

Aspectos térmicos de paredes vivas: uma revisão sobre a influência de diferentes materiais da estrutura e espécies vegetais

Luiz Vitor Crepaldi Sanches

Mestrando, UNESP, Brasil.

lv.sanches@unesp.br

Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Professora Doutora, UNESP, Brasil.

Solange.fontes@unesp.br

Maximiliano dos Anjos Azambuja

Professor Doutor, UNESP, Brasil.

m.azambuja@unesp.br

Renata Cardoso Magagnin

Professora Doutora, UNESP, Brasil.

renata.magagnin@unesp.br

RESUMO

O uso de paredes vivas, uma tipologia de jardim vertical, favorece a redução das temperaturas superficiais de edificações e a escolha da espécie vegetal adequada pode contribuir para otimizar o resfriamento passivo de edificações. Para melhor compreender essa questão, este trabalho objetivou avaliar o desempenho térmico de paredes vivas. Para isso, foi realizado uma revisão sistemática na base de dados Scopus com o uso das palavras-chave *green wall, living wall, vertical Garden, e thermal performance*, presentes no título dos artigos, no espaço temporal de 2011 a 2021, e nas áreas de arquitetura e urbanismo; engenharia; ciência ambiental; agricultura e ciências biológicas. Foram identificados 67 artigos e, após triagem dos artigos adequados ao tema, foram selecionados 29. A análise dos resultados evidenciou que as camadas, o tipo de material (PVC e feltro) e as espécies utilizadas influenciam o desempenho do sistema. Em relação as espécies, apenas 11 artigos identificaram os nomes e somente 4 avaliaram o desempenho térmico de cada uma. A estrutura do tipo PVC se mostrou mais eficiente, com maior vida útil e durabilidade da vegetação, por possuir maior área para desenvolvimento radicular.

PALAVRAS-CHAVE: Jardim vertical. Sistema de parede viva. Desempenho térmico.

1. INTRODUÇÃO

Devido os efeitos adversos causados pela urbanização nos microclimas urbanos, que contribuem para a formação das ilhas de calor, a utilização conjunta de diferentes tipologias da infraestrutura verde, como a arborização urbana, telhados verdes, jardins verticais entre outros pode contribuir para amenizar essa questão. Ao sombrear paredes e pavimentos, a vegetação favorece a redução das temperaturas superficiais, contribui para aumentar a umidade pela evapotranspiração e, conseqüentemente, favorece a redução do fluxo de calor para o interior das edificações.

Devido à diminuição das áreas disponíveis para a jardinagem, tem se praticado cada vez mais o uso de paredes vivas em edifícios. A parede viva é uma tipologia de jardim vertical (CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2021), que além de cumprir uma função estética, pode promover o bem estar térmico e social em ambientes internos e externos.

Vários autores têm se empenhado no entendimento dos efeitos térmicos das paredes vivas, entre os quais: Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017), Reséndiz et al. (2018), Chen et al. (2019), Nan et al. (2019), Charoenkit et al. (2020), Shafiee et al. (2020), Yuan et al. (2020), e Gräf et al. (2021). Dentre esses autores, Yuan et al. (2020) e Gräf et al. (2021) enfatizaram o efeito da vegetação no desempenho térmico do sistema parede viva.

Nesse contexto, este artigo analisa através de uma revisão de literatura como diferentes materiais da estrutura (PVC e feltro) e espécies vegetais influenciam o desempenho térmico do sistema parede viva (composto pela estrutura, substrato e espécies vegetais).

2. OBJETIVO

Analisar a influência de diferentes materiais da estrutura (PVC e feltro) e espécies vegetais no desempenho térmico do sistema da parede viva.

3. METODOLOGIA

Para responder como os diferentes materiais da estrutura (PVC e feltro) e espécies vegetais influenciam o desempenho térmico do sistema de parede viva, esta pesquisa utilizou como metodologia uma revisão de literatura. Para isso, o processo de pesquisa foi definido em 3 fases: 1. escolha da base de dados a ser explorada e definição das palavras-chave para a

realização da busca; 2. definição dos aspectos de elegibilidade ou não do artigo científico e 3. parâmetros de análise dos artigos.

A base de dados escolhida foi Scopus, por conter periódicos de grande impacto, a partir da utilização das palavras-chave em inglês, *green wall*, *living wall*, *vertical garden*, e *thermal performance*, presentes no título, entre o período de 2011 a 2021, nas seguintes áreas de interesse: arquitetura e urbanismo; engenharia; ciência ambiental; agricultura e ciências biológicas e energia. A partir desses filtros foram selecionados 67 artigos acadêmicos.

O critério de inclusão envolveu artigos que avaliaram os aspectos de desempenho térmico de paredes vivas, por meio de medições em edificações. Para critério de exclusão não foram avaliados, por exemplo, os estudos de simulação, fachadas verdes, telhados verdes, entre outros. Após a seleção dos 67 artigos acadêmicos foram aplicados critérios de elegibilidade, como: 1 – leitura dos títulos, resumos e palavras-chave; 2 – Assunto do artigo; 3 – disponibilidade de leitura do artigo completo. Com a aplicação dos critérios, os artigos foram reduzidos de 67 para 29.

Os artigos selecionados foram: Franco et al. (2012); Mazzali; Peron e Scarpa (2012); Chen; Li e Liu (2013); Mazzali; Peron e Romagnoni (2013); Perini e Ottelé (2013); Feng e Hewage (2014); Jorgensen; Dresboll e Thorup-Kristensen (2014); Martensson et al. (2014); Perini e Ottelé (2014); Pulselli et al. (2014); Scarpa; Mazzali e Peron (2014); Charoenkit e Yiemwattana (2017); Jorgensen et al. (2018); Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017); Safikhani e Baharvand (2017); Tudiwer e Korjenic (2017); Reséndiz et al. (2018); Chen; Ding e Liu (2019); Cosola et al. (2019); De Masi et al. (2019); Nan et al. (2019); Tudiwer; Teichmann e Korjenic (2019); Charoenkit; Yimwattana e Rachapradit (2020); He et al. (2020); Mannan e Al-Ghamdi (2020); Shafiee et al. (2020); Yuan et al. (2020); Charoenkit e Yiemwattana (2021) e Gräf et al. (2021).

A análise desses artigos envolveu parâmetros relacionados a caracterização geral (dados dos autores, ano de publicação, tipo de estrutura de parede viva, orientação geográfica da parede viva, clima do local) e caracterização sobre a estrutura utilizada, vegetação e técnicas de análise (instalação de sensores de temperatura).

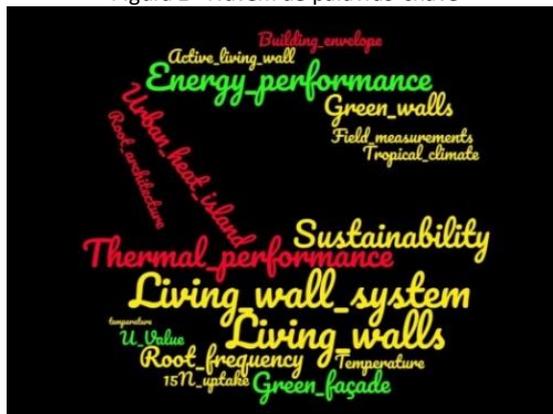
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação dos resultados inicia-se com uma caracterização inicial da pesquisa (palavras-chave, países, universidades, periódicos), em seguida os dados das estruturas utilizadas, vegetação e métodos e técnicas de análise da influência de espécies vegetais na atenuação térmica de sistemas de paredes vivas.

4.1 Caracterização geral

A Figura 1 apresenta a nuvem de palavras coletada e encontrada nos 29 artigos analisados. As palavras que mais se destacam são paredes vivas, sistemas de paredes vivas (estruturas), desempenho térmico, e desempenho energético. Porém, é importante ressaltar que nenhum dos artigos continha palavras-chave relacionadas ao desempenho térmico das espécies vegetais utilizadas. As únicas menções relacionadas às plantas são sobre a arquitetura do sistema radicular e frequência de enraizamento.

Figura 1 - Nuvem de palavras-chave



Fonte: Adaptado de WordCloud, 2003.

A Tabela 1 apresenta os periódicos científicos onde os 29 artigos foram publicados: dezesseis nos periódicos ‘Energy and Buildings’ e ‘Building and Environment’, o que representa aproximadamente 55% do total. Todos os demais periódicos apresentaram apenas um artigo com o respectivo tema.

Tabela 1 - Quantidade de artigos publicados em periódicos e seus respectivos Qualis (CAPES)

Número de artigos	Qualis Capes	Periódico
11	A1	Energy and Buildings
5	A1	Building and Environment
1	A1	Eco-Architecture; Ecological Engineering; Energy Conversion and Management; Energy Reports; Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics; Journal of Cleaner Production; Journal of Environmental Management; Landscape and Ecological Engineering; Plant Soil; Sensors; Sustainability; Urban Ecosyst e Urban Forestry & Urban Greening

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Fonte: Os Autores, 2022.

Nota-se na Tabela 2 que 15 instituições publicaram apenas 1 artigo cada. Contudo, 20,6% das publicações se concentram nas Universidades de Veneza, na Itália, e de Naresuan, na Tailândia, com três artigos em cada instituição. Entretanto, a baixa quantidade de publicações geradas por cada uma demonstra que a temática, ainda, é pouco estudada.

Tabela 2 - Distribuição das publicações por Instituições de ensino e/ou pesquisa

Número de artigos	Instituição de ensino e/ou pesquisa	País
3	IUAV Universidade de Veneza	Itália
3	Universidade de Naresuan	Tailândia
2	Universidade de Tecnologia de Viena	Áustria
2	Universidade de Ciência e Tecnologia de Huazhong	China
2	Universidade Politécnica de Madri	Espanha
2	Universidade de Genova	Itália
1	Universidade do Sul da Austrália	Austrália
1	Universidade de Recursos Naturais e Ciências da Vida	Áustria
1	Universidade da Columbia Britânica	Canadá
1	Universidade Hamad Bin Khalifa	Catar
1	Escola de Paisagem e Arquitetura	China
1	Universidade de Tecnologia do Sul da China	China
1	Universidade de Copenhague	Dinamarca
1	Instituto Tecnológico Dinamarquês	Dinamarca
1	Universidade de Sevilha	Espanha
1	Universidade do Tennessee	Estados Unidos
1	Universidade Islâmica Azad	Irã
1	Universidade de Ciência e Tecnologia	Irã
1	Universidade de Sannio	Itália
1	Universidade de Siena	Itália
1	Universidade Sueca de Ciências Agrônomicas	Suécia

Fonte: Os Autores, 2022.

4.2. Estrutura, vegetação e métodos e técnicas de análise

As estruturas das paredes vivas utilizadas nas pesquisas selecionadas estão listadas na Tabela 3. Nota-se que as estruturas constituídas por feltro foram utilizadas em 44,8% das pesquisas científicas, PVC e feltro (24,10%), módulo de PVC (17,2%), espuma de PU (6,9%) e as de menor utilização foram as constituídas de lã de rocha e os de módulos de concreto (3,5% cada).

Tabela 3 - Estrutura da parede viva utilizada nos artigos selecionados

Estrutura da Parede viva	Número de artigo	Autores
Feltro	13	Franco et al. (2012); Mazzali et al. (2012); Chen, Li e Liu (2013); Jorgensen et al. (2014); Scarpa et al. (2014); Pulselli et al. (2014); Jorgensen et al. (2017); Tudiwer; Korjenic (2017); Chen et al. (2019); Nan et al. (2019); Tudiwer et al. (2019); Mannan; al-Ghamdi, (2020); Yuan et al. (2020) e Gräf et al. (2021)
PVC e Feltro	7	Mazzali et al. (2013); Perini et al. (2013); Feng; Hewage (2014); Perini; Ottelé (2014); Cosola et al. (2019); Charoenkit et al. (2020) e Charoenkit e Yiemwattana (2021)
Módulo de PVC	5	Charoenkit; Yiemwattana (2017); Razzaghmanesh; Razzaghmanesh (2017) e Shafiee et al. (2020)
Espuma de Poliuretano (PU)	2	He et al., 2017; De Masi et al., 2019
Lã de Rocha	1	Martensson et al. (2014)
Módulo de Concreto	1	He et al. (2020)

Fonte: Os Autores, 2022.

Sobre o uso de PVC na estrutura da parede viva, alguns autores (CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2017; RAZZAGHMANESH; RAZZAGHMANESH, 2017; SHAFIEE et al., 2020) citam que esse material é de mais fácil aplicação, reduz o custo de implantação, proporciona maior volume de substrato e, conseqüentemente, maior área de exploração radicular, menor custo de manutenção e maior tempo de vida útil da estrutura. Ainda segundo esses autores, o feltro possui tempo de vida útil de 10 anos, enquanto o PVC é de 20 anos.

Todos os autores foram pontuais na eficiência térmica das paredes vivas, ao citarem que o uso desta técnica favorece o resfriamento passivo das superfícies estudadas e do ambiente interno. Entretanto, os tipos de estrutura apresentaram diferenças significativas quanto à taxa de transferência de calor da superfície externa para o ambiente interno.

Charoenkit e Yiemwattana (2021) observaram a redução de 2,4°C no ambiente interno com o uso de módulos de PVC. Charoenkit e Yiemwattana (2021), ao comparar o uso de feltro com módulos de PVC, observaram que os módulos contribuíram para uma redução de 3°C na temperatura, em relação à estrutura com feltro.

Os estudos que avaliam as paredes vivas de feltro comparando com módulos de PVC descrevem que o feltro deve perder mercado rapidamente nos próximos anos, pois as paredes vivas de módulos de PVC necessitam de menor manutenção e as plantas apresentam o dobro de vida útil, ou seja, no feltro vivem cerca de 5 anos e nos módulos é de 10 anos.

A Tabela 4 quantifica o número de artigos quanto à orientação geográfica das paredes vivas estudadas, pois este é um fator fundamental, tendo em vista que a orientação demonstra se a estrutura está recebendo a máxima incidência de raios solares durante o dia e, conseqüentemente, maior ganho de fluxo de calor.

Aproximadamente 63% dos artigos não descreveram qual o posicionamento geográfico da parede viva estudada, demonstrando uma falha metodológica durante a elaboração do artigo científico. Ressalta-se que para as localidades situadas no hemisfério norte a orientação geográfica com maior recebimento de radiação solar é a sul, enquanto no hemisfério sul a orientação mais favorável à recepção de luz solar é a norte. Apenas Chen et al. (2019) analisaram as quatro orientações geográficas para a verificação das diferenças do potencial térmico das paredes vivas em diferentes posições.

Tabela 4 - Orientação geográfica das paredes vivas estudadas

Orientação geográfica	Número de artigos	Porcentagem
Não informado	19	63,3
Oeste	4	13,3
Sul	3	10,0
Sudoeste	2	6,7
Sudoeste e Leste	1	3,3
Norte, Sul, Leste e Oeste	1	3,3

Fonte: Os Autores, 2022.

Entretanto, o que mais chama a atenção são as pesquisas feitas por Chen, Li e Liu (2013) realizada na China, Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017) na Austrália, Charoenkit et al. (2020) e Charoenkit e Yiemwattana, (2021) ambos na Tailândia com paredes voltadas para a direção oeste.

A Tabela 5 apresenta os climas dos locais de desenvolvimento das pesquisas. Pode-se observar que 65,6% dos artigos não informaram o clima da região. Em média 17% dos estudos

foram realizados em clima mediterrâneo (quente e seco) e 13,7% em clima tropical úmido (quente e úmido) e 3,4% foram realizados em clima continental úmido (verão quente e inverno rigoroso com temperaturas abaixo de -3°C).

O mesmo padrão foi observado em relação à época de realização da avaliação térmica, uma vez que 66,7% dos artigos não a mencionam; 16,7% foram realizados no verão, época mais quente do ano e quando as paredes recebem mais luz solar; 13,3% realizaram estudos tanto no verão como no inverno, avaliando o potencial das paredes vivas de servirem como isolantes térmicos no inverno, podendo retardar o resfriamento do ambiente interno e 3,3% foram realizados na primavera, verão e outono.

Tabela 5 - Clima da localidade onde a pesquisa foi realizada

Clima	Número de artigos
Não informado	19
Mediterrâneo	5
Tropical úmido	4
Continental úmido	1

Fonte: Os Autores, 2022.

Todos os artigos analisados descrevem a importância da medição de temperatura em uma superfície controle, ou seja, sem a influência da parede viva, na superfície da parede viva e em ambas as superfícies da parede que servem de suporte para a parede viva (face externa e interna). Os autores em unanimidade descrevem que os sensores de mensuração de temperatura e umidade devem sempre ser instalados no centro da parede viva, independente da estrutura, para que não haja influência das bordas.

Praticamente todos os estudos utilizaram sensores de temperatura termopar tipo K com precisão de 1°C , instalados em diferentes pontos, apenas o estudo desenvolvido por Razzaghmanesh; Razzaghmanesh (2017) usou sensores ibutton.

O que diferencia a maioria dos artigos é a localização dos sensores de temperatura. No entanto, todos os autores realizaram a mensuração da temperatura do ambiente externo, da superfície da parede, da superfície interna da parede e do ambiente interno.

Na Tabela 6 pode-se observar a localização da instalação dos sensores de temperatura nas paredes vivas. Em 65,5% dos artigos, os experimentos utilizaram apenas a instalação dos sensores de temperatura no ambiente externo da parede viva e no ambiente interno da edificação, para analisar se a parede viva proporciona ou não resfriamento passivo.

Tabela 6 Local de instalação dos sensores de temperatura na parede viva

Local de instalação dos sensores de Temperatura	Número de instalações*
1 m da superfície da planta	1
0,1 m da superfície da planta	1
0,3 m da superfície da planta	1
Superfície da planta	7
Superfície externa do módulo	3
Substrato de cultivo	1
Superfície externa da parede	5
Superfície interna da parede	2
Ambiente interno	29
Ambiente externo	29

* Um único artigo pode ter instalado sensores em mais de um local.

Fonte: Os Autores, 2022.

Um estudo mais completo seria aquele que avaliasse o desempenho térmico de todos os componentes entre o ambiente externo e o interno, o estudo que mais se aproximou deste objetivo foi o de Charoenkit e Yiemwattana (2017), pois os autores além de avaliarem a influência do substrato, também estudaram todas as superfícies de forma independente.

A mensuração da temperatura na superfície das plantas foi realizada por Chen, Li e Liu (2013), Charoenkit e Yiemwattana (2017); He et al. (2017), Razzaghmanesh e Razzaghmanesh (2017), Chen et al. (2019), Charoenkit et al. (2020) e Charoenkit e Yiemwattana (2021). Segundo os autores o intuito de avaliar a temperatura na superfície das plantas e próximas a elas é que elas fazem fotossíntese e, conseqüentemente, as trocas gasosas devido a transpiração, lançam umidade no ambiente, e podem favorecer o resfriamento da temperatura do ar e melhorar as condições de conforto térmico.

Apenas He et al. (2017), Chen et al. (2019) e Charoenkit e Yiemwattana (2021), realizaram análise da temperatura na superfície externa dos módulos. A partir dessa medida é possível determinar a influência térmica da espécie vegetal, ao subtrair a temperatura superficial externa dos módulos com e sem a vegetação.

Em apenas um dos estudos foi mensurado a temperatura do substrato de cultivo (HE et al., 2017). Os substratos de cultivo são muitas vezes negligenciados durante a pesquisa científica, pois se deve levar em consideração que os diferentes tipos de substratos possuem densidades e porosidades (água + ar) distintas e, conseqüentemente, a taxa de transferência de calor será diferente.

As mensurações sobre as temperaturas entre os módulos e a superfície externa da parede foram feitas em cinco estudos (MAZZALI et al., 2012; MAZZALI et al., 2013; HE et al., 2017; RAZZAGHMANESH; RAZZAGHMANESH, 2017; CHAROENKIT; YIEMWATTANA, 2021). Esta medida determina qual a influência da estrutura física de sustentação na taxa de transferência de calor.

Todos os estudos mensuraram a temperatura superficial do ambiente interno, e de um controle na parede estrutural estudada, sem a infraestrutura de parede viva para efeito de comparação dos resultados. A parede sem as plantas tem a tendência de transmitir mais o fluxo de calor e elevar as temperaturas de suas superfícies e as do ambiente interno.

Quanto à frequência da coleta dos dados, apenas 20% dos estudos relataram a sua periodicidade e descreveram o uso de dataloggers para captura automatizada dos dados. He et

al. (2017) coletaram dados a cada 5 minutos, Charoenkit e Yiemwattana (2017) e Charoenkit et al. (2020) a cada 10 minutos, Charoenkit e Yiemwattana (2021) e Chen, Li e Liu (2013) a cada 30 minutos, e Chen et al. (2019) a cada 2 horas. Os demais artigos não descrevem qual a periodicidade.

Os autores relatam que é fundamental o conhecimento das espécies vegetais a serem utilizadas na parede viva, pois cada uma possui capacidade de resfriamento. Contudo, o sistema de projeto de paredes vivas com função de resfriamento passivo é complexo, tendo em vista que o projetista deve ter conhecimento de resistência térmica dos materiais da parede, da estrutura da parede viva, do substrato e das plantas, além dos dados geográficos e de radiação solar.

Dos 29 artigos, apenas 11 deles (38%) descreveram quais as espécies vegetais cultivadas. Desses, apenas 4 (14% do total) avaliaram o desempenho térmico individual das espécies vegetais. No total, os onze artigos descreveram 65 espécies cultivadas, entretanto avaliaram de forma individual apenas 15 espécies (Tabela 7). Observa-se que 19 espécies (29,2%) foram utilizadas em mais de um estudo.

Noventa e sete por cento das espécies vegetais descritas nos artigos possuem o ciclo de vida do tipo perene (tempo de vida indeterminado), e apenas 3% com ciclo anual (*Goodenia pinnatifida* e *Tibouchina urvilleana*).

Tabela 7 - Espécies vegetais cultivadas em paredes vivas

Frequência de uso	Nome Científico
3	<i>Cuphea hyssopifolia</i> Humb; <i>Fragaria vesca</i> cv. 'Smålan'; <i>Sesleria heuffleriana</i>
2	<i>Aerva sanguinolenta</i> (L.) Blume; <i>Alternanthera bettzickiana</i> (Regel); <i>Alternanthera sp.</i> ; <i>Asystasia gangetica</i> (L.) T. Anderson; <i>Bergenia cordifolia</i> ; <i>Campanula poscharskyana</i> ; <i>Convolvulus sabatius</i> Viv; <i>Cynodon dactylon</i> X <i>Cynodon trasvalensis</i> 'Patriot'; <i>Geranium sanguineum</i> cv. 'Max Frei'; <i>Ligustrum sinense</i> Lour. Cv <i>Variegatum</i> ; <i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC; <i>Portulaca grandiflora</i> Hook; <i>Portulaca oleracea</i> L.; <i>Salvia nemorosa</i> ; <i>Tradescantia spathacea</i> Sw; <i>Veronica officinalis</i> cv. 'Allgrün'
1	<i>Achillea millefolia</i> ; <i>Alchemilla mollis</i> ; <i>Anemone sp.</i> ; <i>Antennaria dioica</i> ; <i>Armeria maritima</i> ; <i>Atriplex semibaccata</i> (Berry Saltbush); <i>Aubretia x cultorum</i> ; <i>Brachyscome ciliaris</i> (Variable Daisy); <i>Carex morrowii</i> ; <i>Dianthus deltoides</i> ; <i>Dicondra</i> ; <i>Enneapogon nigricans</i> (Black Heads); <i>Excoecaria cochinchinensis</i> ; <i>Geranium Johnson's blue</i> ; <i>Geranium sanguineum</i> ; <i>Goodenia pinnatifida</i> ; <i>Hardenbergia violacas</i> ; <i>Heuchera micrantha</i> Palace Purple; <i>Ibeiris sempervirens</i> ; <i>Iris sibirica</i> ; <i>Ixiolaena leptolepis</i> ; <i>Juniperus communis</i> <i>Sedum spurium</i> ; <i>Kennedia prostrata</i> ; <i>Lonicera pileata</i> ; <i>Molinia caerulea</i> ; <i>Nepeta faassenii</i> ; <i>Oenothera missouriensis</i> ; <i>Parthenocissus tricuspidata</i> ; <i>Paspalum vaginatum</i> ; <i>Pilosella aurantiaca</i> ; <i>Pittosporum tobira</i> ; <i>Plumbago capensis</i> ; <i>Poa labillardieri</i> (Tussock Grass); <i>Pteropsida</i> ; <i>Ptilotus nobilis</i> ; <i>Rosmarinus de ficinalis</i> ; <i>Sansevieria trifasciata hort ex Prain</i> cv. Golden Hahnii; <i>Schefflera octophylla</i> (Lour.) Harms; <i>Stachys byzantina</i> ; <i>Stenotaphrum secundatum</i> ; <i>Tibouchina urvilleana</i> ; <i>Vinca Variegata</i> ; <i>Zoysia</i> ; <i>Zoysia japonica</i> 'El Toro'; <i>Zoysia matrella</i> 'Zeon'; <i>Zoysia tenuifolia</i>

Fonte: Os Autores, 2022.

A Tabela 8 apresenta o tamanho das folhas das plantas cultivadas em paredes vivas. 47 espécies (72%) possuem folhas de tamanho pequeno, 14 espécies (aproximadamente 22%) são plantas com folhas menores, que tendem a possuir um número maior de ramos e, por isso, mais folhas, o que resulta em mais camadas de proteção contra a radiação solar.

Tabela 8 - Tamanho das folhas das espécies vegetais cultivadas em paredes vivas

Número de espécies	Tamanho das Folhas
47	Pequenas
14	Médias
4	Grandes

Fonte: Os Autores, 2022.

De acordo com a Tabela 9, 80% das espécies vegetais, ou seja, 52 espécies apresentam hábito de crescimento do tipo forração, com desenvolvimento mais horizontal que vertical, o que traz a característica de planta pendente em paredes vivas, acelerando o processo de fechamento (recobrimento) da fachada da edificação.

Tabela - 9 Hábito de crescimento das espécies vegetais cultivadas em paredes vivas

Número de espécies	Hábito de crescimento
2	Arbusto trepador
2	Herbácea trepadeira
9	Arbusto
52	Forração

Fonte: Os Autores, 2022.

Nove espécies (14%) são arbusto de crescimento lento e ereto, que variam de 0,5m a 2,5m de altura, possuem sistema radicular pivotante que podem causar danos estruturais. 6% das espécies são trepadeiras, sendo dividida igualmente em arbustivas e herbáceas, cuja principal característica é a constituição do caule das plantas. As herbáceas possuem mais que 90% de sua constituição de água e seus ramos são frágeis, e as lenhosas são ricas em carbono, rígidas e resistentes a ventos.

Em relatos de paisagistas, é comum o registro de pouca disponibilidade de plantas ornamentais para cultivo em pleno sol. Entretanto, percebe-se pela Tabela 10 que 62 espécies são aptas para o cultivo em pleno sol; 39 espécies podem ser cultivadas em meia sombra, e apenas 8 podem ser cultivadas na sombra, o que demonstra maior dificuldade para escolha de espécies vegetais para instalação de paredes vivas em ambientes internos de edificações.

Tabela 10 - Luminosidade de cultivo das espécies vegetais cultivadas em paredes vivas.

Número de espécies	Luminosidade de cultivo
1	Meia sombra e sombra
2	Meia sombra
7	Sol pleno, meia sombra e sombra
26	Sol pleno
29	Sol ou meia sombra

Fonte: Os Autores, 2022.

A Tabela 11 mostra os resultados obtidos de desempenho térmico para cada espécie vegetal analisada de forma individual.

Tabela 11 - Performance térmica das espécies vegetais cultivadas em paredes vivas.

Nome científico	Estrutura		Amplitude térmica (°C)	Porcentagem
	Filtro	Modulo PVC		
<i>Cuphea hyssopifolia</i> Humb	28,6	26,7	-1,9	6,6

<i>Alternanthera bettzickiana</i> (Regel)	29,9	27,9	-2,0	6,7
<i>Portulaca oleracea</i> L	27,3	27,4	0,1	0,4
<i>Portulaca grandiflora</i> Hook	30,3	27,5	-2,8	9,2
<i>Aerva sanguinolenta</i> (L.) Blume	27,8	27,8	0,0	0,0
<i>Asystasia gangetica</i> (L.) T. Anderson	27,7	27,5	-0,2	0,7
<i>Convolvulus sabatius</i> Viv	27,5	27,5	0,0	0,0
<i>Ligustrum sinense</i> Lour. Cv <i>Variegatum</i>	29,9	27,9	-2,0	6,7
<i>Alternanthera</i> sp.	27,9	27,4	-0,5	1,8
<i>Melampodium divaricatum</i> (Rich.) DC	28,1	27,2	-0,9	3,2
<i>Sansevieria trifasciata</i> hort ex Prain cv. <i>Golden Hahnii</i>	29,6	28,0	-1,6	5,4
<i>Tradescantia spathacea</i> Sw	28,2	27,6	-0,6	2,1

Fonte: Os Autores, 2022.

Pode-se observar que o tipo de estrutura influenciou a resposta da espécie vegetal no que se refere ao resfriamento passivo da superfície da edificação. Este fato pode ser explicado devido aos módulos de PVC oferecerem maiores volumes de substrato para exploração radicular, em comparação com o feltro, cujas bolsas de substrato possuem apenas 100 ml do meio de cultivo, enquanto nos módulos de PVC apresentam 12 litros de substrato, volume 120 vezes maior que no feltro.

Os artigos demonstram, ainda, que as espécies se comportaram de forma diferente, aspectos que evidenciam a importância de conhecer o desempenho térmico de cada uma. A maior temperatura observada foi na superfície com cultivo de *Alternanthera bettzickiana* (Regel) com temperatura de 27,9°C, enquanto a menor foi observada com o cultivo de *Cuphea hyssopifolia* Humb com temperatura de 26,7°C, uma diferença de 3,2°C.

Foi observado diferentes amplitudes térmicas entre as estruturas de cultivo da espécie *Cuphea hyssopifolia* Humb em função dos materiais componentes da estrutura da parede viva, atingindo 2°C de amplitude.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos a partir da revisão da literatura sobre a influência das espécies vegetais na atenuação térmica dos sistemas de paredes vivas, bem como dos sistemas utilizados, demonstraram a importância do conhecimento dos componentes da estrutura da parede viva, uma vez que influencia diretamente no desempenho térmico do sistema parede viva.

As espécies vegetais apresentam diferentes desempenhos térmicos, ou seja, cada espécie tem sua influência na transmissibilidade térmica, seja com a elevação ou redução da temperatura superficial da edificação, demonstrando que é possível maximizar o resfriamento passivo de edificações.

Muitos artigos apresentaram falhas na caracterização das informações sobre os experimentos, tais como: 1. não mencionar a periodicidade da coleta de dados; 2. não relatar qual o posicionamento geográfico da instalação da parede viva (mais da metade dos artigos); 3. a maioria dos artigos instalou sensores de temperatura somente na superfície externa da parede viva e na interna da edificação, não conseguindo analisar todos os componentes (camadas) entre as superfícies como espécie vegetal, substrato de cultivo, tipo da estrutura da parede viva e estrutura da parede da edificação; 4. parte dos artigos avaliou o desempenho térmico de espécies cultivadas de forma aleatória, não conseguindo atribuir os bons desempenhos térmicos

observados para espécies específicas. Essa última observação deixa claro o quão vasto é campo de pesquisa a ser explorado, para identificar a contribuição específica da vegetação no desempenho térmico do sistema parede viva.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABOELATA, A. Assessment of green roof benefits on buildings' energy-saving by cooling outdoor spaces in different urban densities in arid cities. **Energy**, n. 219, 22p., 2021.
- BENVENUTI, S.; MALANDRIN, V.; PARDOSSI, A. Germination ecology of wild living walls for sustainable vertical garden in urban environment. **Scientia Horticulturae**, n. 203, p.185-191, 2016.
- BRISCOE, D. Living Wall: Digital Design and Implementation. **J. of Digital Landscape Arch.** n. 5; p. 646-653, 2020.
- CARLOS, J.S. Simulation assessment of living wall thermal performance in winter in the climate of Portugal. **Build Simul.** n.8, p. 3-11, 2015.
- CHAROENKIT, S.; YIEMWATTANA, S. Role of specific plant characteristics on thermal and carbon sequestration properties of living walls in tropical climate. **Building and Environment.** n.115, p. 67-69, 2017.
- CHAROENKIT, S.; YIEMWATTANA, S. The performance of outdoor plants in living walls under hot and humid conditions. **Landscape and Ecological Engineering.** n.17, p.55-73, 2021.
- CHAROENKIT, S.; YIEMWATTANA, S.; RACHAPRADIT, N. Plant characteristics and the potential for living walls to reduce temperatures and sequester carbon. **Energy & Buildings.** n.25, 1-15p., 2020.
- CHEN, Q.; DING, Q.; LIU, X. Establishment and validation of a solar radiation model for a living wall system. **Energy & Buildings.** n.195, p.105-115, 2019.
- CHEN, Q.; LI, B.; LIU, X. An experimental evaluation of the living wall system in hot and humid climate. **Energy & Buildings.** n.61, p.298-307, 2013.
- CORTES, A.; ALMEIDA, J.; SANTOS, M.I.; TADEU, A.; BRITO, J. de; SILVA, C.M. Environmental performance of a cork-based modular living wall from a life-cycle perspective. **Building and Environment**, n.191, 1-12 p., 2021.
- COSOLA, V. O.; OLIVIERI, F.; RUIZ-GARCIA, L.; BACENETTI, J. An environmental Life Cycle Assessment of Living Wall Systems. **Journal of Environmental Management**, n.254, 1-10 p., 2020.
- DABAIEH, M.; MAGUID, D.; EL MAHDY, D.; WANAS, O. An urban living lab monitoring and post occupancy evaluation for a Trombe wall proof of concept. **Solar Energy**, n.193, p. 556-567, 2019.
- DE MASI, R.F.; ROSSI, F. de; RUGGIERO, S.; VANOLI, G.P. Numerical optimization for the design of living walls in the Mediterranean climate. **Energy Conversion and Management**, n.195, p. 573-586, 2019.
- EGEA, G.; PÉREZ-URRESTARAZU, L.; GONZÁLES-PÉREZ, J.; FRANCO-SALAS, A.; FERNÁNDEZ-CANERO, R. Lighting systems evaluation for indoor living walls. **Urban Forestry & Urban Greening**, n. 13, p. 475-483, 2014.
- EL MANKIBI, M.; ZHAI, Z.J.; AL-SAAD, S.N.; ZOUBIR, A. Numerical modeling of thermal behaviors of active multi-layer living wall. **Energy & Buildings**, n.106, p.96-110, 2015.
- FAROOQ, S.; KAMAL, M.A. Analysis of green living walls: Individual awareness about its functional value and aesthetical quality. **Civil Engineering and Architecture**, n.8, p.444-449, 2020.
- FENG, H.; HEWAGE, K. Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance. **J. of Cleaner Production**, n.69, p.91-99, 2014.
- FOWDAR, H.S.; HATT, B.E.; BREEN, P.; COOK, P.L.M.; DELETIC, A. Designing living walls for greywater treatment. **Water Research**; n.110, p.218-232, 2017.

FOWDAR, H.S.; DELETIC, A.; HATT, B.E.; BREEN, P.; COOK, P.L.M. Nitrogen Removal in Greywater Living Walls: Insights into the Governing Mechanisms. **Water**, n.10, 1-13 p., 2018.

FRANCO, A.; FERNÁNDEZ-CANERO, R.; PEREZ-URRESTARAZU, L.; VALERA, D.L. Wind tunnel analysis of artificial substrates used in active living walls for indoor environment conditioning in Mediterranean buildings. **Building & Environment**, n.51, p.370-378, 2012.

GRAF, M.; IMMITZER, M.; HIETZ, P.; STANGL, R. Water-Stressed Plants Do Not Cool: Leaf Surface Temperature of Living Wall Plants under Drought Stress. **Sustainability**, n.13, 1-11 p., 2021.

HALGAMUGE, M.N.; BOJOVSCHI, A.; FISCHER, P.M.J.; LE, T.C.; ADELOJU, S.; MURPHY, S. Internet of Things and autonomous control for vertical cultivation walls towards smart food growing: A review. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.61, 1-17 p., 2021.

HE, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, C.; ZHOU, H. Energy-saving potential of 3D printed concrete building with integrated living wall. **Energy & Buildings**, n.222, 1-13 p., 2020.

HE, Y.; YU, H.; OZAKI, A.; DONG, N. ZHENG, S. An investigation on the thermal and energy performance of living wall system in Shanghai area. **Energy & Buildings**, n.140, p.324-335, 2017.

HUI, S.C.M.; MA, T.C. Analysis of environmental performance of indoor living walls using embodied energy and carbon. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, n. 12, p.67-74, 2017.

IRGA, P.J.; ABDO, P.; ZAVATTARO, M.; TORPY, F.R. An assessment of the potential fungal bioaerosol production from an active living wall. **Building & Environment**, n.111, p.140-146, 2017.

JORGENSEN, L.; DRESBOLL, D.B.; THORUP-KRISTENSEN, K. Spatial root distribution of plants growing in vertical media for use in living walls. **Plant Soil**, n.380, p.231-248, 2014

JORGENSEN, L.; THORUP-KRISTENSEN, K.; DRESBOLL, D.B. Against the wall-Root growth and compet. in four perennial winter hardy plant species grown in living walls. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.29, p.293-302, 2018.

KALTSIDI, M.P.; FERNANDEZ-CANERO, R.; PÉREZ-URRESTARAZU, L. Assessment of different LED lighting systems for indoor living walls. **Scientia Horticulturae**, n.272, 1-14 p., 2020.

KALTSIDI, M.P.; FERNANDEZ-CANERO, R.; FRANCO-SALAS, A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L. Improving the performance of felt-based living wall systems in terms of irrigation mgmt. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.54, 1-9 p., 2020.

KANEMAKI, T.; TAMURA, M. Effect of scratches on the impression evaluation of plaster-type interior finishing walls in the living environment with indoor pets. **AIJ J. Technol. Des.**, n.63, p.455-460, 2020.

LAUSEN, E.D.; EMILSSON, T.; JENSEN, M.B. Water use and drought responses of eight native herbaceous perennials for living wall systems. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.54, 1-11 p., 2020.

MANNAN, M.; AL-GHAMDI, S.G. Life cycle embodied energy analysis of indoor active living wall system. **Energy Reports**, n.6, p.391-395, 2020.

MARTENSSON, L.M.; WUOLO, A.; FRANSSON, A.M.; EMILSSON, T. Plant performance in living wall systems in the Scandinavian climate. **Ecological Engineering**, n.71, p.610-614, 2014.

MARTENSSON, L.M.; FRANSSON, A.M.; EMILSSON, T. Exploring the use of edible and evergreen perennials in living wall systems in the Scandinavian climate. **Urban Forestry & Urban Greening**, n. 15, p.84-88, 2016.

MAZZALI, U.; PERON, F.; SCARPA, M. Thermo-physical performances of living walls via field measurements and numerical analysis. **Eco-Architecture IV**, p.251-259, 2012.

MAZZALI, U.; PERON, F.; ROMAGNONI, P.; PULSELLI, R.M.; BASTIANONI, S. Experimental investigation on the energy performance of Living Walls in a temperate climate. **Building & Environment**, n.64, p.57-66, 2013.

NAN, X.; YAN, H.; WU, R.; SHI, Y.; BAO, Z. Assessing the thermal performance of living wall systems in wet and cold climates during the winter. **Energy & Buildings**, n.208, 1-18 p., 2020.

- NATARAJAN, M.; RAHIMI, M.; SEN, S.; MACKENZIE, N.; IMANBAYEV, Y. Living wall systems: evaluating life-cycle energy, water and carbon impacts. **Urban Ecosyst**, n.18, p.1-11, 2015.
- OSORIO, A.C.; SOTO, N.S.; CUETO, O.R.G.; ARISTA, A.A.L.; MORALES, G.B. Energy and environmental comparison between a concrete wall with and without a living green wall: a case study in Mexicali, Mexico. **Sustainability**, n.12, 1-10 p., 2020.
- OTTELÉ, M.; BOHEMEN, H.D. van; FRAAIJ, A.L.A. Quantifying the deposition of particulate matter on climber vegetation on living walls. **Ecological Engineering**, n.36, p.154-162, 2010.
- OTTELÉ, M.; PERINI, K.; FRAAIJ, A.L.A.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Comparative life cycle analysis for green façades and living wall systems. **Energy & Buildings**, n.43, p.3419-3429, 2011.
- PÉREZ-URRESTARAZU, L. Water consumption of felt-based outdoor living walls in warm climates. **Urban Forestry & Urban Greening**, N.59, 1-10 p., 2021.
- PÉREZ-URRESTARAZU, L.; EGEE, G.; FRANCO-SALAS, N.A.; FERNÁNDEZ-CAÑERO, R. Irrigation Systems Evaluation for Living Walls. **J. Irrig. Drain Eng.**, n.140, 1-11 p., 2014.
- PÉREZ-URRESTARAZU, L.; FERNÁNDEZ-CAÑERO, R.; FRANCO, A.; EGEE, G. Influence of an active living wall on indoor temperature and humidity conditions. **Ecological Engineering**, n.90, p.120-124, 2016.
- PÉREZ-URRESTARAZU, L.; BLASCO-ROMERO, A.; FERNÁNDEZ-CAÑERO, R. Media and social impact valuation of a living wall: The case study of the Sagrado Corazon hospital in Seville (Spain). **Urban Forestry & Urban Greening**, N.24, p.141-148, 2017.
- PÉREZ-URRESTARAZU, L.; FERNÁNDEZ-CAÑERO, R.; CAMPOS-NAVARRO, P.; SOUSA-ORTEGA, C.; EGEE, G. Assessment of perlite, expanded clay and pumice as substrates for living walls. **Sci. Hortic.**, n.254, p.48-54, 2019.
- PERINI, K.; OTTELÉ, M. Designing green façades and living wall systems for sustainable constructions. **Int. J. of Design & Nature and Ecodynamics**. V.9, n.1, p.31-46, 2014.
- PERINI, K.; ROSASCO, P. Costebenefit analysis for green façades and living wall systems. **Building & Environment**, n.70, p.110-121, 2013.
- PERINI, K.; OTTELÉ, M.; HAAS, E.M.; RAITERI, R. Vertical greening systems, a process tree for green façades and living walls. **Urban Ecosyst**, n.16, p.265-277, 2013.
- PULSELLI, R.M.; PULSELLI, F.M.; MAZZALI, U.; PERON, F.; BASTIANONI, S. Energy based evaluation of environmental performances of Living Wall and Grass Wall systems. **Energy & Buildings**, n.73, p.200-211, 2014.
- RAZZAGHMANESH, M.; RAZZAGHMANESH, M. Thermal performance investigation of a living wall in a dry climate of Australia. **Building and Environment**, N.112, p.45-62, 2017.
- RESÉNDIZ, J.A.S.; GARCÍA, L.R.; OLIVIERI, F.; RAMOS JUNIOR, E.V. Experimental assessment of the thermal behavior of a living wall system in semi-arid environments of central Mexico. **Energy & Buildings**, n.174, p.31-43, 2018.
- SAFIKHANI, T.; BAHARVAND, M. Evaluating the effective distance between living walls and wall surfaces. **Energy & Buildings**, n.150, p.498-506, 2017.
- SALAMONE, F.; BAROZZI, B.; DANZA, L.; GHELLERE, M.; MERONI, I. Correlation between indoor environmental data and biometric parameters for the impact assessment of a living wall in a zeb lab. **Sensors**, n. 20, 1-24 p., 2020.
- SCARPA, M.; MAZZALI, U.; PERON, F. Modeling the energy performance of living walls: Validation against field measurements in temperate climate. **Energy & Buildings**, n.79, p.155-163, 2014.
- SEGOVIA-CARDOZO, D. A.; RODRÍGUEZ-SINOBAS, L.; ZUBELZU, S. Living green walls: Estimation of water requirements and assessment of irrigation management. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.46, 1-9 p., 2019.
- SHAFIEE, E.; FAIZI, M.; YAZDANFAR, S.; KHANMOHAMMADI, M. Assessment of the effect of living wall systems on the improvement of the urban heat island phenomenon. **Building and Environment**, n. 181, 1-12 p., 2020.

SUÁREZ-CÁRCERES, G.P.; FERNÁNDEZ-CAÑERO, R.; FERNÁNDEZ-ESPINOSA, A.J.; ROSSINI-OLIVA, S.; FRANCO-SALAS, A.; PÉREZ-URRESTARAZU, L. Volatile organic compounds removal by means of a felt-based living wall to improve indoor air quality. **Atmospheric Pollution Research**, n.12, p.177-182, 2021.

TUDIWER, D.; KORJENIC, A. The effect of an indoor living wall system on humidity, mould spores and CO₂-concentration. **Energy & Buildings**, n.146, p.73-86, 2017a.

TUDIWER, D.; KORJENIC, A. The effect of living wall systems on the thermal resistance of the façade. **Energy & Buildings**, n.135, p.10-19, 2017b.

TUDIWER, D.; TEICHMANN, F.; KORJENIC, A. Thermal bridges of living wall systems. **Energy & Buildings**, n.205, p. 1-07, 2019.

VAN DE WOUW, P.M.F.; ROS, E.J.M.; BROUWERS, H.J.H. Precipitation collection and evapo(transpi)ration of living wall systems: A comparative study between a panel system and a planter box system. **Building and Environment**, n.126, p.221-237, 2017.

VIECCO, M.; VERA, S. JORQUERA, H.; BUSTAMANTE, W.; GIRONÁS, J.; DOBBS, C.; LEIVA, E. Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates. **Sustainability**, n.10, 1-18 p., 2018.

YUAN, X.; LAAKSO, K.; DAVIS, C.D.; ANTONIO GUZMAN, J.Q.; MENG, Q.; SANCHEZ-AZOFEITA, A. Monitoring the water stress of an indoor living wall system using the “triangle method”. **Sensors**, n.20, 1-18 p., 2020.

WEERAKKODY, U.; DOVER, J.W.; MITCHELL, P.; REILING, K. Particulate matter pollution capture by leaves of seventeen living wall species with special reference to rail-traffic at a metropolitan station. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.27, p.173-186, 2017.

WEERAKKODY, U.; DOVER, J.W.; MITCHELL, P.; REILING, K. Quantification of the traffic-generated particulate matter capture by plant species in a living wall and evaluation of the important leaf characteristics. **Science of the Total Environment**, n.635, p.1012-1024, 2018a.

WEERAKKODY, U.; DOVER, J.W.; MITCHELL, P.; REILING, K. The impact of rainfall in remobilising particulate matter accumulated on leaves of four evergreen species grown on a green screen and a living wall. **Urban Forestry & Urban Greening**, n.35, p.21-31, 2018b.

WORDCLOUDS **Wordcloud generator**. < <https://www.wordclouds.com/> > Acessado em: 25 maio 2021. 2003.