BALANÇO ENERGÉTICO DE FACHADA VERDE EM UMA CASA DE BAIXO CUSTO EM CLIMA SUBTROPICAL

Elaise Gabriel (1); Gabriela Meller (2); Willian Magalhães de Lourenço (3); Daniel Gustavo Allasia Piccilli (4); Rutineia Tassi (5)
(1) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, elaisegabriel@gmail.com
(2) Mestre, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, gabrielameller0@gmail.com
(3) Mestre, Doutorando e Professor Assistente de Arquitetura e Urbanismo UFSM/CS, willian.lourenco@ufsm.br
(4) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil e Engenharia Sanitária e Ambiental, dallasia@gmail.com
(5) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil e Engenharia Sanitária e Ambiental, rutineia@gmail.com
Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Av. Roraima, Nº 1000 - Centro De Tecnologia - Prédio INPE - Sala 2061, Bairro Camobi, Santa Maria – RS CEP: 97105900

RESUMO
Em todo o mundo, a infraestrutura verde é cada vez mais utilizada para mitigar os impactos de áreas urbanas densas, contribuindo para a naturalização do ambiente construído. Este estudo avaliou um protótipo em escala real de um sistema vertical de vegetação para avaliar o desempenho térmico em uma habitação de baixo custo localizada em clima subtropical úmido. Uma parede vegetada (PV) foi construída com espécies de plantas *Wisteria floribunda*, sombreando a parede oeste da casa. Uma parede exposta (PE) também foi monitorada permitindo verificar a diferença térmica entre a PV e a PE. O comportamento térmico foi avaliado em diferentes cenários climáticos de dias de verão e inverno. Para apontar a influência das plantas, foi feita uma comparação entre as condições microclimáticas e a transferência de energia nas duas paredes. Dados experimentais referentes às temperaturas superficiais das paredes, à camada de ar da fachada verde e ao ar externo foram utilizados como entrada para o modelo matemático e para avaliar os fluxos de calor. Durante o dia, a planta proporcionou uma redução da temperatura da superfície da parede em até 8,4 ºC. A análise do fluxo de energia através das duas paredes evidenciou uma redução sensível na PV, igual a 99% durante o dia. Os fluxos por condução, onda curta e onda longa foram geralmente menores na PV. Os resultados deste trabalho contribuem para o conhecimento dos efeitos proporcionados pelas paredes vegetadas em termos de resfriamento e aquecimento, influência nas condições microclimáticas de proximidade e transferência de energia.

Palavras-chave: parede vegetada, fluxos de calor, modelo matemático.

ABSTRACT
Worldwide, green infrastructure is increasingly used to mitigate the impacts of dense urban areas, helping to naturalize the built environment. This study evaluated a full-scale prototype of a vertical greenery system (vegetated wall) to evaluate the thermal performance of a low-cost housing located in a humid subtropical climate. A vegetated wall (VW) was built with *Wisteria floribunda* plant species, shading the house's west wall. An adjacent bare wall (BW) was also monitored, allowing to verify the thermal difference between the VW and the BW. The thermal behavior was evaluated in different climatic scenarios of summer and winter days. To point out the influence of plants, a comparison was made between the microclimatic conditions and the energy transfer in the two walls. Experimental data referring to the surface temperature of the walls, the air layer of the VW and the external air temperatures were used as input for the mathematical model and to evaluate the heat fluxes. During the day, the VW reduced the surface temperature of the wall by up to 8.4 °C. Analysis of the heat flux through the two walls showed a significant reduction in the VW, equal to 99% during the day. Conduction, shortwave and longwave fluxes were generally lower on the VW. The results of this work contribute to the knowledge of the effects provided by plants in terms of cooling and heating, influence on microclimatic conditions of proximity and global transfer of energy.

Keywords: green wall, heat fluxes, mathematical model.

1. INTRODUÇÃO

A crescente conscientização a respeito dos problemas ambientais, como as mudanças climáticas, poluição ambiental e destruição das paisagens naturais, acarretou novas técnicas eco sustentáveis para o desenvolvimento urbano e a construção de edifícios (BLANCO et al., 2021). Seguindo os princípios da bioarquitetura apontados para a redução do impacto construtivo, esforços têm sido aplicados para balancear a densidade de edifícios em concreto com o verde das vegetações. Nesse contexto, as infraestruturas verdes (*green infrastructures* – GI, do inglês), surgem como uma solução econômica e sustentável para reduzir os problemas ambientais e climatológicos.

Infraestruturas verdes, como paredes verdes e telhados verdes, têm grande potencial de mitigar os impactos de áreas urbanas densas, trazendo benefícios a nível social, econômico e ambiental (TEOTÓNIO; SILVA; CRUZ, 2018). As maiores vantagens dos sistemas vegetados se encontram no âmbito ambiental, com a redução do ruído urbano, já que a vegetação e o substrato absorvem, dispersam e refletem o som aéreo, melhorando as características acústicas do ambiente (LACASTA et al., 2016; CONNELLY; HODGSON, 2015), atenuação dos efeitos de ilha de calor urbano, por meio da redução de até 2 ºC na temperatura externa (QIN et al., 2012; SUSCA et al., 2011), melhora do conforto térmico e redução do consumo de energia e de sistemas ativos de aquecimento e resfriamento (COMA et al., 2017; SILVA et al., 2016), além de contribuírem para a gestão das águas pluviais, devido à capacidade de retenção e filtração da água (TASSI et al., 2014; CONTESSE et al., 2018; LIBERALESSO et al., 2020; PERSCH et al., 2021). Em relação as vantagens sociais e econômicas, os sistemas vegetados aumentam o valor econômico dos edifícios, criando uma sensação de bem-estar para seus usuários (BIANCHINI; HEWAGE, 2012; BESIR; CUCE, 2018; KOTZEN, 2018).

No Brasil, são poucas edificações que fazem uso das infraestruturas verdes de forma a aproveitar mais do que apenas as vantagens estéticas. Em especial os sistemas verticais de vegetação, como fachadas verdes e paredes vivas (PÉREZ et al., 2014), podem ser uma solução de baixo custo e manutenção para Habitações de Interesse Social (HIS), que geralmente são edificações construídas com baixo investimento e desempenho térmico reduzido. Além disso, a utilização de subprodutos industriais como insumos para a produção de materiais construtivos, como tijolos de solo-cimento por exemplo, se tornam uma opção viável a ser aplicada em conjunto com infraestruturas verdes.

Dessa maneira, o objetivo desse trabalho é analisar o comportamento térmico de um sistema vertical de vegetação (parede vegetada), como uma solução de baixo custo para melhorar a qualidade ambiental e o desempenho térmico de uma habitação de baixo custo, construída com materiais ecológicos, no clima subtropical no sul do Brasil. Esse trabalho descreve um estudo de caso que investiga os fluxos de calor transmitidos por uma parede vegetada em comparação com uma parede exposta, por meio da aplicação de dados monitorados e de modelo matemático.

2. OBJETIVO

O objetivo principal desse trabalho é analisar o comportamento térmico de uma parede vegetada como uma solução de baixo custo para a qualidade térmica de uma habitação de interesse popular (HIS), localizada no clima subtropical, por meio da aplicação de um modelo matemático.

3. MÉTODO

O método desse trabalho está dividido em três etapas:

1. Características do clima e do experimento com a descrição da instalação dos sensores e da composição construtiva da Casa Popular Eficiente;
2. Monitoramento dos dados climáticos, medições de temperaturas internas e externas, umidade relativa, temperaturas superficiais externas e internas, velocidade do vento e radiação solar;
3. Modelo matemático, aplicação dos dados monitorados no modelo matemático definido.

3.1. Características do clima e experimento

A edificação monitorada é a Casa Popular Eficiente (CPE), uma residência unifamiliar construída no campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). O campus da UFSM está na transição entre os biomas Pampa e Mata Atlântica, na região central do Rio Grande do Sul. O clima é subtropical úmido (Cfa), com verões quentes-úmidos (a temperatura máxima diária do ar costuma chegar a 40 ºC no verão) e invernos suaves a frios. A precipitação média anual é de 1.688 mm, bem distribuída ao longo do ano, embora os eventos de chuva convectiva (maior intensidade) sejam mais comuns durante a primavera e o verão, e os eventos de chuva frontal predominem durante o inverno (INMET, 2018). A temperatura média anual é de 19,3 ºC. Durante os invernos,

as temperaturas descem frequentemente para valores negativos (-3 ºC) durante a noite. Em alguns dias de inverno, a temperatura máxima pode chegar a 30 ºC. A cidade também apresenta um dos maiores índices de insolação do Brasil, atingindo uma média de 237,8 horas de sol durante o verão e um total de 2.203,9 horas ao longo do ano (INMET, 2018).

A Figura 1 mostra a planta baixa da edificação e a indicação dos sensores. A casa de 55 m² foi construída com materiais ecologicamente corretos e voltada para a população de baixa renda. As paredes foram construídas com tijolos vazados de solo-cimento, o telhado composto por telhas feitas de polietileno reciclado e alumínio de caixas de papelão Tetra Pak, e o forro e a estrutura são compostos por painéis e vigas OSB. O piso é feito com 70% de policloreto de vinila (PVC) reciclado, e como acabamento da parede foi utilizada uma tinta ecológica (tinta de terra), melhorando a impermeabilidade, o aspecto visual e a higiene (Tabela 1).

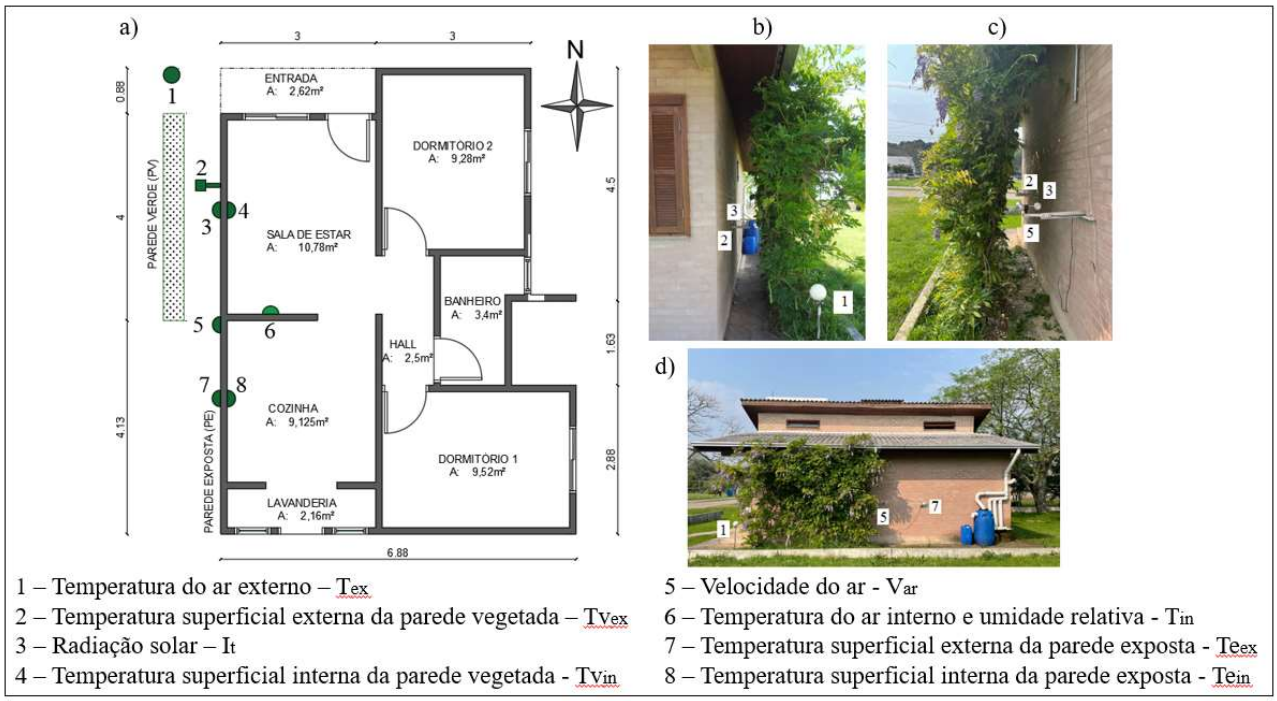


Figura 1 – Protótipo da parede vegetada: parede orientada a oeste com dimensões em metros e posição dos sensores (semicírculos verdes). Da esquerda para a direita: a) planta baixa da CPE; b) vista do norte; c) vista do sul; d) vista do oeste.

Tabela 1 – Características dos materiais construtivos da Casa Popular Eficiente.

Propriedades físicas	**Tijolo de solo-cimento**	**Argamassa**	**Telha Tetra Pak**	**Painel OSB**
Condutividade térmica (W.m-1.K-1)	0,650	1,15	0,20	0,14
Calor específico (J.Kg-1.K-1)	0,80	1,0	1,04	2,30
Densidade (Kg.m-3)	1655	2000	950	650
Emissividade (%)	0,80	0,80	0,80	-
Resistência térmica (K.m2.W-1)	0,4098	-	-	-

3.2 Monitoramento dos dados

A configuração experimental consistiu em uma parede vegetada (PV) e uma parede exposta (PE) (Figura 1). A PV é uma camada vertical da espécie *Wisteria floribunda*, enraizada no solo que cresce sobre uma treliça de corda instalada em metade da parede oeste da habitação. A camada vegetal está distante 0,40 m da parede externa de tijolos, criando um corredor de ar. A instrumentação experimental é composta por três sensores de temperatura DHT22 dentro da casa para as temperaturas superficial da parede interna, temperatura interna do ar e umidade relativa, respectivamente, e três sensores de temperatura DS18B20 para a temperatura superficial da parede externa e temperatura do ar, além de um anemômetro para a velocidade do vento e um sensor de radiação GYML8511, todos acoplados a um Ecologger (Minetto; Piccilli; Tassi, 2021). As medições foram realizadas a cada 5 minutos.

3.2.1 Cenários climáticos

O estudo avaliou o desempenho térmico da parede vegetada (PV) e da parede exposta (PE) ao longo de dois anos. Para simplificar o entendimento dos resultados, eles são apresentados para seis cenários climáticos: três dias quentes (Tair > 26,5 ºC) e três dias frios (Tair < 21,5 ºC) (Tabela 2).

Tabela 2 – Dados monitorados nos cenários climáticos.

Cenário climático	Nome	Critério de seleção	Valores	Tin	RH	Tair	Vair	It
				[ºC]	[%]	[ºC]	[m.s-1]	[W.m-2]
Dia quente de verão	DQV1 31/12/2021	Média diária Tair > 26.5 ºC	Méd.	27,6	74,5	26,6	0,00	335,66
			Mín.	24,9	61,6	17,9	0,00	6,98
			Máx.	31,7	89,2	43,4	2,50	1056,14
	DQV2 15/01/2022		Méd.	31,0	92,5	31,1	0,28	237,21
			Mín.	28,9	85,3	25,8	0,00	0,84
			Máx.	33,8	95,3	40,1	2,4	823,54
	DQV3 25/02/2022		Méd.	28,8	99,4	26,9	0,17	318,03
			Mín.	26,3	91,6	21,6	0,00	2,29
			Máx.	34,3	99,9	39,0	2,96	969,09
Dia frio de inverno	DFI1 17/07/2022	Média diária Tair < 21.5 ºC	Méd.	13,4	99,9	9,7	0,62	54,38
			Mín.	12,6	99,6	6,2	0,00	4,08
			Máx.	14,3	99,9	13,7	2,71	235,21
	DFI2 16/08/2022		Méd.	18,7	99,9	15,0	0,60	180,98
			Mín.	16,1	99,9	11,3	0,00	0,39
			Máx.	20,0	99,9	27,8	4,84	738,32
	DFI3 11/09/2022		Méd.	14,9	84,9	14,3	0,42	227,33
			Mín.	11,8	80,6	3,1	0,00	1,63
			Máx.	17,3	94,1	25,8	1,85	1,74

Para cada um dos cenários climáticos são apresentadas as diferentes variáveis monitoradas. Posteriormente, adaptando o modelo desenvolvido por Susorova *et al*. (2013), Alexandri e Jones (2007), Sailor, Hutchinson e Bokovy (2008), os fluxos de calor foram analisados para entender os mecanismos de resfriamento e aquecimento fornecidos pela parede vegetada. Foram avaliados condução, convecção, radiação de ondas longas e ondas curtas e calor latente. O efeito global do fluxo térmico através das duas paredes pode ser resumido pelo fluxo de calor condutivo através delas, onde os valores positivos apontam para a entrada de energia no ambiente e os valores negativos correspondem à saída de calor para o ambiente externo.

3.3 Modelo matemático

O modelo matemático é baseado nos trabalhos de Susorova *et al*. (2013), Alexandre e Jones (2007), Sailor, Huchinson e Bokovy (2008) e considera o fluxo de calor através da camada vertical da planta apenas em uma direção (mais detalhes nas publicações citadas). Este modelo também inclui parâmetros para radiação condutiva através da parede, transmissão de ondas curtas através da planta, radiação convectiva de e para a planta, radiação de onda longa entre a planta e o ambiente (Figura 2).

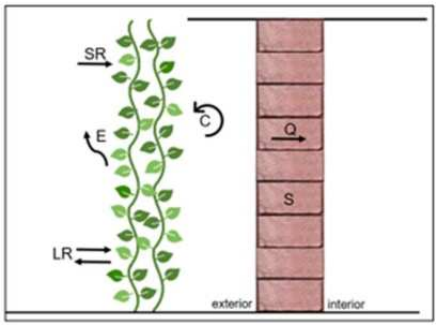


Figura 2 – Balanço de energia na parede vegetada.

O modelo matemático leva em conta a radiação de ondas curtas (SR) (direta, refletida do solo e dispersa do céu) do sol e a radiação de ondas longas (LR) entre o solo, o céu e o ambiente (Straube; Burnett, 2005). Além disso, também é considerada a transferência de calor para o interior da casa por condução (Q), onde o calor é armazenado na parede (S). De forma a simplificar as análises, a evapotranspiração das folhas (E) e a absorção da radiação e a emissão de volta para o ambiente e para a parede por convecção (CV) e não foram consideradas.

O modelo resolve o balanço de energia calculando cada um de seus componentes. As equações 1-8 mostram o fluxo de calor de ondas curtas, ondas longas e condutivas para as paredes vegetada e exposta.

$$SR_E = I_t \alpha_P \quad \text{Equação 1}$$

$$SR_V = I_t \alpha_P \tau \quad \text{Equação 2}$$

$$LR_E = \varepsilon_P \varepsilon_{ceu} \sigma F_{ceu} \left({T_{ceu}}^4 - {T_{Eex}}^4 \right) + \varepsilon_P \varepsilon_{solo} \sigma F_{solo} \left({T_{solo}}^4 - {T_{Eex}}^4 \right) \quad \text{Equação 3}$$

$$LR_V = \tau \varepsilon_P \varepsilon_{ceu} \sigma F_{ceu} \left({T_{ceu}}^4 - {T_{Vex}}^4 \right) + \tau \varepsilon_P \varepsilon_{solo} \sigma F_{\text{solo}} \left({T_{solo}}^4 - {T_{Vex}}^4 \right) \quad \text{Equação 4}$$

$$Q_E = \frac{T_{\text{Eex}} - T_{\text{in}}}{R_E} \quad \text{Equação 5}$$

$$Q_V = \frac{T_{\text{Vex}} - T_{\text{in}}}{R_E} \quad \text{Equação 6}$$

$$T_{ceu} = T_{ex} \left[0.8 + \frac{(T_{orv} - 273)}{250} \right]^{0.25} \quad \text{Equação 7}$$

$$T_{\text{orv}} = T_{\text{ex}} - 2 \quad \text{Equação 8}$$

Onde It é a radiação solar total incidente e monitorada na fachada (W/m2), α_P é a absortividade solar na parede exposta (0-1), τ é a transmissividade da radiação através da camada vegetal (0-1), em função do índice de área foliar (IAF) (Jones, 1992; Minke; Witter, 1985), ε_P é a emissividade da parede exposta (0-1), ε_{CEU} é a emissividade do céu (0-1), σ é a constante de Stefan-Boltzmann (5,67 x 10^{-8} W/m² K^4), F é o fator de visão entre a parede e o céu ou entre a parede e o solo (0 -1) e pode ser calculado em função do ângulo de inclinação da fachada em relação ao solo e ao céu, para uma superfície vertical com ângulo de inclinação de 90º, ambos os fatores de visão são 0,5 (EnergyPlus, 2010). T_{CEU} é a temperatura do céu (K), T_{Vex} é a temperatura da superfície externa da parede vegetada (K), T_{Eex} é a temperatura da superfície externa da parede exposta (K), T_{SOLO} é a temperatura do solo (K), considerada igual à temperatura do ar, T_{ex} é a temperatura do ar externo (K), T_{in} é a temperatura do ar interno (K), T_{ORV} é a temperatura do ponto de orvalho (ºC) (Straube; Burnett, 2005), R_E é a resistência térmica da parede exposta (K.m².W-1).

O LAI influencia o coeficiente de transmissividade τ. Devido à perda de folhas, no inverno, foram adotados coeficientes de transmissividade diferentes para cada estação, com ase na análise de imagens (0,93 para o inverno e 0,25 para o verão) (Wong et al., 2003).

4. RESULTADOS

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nesta pesquisa. Todos os gráficos são referentes aos três dias de verão e três dias de inverno escolhidos. Esses dias foram escolhidos por apresentarem temperatura média do ar menor que 21,5 ºC para o inverno e maior que 26,5 ºC para o verão. Os gráficos mostram os valores acumulados de radiação por condução, radiação de onda curta e radiação de onda longa. De maneira geral, ao se considerar as temperaturas superficiais, notou-se que a parede vegetada proporcionou uma redução de até 8,4 ºC se comparada com a parede exposta.

4.1. Radiação por condução

A influência geral do balanço térmico pode ser resumida pelo fluxo de calor condutivo, que tem papel fundamental na transferência de energia e foi calculado pelas Equações 5 e 6 para as paredes expostas e vegetadas. Como esperado, os fluxos de calor foram maiores durante o dia (Figura 3). Nos dias quentes de verão, a parede exposta ganhou calor durante o dia e a noite, enquanto a parede vegetada perdeu nos mesmos períodos. Nos dias frios de inverno, ambas as paredes perderam energia durante a noite e a parede exposta ganhou durante dois dos três dias. A maior variação entre os fluxos de calor através da PE e da PV ocorreu no Dia Quente de Verão 2 (DQV2): 110 W/m².

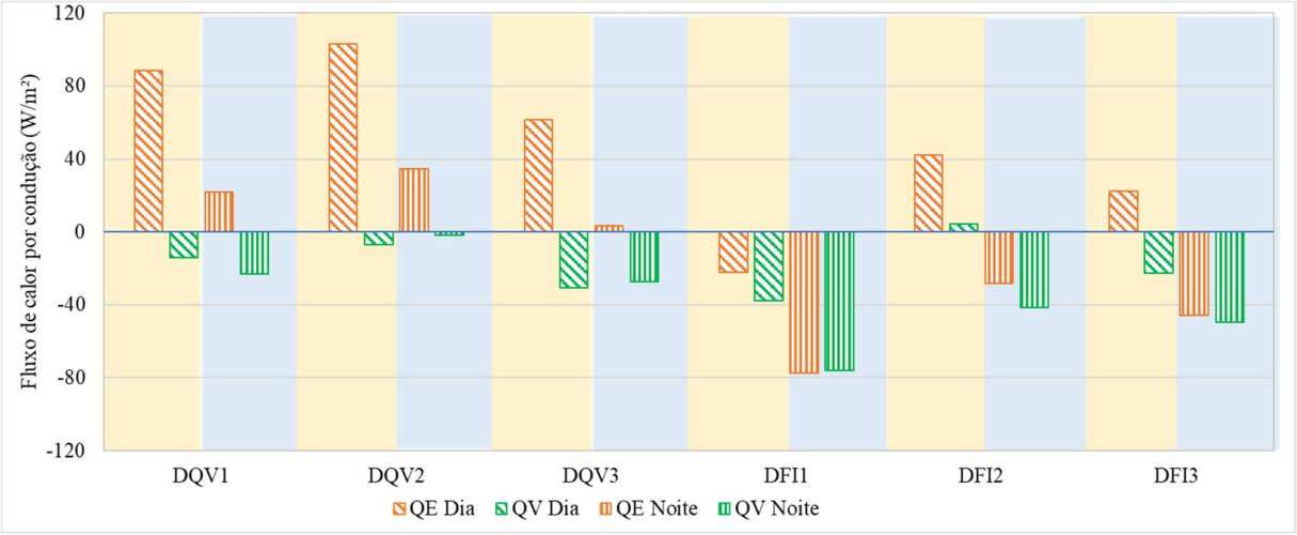


Figura 3 - Radiação de condução cumulativa para PE e PV, diurna (seções amarelas) e noturna (seções azuis).

De maneira geral, a PE apresentou maiores ganhos de calor durante o período diurno, inclusive no DFI1, a parede vegetada perdeu mais calor por condução do que a parede exposta (cerca de 15 W/m²). Ainda durante o dia, a PE apresentou em média 99% a mais de ganhos de calor do que a PV. Os fluxos de calor por condução foram negativos em todas as noites dos dias frios de inverno, o que indica a perda de calor para o ambiente externo.

A Tabela 3 mostra os valores de radiação de condução cumulativa para o dia todo, em cada cenário climático, para as duas paredes analisadas. Nota-se que a parede vegetada resultou em fluxos de calor negativos, o que indica a perda de calor da parede para o ambiente externo, em todos os dias analisados. A parede exposta resultou em mais dias de fluxo de calor positivo, com exceção dos DFI1 e DFI3, que apresentaram perda de calor no balanço total diário.

Tabela 3 – Radiação de condução cumulativa durante o dia inteiro para as paredes exposta e vegetada.

Cenário climático	Parede exposta	Parede vegetada
DQV1	110,24	-37,14
DQV2	137,59	-8,67
DQV3	65,09	-57,48
DFI1	-99,55	-113,78
DFI2	13,91	-37,08
DFI3	-23,08	-72,14

4.2. Radiação por onda curta

O fluxo de calor por onda curta contribui substancialmente para o fluxo de energia através do sistema de paredes vegetadas. O fluxo de calor por onda curta leva em conta a radiação solar total incidente nas paredes, a transmissividade da planta e o fator de absortividade da parede. Como a transmissividade varia entre os cenários dos dias de verão para os dias de inverno (devido à perda das folhas), a SR também variou de forma considerável. Da análise da radiação solar para os seis cenários notou-se que a PE recebeu mais radiação solar do que a PV em todos os dias. Em todos os cenários, a radiação solar média absorvida pela PE foi 41% maior do que pela PV. A diferença máxima (1.168 W/m²) foi registrada no DQV1 (Figura 4).

Nota-se também que para os dias quentes de verão a radiação de onda curta é maior do que nos dias frios de inverno, devido aos altos índices de radiação solar na estação quente, com exceção do DFI3, cuja radiação solar alcançou 5.455 W/m², enquanto o DFI1 recebeu apenas 1.305 W/m². Por exemplo, a radiação solar variou ligeiramente nos dias quentes de verão (média de 7.157 W/m² entre os três dias), considerando a transmissividade como fixa em 0,25, tem-se uma radiação de onda curta de 1.781 W/m². Enquanto durante os dias frios de inverno, a média de radiação solar total incidente foi de 3.701 W/m² (cerca de 52% menor), resultando em uma radiação de onda curta de 861 W/m², metade do valor incidente na parede exposta.

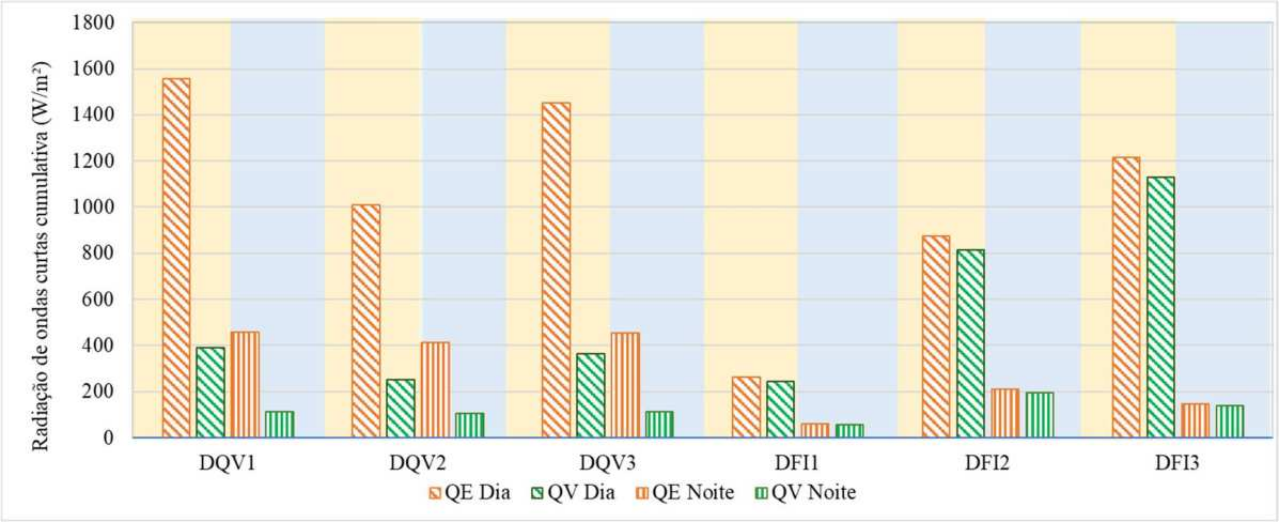


Figura 4 - Radiação de ondas curtas cumulativa para PE e PV, diurna (seções amarelas) e noturna (seções azuis).

4.3. Radiação por onda longa

Os fluxos cumulativos de radiação de onda longa foram quase sempre negativos para ambas as paredes. Os resultados mostraram que o LR é sempre maior para a PE do que para a PV (Figura 5). Durante o dia, a PV perdeu em média 88% menos calor de onda longa do que a PE, e durante a noite, cerca de 44%. A diferença máxima (392 W/m²) foi registrada para o DQV3. A PV perdeu menos calor do que a PE, devido ao efeito de barreira térmica proporcionado pela camada vegetal, mesmo no inverno, quando perdeu suas folhas.

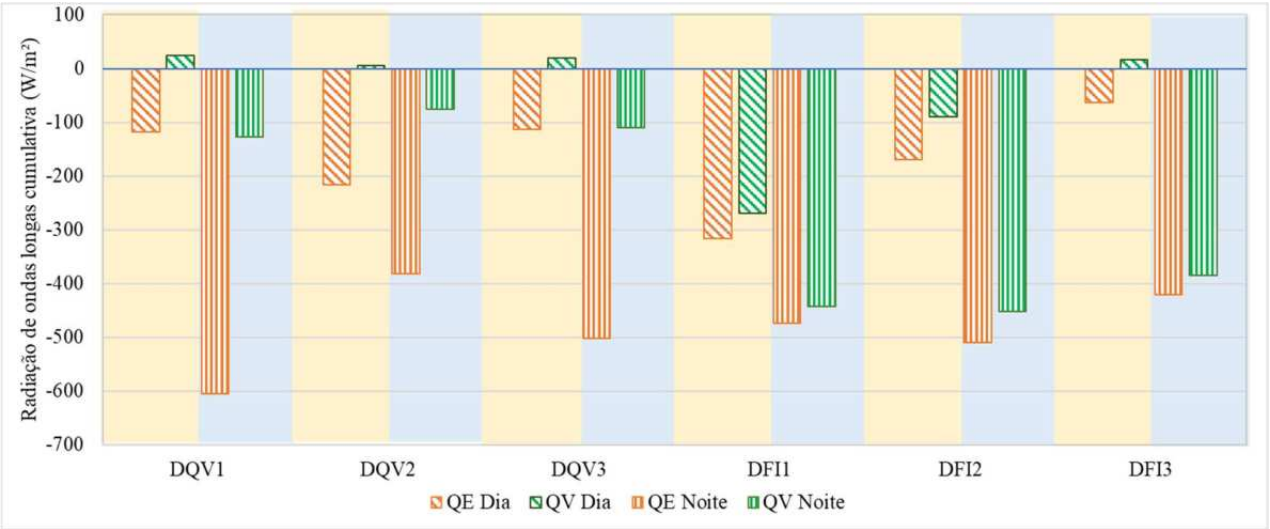


Figura 5 - Radiação de ondas longas cumulativa para PE e PV, diurna (seções amarelas) e noturna (seções azuis).

5. CONCLUSÕES

Esse trabalho teve com finalidade a análise do desempenho térmico da uma parede vegetada instalada em uma edificação de baixo custo, construída com materiais ecológicos. A partir da análise dos seis cenários foi possível verificar que a parede vegetada apresenta maior impacto durante os dias de verão. Entre os três dias quentes de verão, é possível notar maiores fluxos de calor por condução no DQV2, que possui as maiores médias de temperatura do ar externo.

Em relação ao fluxo de calor por ondas curtas, o principal componente que influencia no fluxo é a radiação solar, dessa forma, é possível notar que os dias quentes de verão com maiores médias de radiação solar (DQV1, DQV3, DQV2, respectivamente) apresentaram maiores taxas de entrada de calor de onda curta na edificação. De forma análoga, para os dias frios de inverno, maiores médias de radiação também resultaram em maiores fluxos de calor por onda curta (DFI3, DFI2, DFI1, respectivamente), embora os dias frios de inverno tenham resultado em menores fluxos de calor por onda curta do que os dias quentes de verão.

Ao considerar o fluxo de calor por onda longa, percebeu-se que a LR representou um meio de dispersar o calor, sendo que esta perda de energia foi geralmente menor para a parede coberta do que para a descoberta.

Conforme esperado, as diferenças durante a noite foram menos marcantes do que durante o dia, o que confirma a influência já conhecida da radiação solar no equilíbrio energético de ambas as paredes, particularmente no que se refere à vegetação. Os resultados do fluxo de calor demonstraram o quão bem a camada vegetal protegeu a parede do superaquecimento em dias mais quentes.

De forma geral, a taxa de queda da temperatura na superfície externa da parede localizada atrás da camada vegetal foi mais lenta em comparação com a temperatura no ambiente externo. A camada vegetal funcionou como uma barreira que impede a transferência de calor da camada interna para a externa, reduzindo a taxa de resfriamento da parede. Além de proporcionar sombra, a parede vegetada também pode funcionar como uma barreira contra o vento, ajudando a resfriar as paredes externas das casas. Consequentemente, edifícios cobertos por vegetação apresentam maior estabilidade térmica e necessitam de menos energia para atingir o conforto térmico.

Como continuidade deste trabalho, serão analisados os fluxos de calor durante todo o período de monitoramento (cerca de dois anos e meio de dados monitorados) por convecção, evapotranspiração e as trocas de radiação entre a parede exposta e a camada vegetal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRI, E.; JONES, P. Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the built environment: Comparison with experimental results. **Building and Environment**, v. 42 (8), p. 2835-2849, 2007.

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

BIANCHINI, F.; HEWAGE, K. Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: a lifecycle approach. **Building and Environment**, 58, 152–162, 2012.

BLANCO, I.; CONVERTINO, F.; SCHETTINI, E.; VOX, G. Energy analysis of a green façade in summer: an experimental test in Mediterranean climate conditions. **Energy and Buildings**, v. 245, p. 111076, 2021.

COMA, J.; PÉREZ, G.; DE GRACIA, A.; BURÉS, S.; URRESTARAZU, M.; CABEZA, L.F. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: a comparative study between green walls and green facades. **Building and Environment**, 111, 228–237, 2017.

CONNELLY, M.; HODGSON, M. Experimental investigation of the sound absorption characteristics of vegetated roofs. **Building and Environment**, 92, 335–346, 2015.

CONTESSE, M.; VAN VLIET, B.J.M.; LENHART, J. Is urban agriculture urban green space? A comparison of policy arrangements for urban green space and urban agriculture in Santiago de Chile. **Land Use Policy**, 71 (October), 566–577, 2018.

ENERGYPLUS. **Engineering reference**. United States Department of Energy, 2010.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010**. Instituto Nacional de Meteorologia. Brasília, 2018.

JONES, H.G. **Plants and microclimate**. A quantitative approach to environmental plant physiology. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

KOTZEN, B. Green roofs social and aesthetic aspects. In: Pérez, G., Perini, K. (Eds.), **Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability**. pp. 273–281, 2018.

LACASTA, A.M.; PENARANDA, A.; CANTALAPIEDRA, I.R.; AUGUET, C.; BURES, S.; URRESTARAZU, M. Acoustic evaluation of modular greenery noise barriers. **Urban Forestry & Urban Greening**, 20, 172–179, 2016.

LIBERALESSO, T.; CRUZ, C.O.; SILVA, C.M.; MANSO, M. Green infrastructure and public policies: an international review of green roofs and green walls incentives. **Land Use Policy**, v. 96, p. 104693, 2020.

MINETTO, B.; PICCILLI, D.G.A.; TASSI, R. **Ecologger 2021**. Patent: Software. Register number: BR512021000388-8. Date: March 3, 2021. Title: "ECOLOGGER", Institution: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial, 2021.

MINKE, G.; WITTER, G. **Häuser Mit Grünem Pelz, Ein Handbuch zur Hausbegrünung**. Köln: Edition Fricke, 1985.

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.

PERSCH, C.G.; TASSI, R.; MINETTO, B.; ALLASIA, D.G. Assessing the scale dynamics of the rainfall retention of green roofs in a subtropical climate. **Journal of Environmental Engineering**, 147 (11) 04021054, 2021.

QIN, X.; WU, X.; CHIEW, Y.; LI, Y. A green roof test bed for stormwater management and reduction of urban heat island effect in Singapore. **British Journal of Environment and Climate Change**, 2 (4), 410–420, 2012.

SAILOR, D. J.; HUTCHINSON, D.; BOKOVY, L. Thermal property measurements for eco roof soils common in the western U.S. **Energy and Buildings**, v. 40(7), p. 1246–1251, 2008.

SILVA, C.M.; GOMES, M.G.; SILVA, M. Green roofs energy performance in Mediterranean climate. **Energy and Buildings**, 116, 318–325, 2016.

STRAUBE, J.; BURNETT E. **Building science for building enclosures**. Westford: Building Science Press Inc, 2005.

SUSCA, T.; GAFFIN, S.R.; DELL'OSSO, G.R. Positive effects of vegetation: urban heat island and green roofs. **Environmental Pollution**, 159 (8–9), 2119–2126, 2011.

SUSOROVA, I.; ANGULO, M.; BAHRAMI, P.; STEPHENS, B. A model of vegetated exterior façades for evaluation of wall thermal performance. **Building and Environment**, v. 67, p. 1-13, 2013.
TASSI, R.; TASSINARI, L.C.S.; PICCILLI, D.G.A.; PERSCH, C.G. Telhado verde: uma alternativa sustentável para a gestão das águas pluviais. **Ambiente Construído**, 14 (1), 139–154, 2014.
TEOTÓNIO, I.; SILVA, C.M.; CRUZ, C.O. Eco-solutions for urban environments regeneration: the economic value of green roofs. **Journal of Cleaner Production**, 199, 121–135, 2018.
WONG, N.H.; CHEONG, D.K.W.; YAN, H.; SOH, J.; ONG, C.L.; SIA, A. The effect of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. **Energy and Buildings**, v. 35(4), p. 353e64, 2003.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.