Physiology, Hormones and Plant Regulators: Auxins and Giberellins**. 4ª Edição, Wadsworth Publishing, Belmont, 357-381p.,1992.

SCHERER, M. J. **Cortinas Verdes na arquitetura: desempenho no controle solar e na eficiência energética de edificações**. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Cortinas verdes: método experimental para quantificar a variação anual de sombreamento proporcionada pela vegetação. *In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, 10 p., 2015.

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. Determinação do percentual de área de abertura na fachada (PAF) em proteções solares com vegetação. *In: XII ENCONTRO NACIONAL E IIX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, Porto Alegre. **Anais [...]**. Porto Alegre, 10 p., 2013.

SCHERER, M. J.; ALVES, T. S.; REDÍN, J. Envoltórias vegetadas aplicadas em edificações: benefícios e técnicas. **Revista de Arquitetura IMED**, Passo Fundo, 7 v., 1 n., 84-101 p., 2018.

SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. Estudo experimental sobre a capacidade de sombreamento de espécies trepadeiras para aplicação em cortinas verdes. *In: XV ENCONTRO NACIONAL DE AMBIENTE CONSTRUÍDO*, Maceió. **Anais [...]**. Porto Maceió, 2014.

SHARP, R. et al. Introduction to Green Walls: technology, benefits & design. **Green Roofs for Healthy Cities**, *sine loco*, 2008.

SILVEIRA, G. W. P. da; PADOVAN, L. D. G.; FONTES, M. S. G. de C. Fachada Verde e Conforto Térmico em Escritório Universitário. *In: XV FÓRUM AMBIENTAL ALTA PAULISTA*, São Paulo. **Anais [...]**, São Paulo, 2019.

SORTE, P. D. B. **Simulação térmica de paredes verdes compostas de vegetação nativa do cerrado**. Dissertação (Mestrado), Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

SUNAKORN, P.; YIMPRAYOON, C. Thermal performance of biofaçade with natural ventilation in the tropical climate. **Procedia Eng.**, *sine loco*, 21 v., 34-41 p., 2011.

SUKLJE, T. et al. An inverse modeling approach for the thermal response modeling of green façades. **Applied Energy**, 235 v., 1447-1456 p., 2019.

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. Elsevier*, Chicago, 127-153 p., 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-1-78242-380-5.00005-4>. Acesso em 07 jan.de 2022.

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**, Chicago, 76 v., 113–124 p., jun. 2014.

TAKEBAYASHI, H; MORIYAMA, M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. **Building and Environment**, v. 42, p. 2971-2979, 2007.

VOX, G.; BLANCO, I.; SCHETTINI, E. Green façades to control wall surface temperature in buildings. **Building and Environment**, *sine loco*, 129 v., 154–166 p., fev. 2017.

WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. **Annals of Botany**, *sine loco*, 11 v., 41 n., 41–76 p., 1974.

WOLTER, S.; DIEBEL, J.; SCHROEDER, F. G. **Development of Hydroponic Systems for Urban Façade Greenery**. University of Applied Sciences Dresden – Faculty for Horticulture Dresden, Germany, 2009.

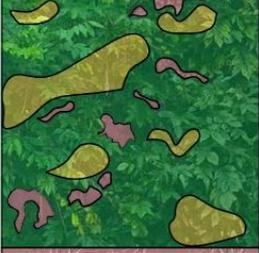
WONG, I.; BALDWIN, A. N. Investigating the potential of applying vertical green walls to high-rise residential buildings for energy-saving in sub-tropical region. **Building**

and Environment, *sine loco*, 97 v., 34-39 p., 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.11.028>. Acesso em: 08 de jan. de 2022.

WONG, N. H. et al. Energy simulation of vertical greenery systems. **Energy and Buildings**, *sine loco*, 41 v., 1401-1408 p., 2009.

WONG, N. H. et al. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. **Building and Environment**, *sine loco*, 45 v., 3 n., 663-672 p., 2010.

APÊNDICE A – RESULTADOS DA POLIGONIZAÇÃO DO 1M² DAS IMAGENS

	<p>AGOSTO - 2021</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,2843 m²</p> <p>FLORES = 0,2618 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,3404 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,3404 m²</p>		<p>SETEMBRO - 2021</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,0349 m²</p> <p>FLORES = 0,1390 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,1613 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,4986 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,6599 m²</p>
	<p>OUTUBRO - 2021</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,013 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,2519 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,5515 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,803 m²</p>		<p>NOVEMBRO - 2021</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,0151 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,3138 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,5033 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,8171 m²</p>
	<p>DEZEMBRO - 2021</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,073 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,8438 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,1111 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,9549 m²</p>		<p>JANEIRO - 2022</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0 m²</p> <p>FLORES = 0,013 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,9843 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,984 m²</p>
	<p>FEVEREIRO - 2022</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0 m²</p> <p>FLORES = 0,0139 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,9860 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,9860 m²</p>		<p>MARÇO - 2022</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,9888 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,011 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,997 m²</p>
	<p>ABRIL - 2022</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,0528 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,7688 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,1782 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,903 m²</p>		<p>MAIO - 2022</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,2843 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0,7472 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,560 m²</p>
	<p>JUNHO - 2022</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,2145 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0,001 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0,001 m²</p>		<p>JULHO - 2022</p> <p>PAREDE E GALHOS = 0,05 m²</p> <p>FLORES = 0 m²</p> <p>100% FOLHAS = 0 m²</p> <p>75% FOLHAS = 0 m²</p> <p>SOMBREAMENTO = 0 m²</p>