

Métodos e Técnicas Aplicados na Análise Térmica de Fachadas Verdes: Revisão Sistemática

*Métodos y Técnicas Aplicadas en Análisis Térmico de Fachadas Verdes: Revisión
Sistemática*

Antônio Carlos Pereira Junior

Discente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP campus de Bauru-SP, Brasil
antonio.c.pereira@unesp.br

Isadora Aparecida Nozawa

Discente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP campus de Bauru-SP, Brasil
isadora.nozawa@unesp.br

Maria Solange Gurgel de Castro Fontes

Docente do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP campus de Bauru-SP, Brasil
solange.fontes@unesp.br

RESUMO

Explorando a utilização de espécies de trepadeiras e pendentes no desenvolvimento de superfícies folheares verticais, as fachadas verdes surgem como importante alternativa na aplicação em superfícies externas de edificações residenciais e comerciais que buscam melhoria das condições de conforto térmico em seu interior. As melhorias surgem em decorrência ao mecanismo de: (I) sombreamento; (II) resfriamento evapotranspirativo; (III) influência na dinâmica do vento e (IV) isolamento térmico da edificação. Nesse contexto, esse artigo verifica o estado da arte acerca do potencial amenizador térmico das fachadas verdes, a partir da análise dos objetivos, metodologias e principais resultados de artigos de periódicos e dissertações buscados nas bases Scopus, Web of Science™, P@rthenon e a Biblioteca Digital Brasileira de Dissertações e Teses. Foram selecionados 18 trabalhos a partir dos seguintes critérios: (I) trabalhos que tratam do desempenho térmico das fachadas verdes, (II) trabalhos experimentais, estudos de caso e simulação e (III) trabalhos que foram publicados entre os anos de 2018 a 2022. A partir da análise dos trabalhos selecionados foi possível obter um panorama geral das pesquisas dentro desta temática, além de evidenciar as lacunas que poderão nortear novos projetos. Ressalta-se, ainda, que os resultados obtidos por cada trabalho evidenciam o potencial de atenuação térmica promovido pelas fachadas verdes.

PALAVRAS-CHAVE: Fachada Verde. Conforto Térmico. Revisão.

RESUMEN

Explorando el uso de especies trepadoras y colgantes en el desarrollo de superficies de hojas verticales, las fachadas verdes emergen como una alternativa importante en la aplicación en superficies exteriores de edificios residenciales y comerciales que buscan mejorar las condiciones de confort térmico en el interior. Las mejoras surgen como resultado del mecanismo de: (I) sombreado; (II) refrigeración por evaporación y transpiración; (III) influencia en la dinámica del viento y (IV) aislamiento térmico del edificio. En este contexto, este artículo verifica el estado del arte sobre el potencial de ablandamiento térmico de las fachadas verdes, con base en el análisis de los objetivos, metodologías y principales resultados de artículos de revistas y disertaciones buscadas en Scopus, Web of Science™, P@rthenon y la Biblioteca Digital Brasileña de Disertaciones y Tesis. Se seleccionaron 18 trabajos en base a los siguientes criterios: (I) trabajos que aborden el desempeño térmico de fachadas verdes, (II) trabajos experimentales, casos de estudio y simulación y (III) trabajos que hayan sido publicados entre los años 2018 a 2022. De del análisis de las obras seleccionadas, fue posible obtener un panorama de la investigación dentro de esta temática, además de resaltar los vacíos que podrían orientar nuevos proyectos. También cabe señalar que los resultados obtenidos para cada obra muestran el potencial de atenuación térmica que promueven las fachadas verdes.

PALABRAS CLAVE: Fachada verde. Comodidad térmica. Revisión.

1 INTRODUÇÃO

A fachada verde constitui uma tipologia de jardim vertical, que tem por objetivo promover maior conforto térmico nas edificações, espaço urbano imediato e pode contribuir com ampliação de áreas verdes urbanas. Essa estratégia bioclimática, juntamente com outras da infraestrutura verde urbana, pode contribuir para redução dos efeitos adversos da urbanização (MUÑOZ *et al.*, 2019), além da redução do consumo energético e melhoria do desempenho térmico das edificações (PÉREZ *et al.*, 2014). Isso ocorre devido a quatro mecanismos de ação: sombreamento, isolamento térmico, barreira ao vento e resfriamento evaporativo (MUÑOZ *et al.*, 2019; PÉREZ *et al.*, 2011).

De acordo com Kayano *et al.* (2018), o desempenho térmico é diretamente influenciado pelas propriedades apresentadas pelos materiais que constituem a edificação e, portanto, é válido chamar a atenção para esse aspecto, uma vez que o material utilizado na edificação também poderá interferir ou contribuir para eficiência no momento da implementação da fachada verde.

Apesar do seu impacto positivo na amenização microclimática de ambientes internos e externos imediatos, os efeitos térmicos das fachadas verdes ainda são pouco explorados. No Brasil, destaca-se os trabalhos desenvolvidos por Scherer (2014) e Morelli (2009) sobre desempenho térmico em ambientes urbanos e em edificações, que evidenciam uma redução na temperatura interna em condições de tempo quente (MORELLI, 2009; MUÑOZ *et al.*, 2019; SCHERER, 2014).

Essas referências explicitam a importância e a eficiência da aplicação das fachadas verdes, uma vez que sua implementação traduz-se em múltiplos benefícios, que abrangem a eficiência térmica e energética, além do impacto social, econômico, ambiental e visual. No entanto, é necessário maior conhecimento sobre os métodos e técnicas utilizados nos estudos sobre desempenho térmico de fachadas verdes. Nesse contexto, este trabalho busca contribuir com essa questão através de uma revisão sistemática.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a revisão sistemática, foi feita uma busca nas bases de dados Scopus (Elsevier), Web of Science (Clarivate Analytics), P@rthenon (Unesp) e na Biblioteca Digital Brasileira de Dissertações e Teses (IBICT) utilizando as palavras chave: desempenho térmico (*thermal performance*), fachada verde (*green facade*) e jardim vertical (*vertical garden*). As buscas foram feitas de forma combinada e as palavras-chave deveriam estar presentes no título, *abstract* e/ou palavra-chave do teórico, em estudos referentes sobre a temática “fachadas verdes”, cuja seleção foi de forma retrospectiva entre o período de 2018 a 2022, nos idiomas inglês e português.

Para a definição universo da pesquisa e tamanho da amostra foram adotados os seguintes critérios: (I) que abordassem o desempenho térmico de fachadas verdes; (II) que fossem pesquisas experimentais, estudos de caso ou simulação e (III) artigos que foram publicados entre os anos de 2018 a 2022. Sendo assim, foram excluídos os artigos de revisão e todos os trabalhos que possuíam informações repetidas ou já existentes em outros artigos selecionados, sem metodologia bem definida ou temáticas acerca de fachadas verdes, mas que

não contemplasse as análises de desempenho térmico da sua aplicação. A partir dessa análise dos trabalhos selecionados, foi possível verificar informações deficitárias no que tange a tendências de pesquisa ou falhas na execução.

Inicialmente, foram encontrados 100 (cem) artigos acerca da temática de fachadas verdes, entre os quais 67 (sessenta e sete) não correspondiam à temática proposta na análise e 15 (quinze) artigos foram excluídos pois possuíam repetição em outra plataforma de pesquisa. A Figura 1 mostra os 18 (dezoito) artigos selecionados e que constituíram o tamanho da amostra, de modo que 05 (27,77%) correspondem a fachadas verdes já existentes para análise de estudo de caso, 07 (38,89%) construíram módulos experimentais, e 06 (33,33%) fizeram simulação computacional.

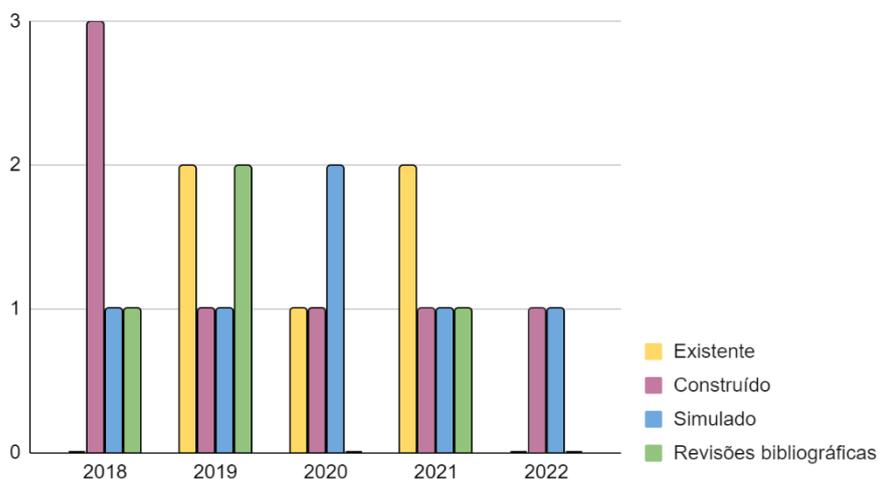
3 RESULTADOS

Os resultados são apresentados através de uma caracterização geral, Processos metodológicos: parâmetros analisados e mecanismos de ação; Tipos de fachadas verdes, estruturas e espécies utilizadas; Desempenho térmico de fachadas verde e Síntese dos resultados.

3.1 Caracterização geral

Dentro dos 03 (três) critérios de análise, é possível observar uma disposição variada em relação ao tempo e métodos utilizados. No ano de 2018 há uma predominância na metodologia experimental para as análises, uma vez que 03 (75%) das pesquisas utilizam a metodologia de plantio para observar as espécies e nenhuma pesquisa investigou a fachada já implantada em algum local. No entanto, nos anos de 2019 e 2021, os estudos de caso em fachadas verdes já existentes mostram com maior adesão, com 50% dos estudos para cada um desses casos. Apenas em 2020, a simulação foi mais utilizada.

Figura 1 – Quantidade de estudos por tipo de estudo realizado ao longo do tempo.



Fonte: Dos autores, 2022.

O Quadro 1 apresenta algumas especificações dos artigos selecionados, tais como: nome dos autores, localidade e clima do local de estudo, período de duração da coleta de dados e análises, tipo de fachada verde utilizada no estudo e orientação solar da superfície estudada. Na maioria delas, observa-se que há predominância dos climas tropical/subtropical e mediterrâneo, destacando-se o Brasil e Itália, com 04 (quatro) análises em cada um, o que corresponde a quase 45% dos periódicos selecionados.

Em relação às condições ao clima, 13 (72,22%) dos 18 (dezoito) periódicos utilizaram o período de verão como único ou parte do período para coleta de dados, apenas os trabalhos de Padovan *et al.* (2021), Madushika *et al.* (2021) e Gallardo *et al.* (2018) utilizaram exclusivamente medições em outras estações do ano, outono e inverno, respectivamente. Shuhaimi *et al.* (2022) foi o único trabalho que não apresentou informações sobre o período de coleta de dados

Acerca das orientações utilizadas, a orientação sul predomina em boa parte delas, uma vez que aparece sozinha em 05 (27,78%) das 18 publicações, sendo elas: Convertino *et al.* (2022), Moghaddam (2021), Convertino *et al.* (2019), Blanco *et al.* (2018) e Blanco *et al.* (2020). Outros autores analisam diversas orientações são 06 (33,33%): Shaheen *et al.* (2020), Silva e Duarte (2018), Madushika *et al.* (2021), Pérez *et al.* (2021), Gallardo *et al.* (2018) e Shuhaimi *et al.* (2022).

Sobre o tipo de fachada verde utilizada (direta ou indireta), 11 (61,11%) trabalhos adotam “fachada verde indireta”, 02 (11,11%) analisam ambas as condições, 02 (11,11%) não apresentam o tipo utilizado, enquanto 03 (16,67%) utilizam “fachada verde direta”.

Quadro 1 - Estudos sobre desempenho térmico de fachadas verdes e suas principais características.

Nº	Referência	Nomenclatura	Local	Clima (autores)	Período de estudo	Orientação	Tipo
01	Sousa, Souza e Gomes (2020)	Parede verde direta/indireta	Brasil	8 zonas bioclimáticas brasileiras	Verão e Inverno	Oeste	FVD/FDI
02	Shaheen, Sabry e Faggal (2020)	Double skin green façade	Egito	Quente árido	Verão	Sul, Leste e Oeste	FVI
03	Convertino <i>et al.</i> (2022)	Greenery system, Green layer e Green facade	Itália	Mediterrâneo	Verão	Sul	FVI
04	Nguyen, Dobbeltstein e Bokel (2019)	Green façade	Vietnã	Subtropical úmido	Verão	Sudoeste	FVI
05	Moghaddam <i>et al.</i> (2021)	Green façade, Green layer e Greenery system.	Espanha	Mediterrâneo	Verão e Inverno	Sul	FVI
06	Convertino, Vox e Schettini (2019)	Green facade, Vegetate layer e Green layer.	Itália	Mediterrâneo	Verão	Sul	FVI
07	Padovan, Fontes e Barbosa (2021)	Fachada verde indireta	Brasil	Subtropical	Outono	Oeste	FVI
08	Vo, Nichersu e Wendel (2019)	Green façade e Vegetated wall.	Alemanha	-	Verão	-	FVD
09	Silva e Duarte (2018)	Parede verde.	Brasil	Tropical	Verão	Norte, Sul, Leste e Oeste	-

10	Madushika, Ramachandra e Zainudeen (2021)	Green wall; Indirect green façade	Sri Lanka	Tropical	Inverno	Norte, Leste e Oeste	FVI
11	Muñoz (2019)	Fachada verde indireta	Brasil	Subtropical	Verão e inverno	Oeste	FVI
12	Pérez <i>et al.</i> (2021)	Green facade; Green wall	Espanha	Mediterrâneo Continental	Todas as estações do ano	Norte, Leste e Oeste	FVI
13	Widiastuti <i>et al.</i> (2018)	Green facade	Indonésia	Tropical	Outono	Leste	FVD
14	Shuhaimi <i>et al.</i> (2022)	Direct green facade; Double-skin green facade; Modular green wall; Linear green wall	Malásia	Tropical	-	Norte, Sul, Leste e Oeste	-
15	Blanco <i>et al.</i> (2018)	Green façade; Green layer; Green wall	Itália	Mediterrâneo	Verão	Sul	FVI
16	Suarez, Cantón e Corrêa (2020)	Traditional green façade; Green structure	Argentina	Árido seco	Verão	Leste	FVD
17	Gallardo <i>et al.</i> (2018)	Green facade	Brasil	Tropical	Inverno	Norte e Oeste	FVI
18	Blanco <i>et al.</i> (2020)	Green façade; Green layer; Green wall	Itália	Mediterrâneo	Verão e Inverno	Sul	FVI

Fonte: Os autores, 2022.

3.2 Processos metodológicos: parâmetros analisados e mecanismos de ação

O Quadro 2 mostra os parâmetros de análise e os mecanismos analisados em cada um dos experimentos. Entre os parâmetros mais utilizados, destaca-se a temperatura, seja a temperatura do ar interna e externa e também as temperaturas superficiais interna e externa.

Quadro 2 – Principais parâmetros avaliados nos estudos de desempenho térmico de fachada.

Nº	Parâmetros	Mecanismos atuantes
01	Te, Ti, Ti (vegetação), Ti (vegetação+umidade), Tsi, Tsi (vegetação), Tsi (vegetação+umidade).	Sombreamento, Isolamento térmico e Barreira ao vento.
02	Te, Ti, Ca.	Isolamento térmico.
03	Rs, Te, Ti, Ure, Var, Div, LAI, IAF, Folha (absortividade solar, refletividade, transmissividade e emissividade) e Gesso (absortividade, refletividade solar e emissividade).	Sombreamento, Isolamento térmico, Evapotranspiração e Desempenho energético.
04	Rs, Ti, Te, Ure e Eletricidade consumida.	Sombreamento, Isolamento térmico e Desempenho energético.
05	Ti, Tgs, Tgu, Rs, Var, Div, Altitude e azimute solar e cobertura de nuvens.	Sombreamento, Isolamento térmico e Desempenho energético.
06	Rs, Te, Tse.	Isolamento térmico.
07	Te, Ti, Ure, Uri, Var.	Sombreamento, Isolamento térmico e Evapotranspiração.
08	Te, Ure, Var, Ts, Urs, Pressão do ar e Luminosidade.	Isolamento térmico e Desempenho energético.
09	Tsf, Daf, Tse, Te, Ure, Tgs, Ts.	Sombreamento e Isolamento térmico.

10	Tse, Espessura média da folhagem, Transferência de calor e Quantidade de energia gasta por mês.	Isolamento térmico e Desempenho energético.
11	Te, Ure, Tgs, Tgu, Rs da superfície interna e externa da vegetação, Rs direta e difusa e Temperatura superficial.	Sombreamento.
12	Ir, IAF, Tse, Te, Ure, temperatura entre a fachada verde e a parede, Ti, Uri, consumo de energia pelo sistema HVAC.	Sombreamento e Desempenho energético.
13	Ti, Te, Ur, Var, Fc Temperatura da superfície e Área da cobertura das folhas.	Sombreamento, Isolamento térmico e Evapotranspiração.
14	Transferência de calor e Coeficiente de sombreamento	Sombreamento e Desempenho energético.
15	IAF, Te, Ur, Tse, Temperatura entre a fachada verde e a parede; Rs no plano horizontal e vertical.	Sombreamento.
16	Uri, Ure, Te, Ti, e Tse	Isolamento térmico.
17	Rs, Ti, Tsi, Tse e Temperatura mínima e máxima do ar.	Isolamento térmico.
18	Te, Ur; Var, Div, Temperatura da superfície externa da parede; Rs no plano horizontal e vertical.	Isolamento térmico.

Legenda: Ti = Temperatura do ar interna; Te = Temperatura do ar externa; Tsi = Temperatura da superfície interna; Tse = Temperatura da superfície externa; Ca = Cavidade do ar; Ir = Irradiação solar; Rs = Radiação solar; Ure = Umidade relativa externa; Var = Velocidade do ar; Div = Direção do vento; LAI = Área da seção transversal da folha por unidade de área coberta; IAF = Índice de área foliar; Tgs = Temperatura de globo seco; Tgu = Temperatura de globo úmido; Uri = Umidade relativa interna; Ts = Temperatura do solo; Urs = Umidade relativa do solo; Tsf = Temperatura da superfície da folha; Daf = Densidade da área foliar; Fc = Fluxo de calor.

Fonte: Dos autores, 2022.

3.3 Tipos de fachadas verdes, estruturas e espécies utilizadas

Independentemente se a tipologia da fachada se apresenta como direta ou indireta, o bom desempenho de sua aplicação ocorre em torno de uma somatória de fatores, desde a estrutura utilizada para a base de fixação da fachada, quanto à espécie utilizada. Na tipologia indireta, inúmeros são os possíveis materiais utilizados para a estrutura da fachada, como treliças metálicas ou de bambu, tubos, modulares, entre outros materiais alternativos, que possibilitam a versatilidade na hora da implementação do projeto. Em relação aos trabalhos analisados, 06 (33,33%) utilizam treliça metálica ou tela POP para a estrutura de base, como pode ser observado no Quadro 3.

Outro aspecto relevante é a largura da cavidade de ar existente entre a estrutura externa da edificação e a folhagem da fachada verde indireta, que permite o desenvolvimento da folhagem, e contribui com um melhor desempenho térmico.

Na pesquisa conduzida por Shaheen *et al.* (2020), buscou-se analisar a eficiência térmica em 04 (quatro) cavidades distintas com o fim de compreender como as diferentes cavidades interferem na temperatura interna da edificação. Por outro lado, os trabalhos conduzidos por Nguyen *et al.* (2019), Vo *et al.* (2019), Madushika *et al.* (2021), Widiastuti *et al.* (2018), Shuhaimi *et al.* (2022), Suarez *et al.* (2020) e Gallardo *et al.* (2018) não especificam a largura dessa cavidade.

Quadro 3 – Estruturas utilizadas nos trabalhos de desempenho térmico de fachadas verdes indiretas e o tamanho das cavidades de ar formadas.

Nº	Tipo de estrutura utilizada	Cavidade de ar
01	-	20 cm
02	-	60/ 100/ 150/ 200 cm
03	Tela metálica.	15 cm
04	-	-
05	-	50 cm
06	Tela metálica.	15 cm
07	Tela POP.	20 cm
08	-	-
09	-	100 cm
10	Tubos e fios.	-
11	Treliça de bambu.	Não possui
12	Malha de aço.	20 cm
13	-	-
14	Metal.	-
15	Tela metálica.	15 cm
16	-	-
17	Tela metálica.	-
18	Tela metálica.	15 cm

Fonte: Dos autores, 2022.

PTodas pesquisas avaliadas, , com exceção de Muñoz (2019) que utilizou em espaço de transição, utilizaram a “estrutura controle” para ter uma base comparativa das superfícies com e sem a influência da fachada verde, com objetivo de evidenciar as melhorias no que tange a questões relacionadas ao resfriamento das superfícies e do ambiente interno das edificações.

Os materiais utilizados no desenvolvimento dessas estruturas são diversificados a depender do experimento, mas uma parte significativa é implantada sobre estruturas de alvenaria, que variam entre materiais como tijolo cerâmico, concreto e gesso. Apenas o trabalho produzido por Moghaddam *et al.* (2021) apresenta a estrutura controle por material de vidro, possibilitando um panorama diversificado em relação aos demais projetos selecionados, como apresentado no Quadro 4.

Quadro 4 – Estudos sobre desempenho térmico de fachadas verdes e suas principais características.

N°	Estrutura da fachada verde		Estrutura controle		Equipamentos
	Dimensões	Materiais	Dimensões	Materiais (parede, piso, janela e porta)	
01	-	-	Quarto 1: 3,40x2,40x2,40m. Quarto 2: 3,10x2,40x2,40m. Janelas: 1,40x1,20m.	Parede: tijolo cerâmico. Piso: cerâmica. Janelas: ferro ou alumínio e vidro comum. Portas: madeira.	Os parâmetros são retirados com base nas NBR 15.220 (ABNT, 2005) e NBR 15.575 (ABNT, 2013).
02	-	-	3º andar de 6: 20x16x4m.	Parede: tijolo de cimento com reboco em ambos os lados.	-
03	-	Rede: ferro.	Bloco: 4,20x1,50x2,00m	Parede: tijolo vazado unido com argamassa e revestido externamente com reboco branco.	Especifica modelos.
04	-	-	Quarto e sala de 3,3x4,60x 3,9m. Janela: 7,2 m ² .	Parede: alvenaria leve com reboco para ambos os lados. Janela: alumínio e vidro simples	Especifica modelos, a posição e a precisão.
05	-	Suporte: Alumínio.	Edifício composto por dois blocos envidraçados horizontais (22 andares e 86m de altura).	Parede: Fachada envidraçada.	-
06	-	Rede de ferro	-	Tijolo perfurado e unido com argamassa.	Especifica modelos.
07	Quadrados de divisão da tela: 20x20 cm, sendo que o painel possui as dimensões de 3,60 m (largura) x 3,80m (altura).	Painel metálico de aço galvanizado	Sala de dimensões internas: 2,15 x 2,20m e presença de uma janela com dimensões: 60 x 160cm, sendo o peitoril de 65cm.	Parede: blocos de concreto 14x19x39 cm, gesso acartonado, pintura em látex PVA (interno). Janela: basculante. Porta: vidro temperado. Cobertura: 12cm de espessura, sendo que a laje é de concreto e a cobertura de telhas de aço galvanizado.	Especifica modelos, a posição e a precisão.
08	-	-	Espessura da parede: 40cm	Parede: tijolo.	Especifica modelos, a posição e a precisão.
09	-	-	Volume adotada na simulação: 10 x 10 x 15 células.	-	Especifica modelos, a posição e a precisão.
10	-	Tubos de ferro galvanizado s de 1,20 cm de diâmetro e fio de polietileno tereftaato (PET) de 3 mm.	Dois edificações residenciais existentes foram selecionadas: 1° - 3 andares com cobertura, 22,6 x 9,75m; 2° - 3 andares com cobertura, 14,7 x 8,10m. As paredes de ambos os edifícios possuem espessura de 150mm.	Parede: suas superfícies receberam adição de reboco e pintura. Janela: moldura de alumínio e fechamento em vidro. Porta: alumínio	Não consta, só foram utilizados dados da literatura.

11	Treliça: 1,00x2,10m; Vaso: 1,00x0,60m.	Treliça de bambu e jardineiras em fibra de vidro	-	-	Especifica modelos, a posição e a precisão.
12	Não consta, porém as fotos mostram que a estrutura cobre toda a fachada.	Malha de aço.	Cubos de dimensões: 2,4 x 2,4 x 2,4m.	Parede: tijolo alveolar (30x19x29 cm) Laje de betão armado 3m X 3m; revestimento interno de reboco e externo de argamassa.	Especifica modelos, a posição e a precisão.
13	-	-	Dimensão de 1 x 1 x 1m. E telhado com altura de 69,5 cm.	Janela: duas pequenas. tijolos com cobertura de telha.	Especifica a posição.
14	<i>Double-skin green facade:</i> 50mm; <i>Modular green wall:</i> 40mm; <i>Linear green wall:</i> 40mm	Armação de metal (estrutura de suporte das fachadas verdes)	Edifício de 5 andares com dimensão de 15x15m com altura de 4m para cada pavimento.	Parede: tijolo de barro com revestimento de gesso e bloco de concreto com revestimento de gesso Janela: 60 unidades, de dimensões 1400x1800mm de vidro duplo colorido.	-
15	-	Ferro	A estrutura possui uma largura e comprimento de 1,00m e altura de 1,55m, sendo que a parede possui espessura de 0,22m (0,20m de alvenaria e 0,02m de revestimento de gesso).	Parede: Tijolo perfurado unido com argamassa, sendo que uma das paredes foi selada com folhas de poliestireno.	Especifica modelos.
16	-	-	A espessura da parede é de 0,20m.	Parede: concreto armado e alvenaria em tijolo aparente. Lajes compostas por concreto leve	Especifica modelos e a posição.
17	2,40 x 3,00m; instalada em um ângulo de 30°.	Ferro	Cada laboratório possui dimensão de: 2 x 2,50m. Porta: 2,10 x 0,60m. Janela: 1 x 0,70m.	Parede: tijolos maciços (10 x 20 x 5cm) com juntas de 1,50cm de espessura. Janela: madeira Porta: madeira.	Especifica modelos, a posição e a precisão.
18	-	Ferro	Dimensões da estrutura: 1,00 X 1,00 X 1,55m; Espessura do bloco: 0,22m e 0,02m de revestimento de gesso.	Parede: tijolos perfurados unidos com argamassa; e revestimento de gesso.	Especifica modelos.

Fonte: Os autores, 2022.

Outro fator de grande relevância nos dados coletados está relacionado à espécie escolhida, uma vez que as características de cada uma podem interferir diretamente na eficiência da redução de radiação solar e transferência de calor para a edificação. Isso porque a densidade foliar da espécie selecionada pode contribuir com maior ou menor formação de uma barreira contra a incidência de radiação solar, e aumenta ou reduz o potencial amenizador das temperaturas superficiais e internas.

Apenas 04 (22,22%) dos 18 trabalhos selecionados apresentam mais de uma (01) espécie de vegetação na aplicação do estudo, sendo elas: Muñoz (2019), Widiastuti *et al.* (2018), Blanco *et al.* (2018) e Blanco *et al.* (2020).

Quadro 5 – Espécies mais utilizadas nos trabalhos selecionados.

Nº	Espécie	Espessura da folhagem
01	-	0,001 (s.u.m.)
02	-	1 mm
03	<i>Rhynchospermum Jasminoides</i>	-
04	<i>Bougainvillea</i>	-
05	<i>Ivy</i>	16 cm
06	<i>Pandorea jasminoides variegated</i>	-
07	<i>Ipomoea horsfalliae</i> Hook.	-
08	<i>Vaihingen, Enz e Boston Ivy</i>	-
09	-	1 m na simulação.
10	<i>Thumbergia laurifolia</i>	Fachada norte: 45 cm; Leste: 15 cm; e Oeste: 12 cm.
11	<i>Passiflora edulis; Ipomoea horsfalliae; Thumbergia grandiflora</i>	Oeste
12	<i>Boston Ivy (Parthenocissus tricuspidata)</i>	Não consta a espessura da folhagem, mas consta os índices de área foliar por estações do ano.
13	<i>Passifloraflavicarva e Pseudocalymmaalliaceum</i>	-
14	-	<i>Direct green facade</i> : 50 mm; <i>Double-skin green facade</i> : 50 mm; <i>Modular green wall</i> : 100 mm; <i>Linear green wall</i> : 100 mm.
15	<i>Pandorea jasminoides variegated; e Rhynchospermum jasminoides</i>	-
16	<i>Parthenocissus Quinquefolia</i> (Virgínia creeper)	0,40 m
17	<i>Thumbergia grandiflora</i>	-
18	<i>Pandorea jasminoides variegated; e Rhynchospermum jasminoides</i>	-

Fonte: Os autores, 2022.

3.4 O desempenho térmico das fachadas verdes

Dentre os 18 periódicos selecionados, todos evidenciam o potencial de sombreamento, que contribuem para a redução das temperaturas superficiais, das temperaturas internas e, conseqüentemente, contribuem para promover uma maior eficiência energética nas edificações. Contudo, os trabalhos de Sousa, Souza e Gomes (2020), Convertino *et al.* (2022), Convertino, Vox e Schettini (2019) e Silva e Duarte (2018) apresentam especificidades, já que analisam o processo de evapotranspiração e como a mesma impacta na melhoria da umidade relativa do ar.

Outra especificidade observada nos trabalhos, como os desenvolvidos por Sousa, Souza e Gomes (2020), por Moghaddam *et al.* (2021), Vo, Nichersu e Wendel (2019), Silva e Duarte (2018) e Pérez *et al.* (2021), foi a medição do parâmetro índice de área foliar (LAI) que, ao interferir no aumento do sombreamento, influencia diretamente o resfriamento passivo da edificação.

No intuito de compreender a eficiência da implementação das fachadas verdes em diferentes larguras de cavidade de ar, Shaheen *et al.* (2020) foi o único periódico que utilizou diversos tamanhos para comparar a eficiência de desempenho entre as várias condições propostas no experimento.

O trabalho de Muñoz (2019) debruçou na escolha das espécies e como a cobertura foliar pode contribuir na alteração da redução da radiação solar e redução térmica de um espaço, uma vez que afeta diretamente a condição de sombreamento. Dentre as espécies analisadas (*Passiflora edulis*, *Ipomoea horsfalliae* e *Thunbergia grandiflora*), foi constatado que a *Ipomoea* obteve os melhores resultados, devido ao seu acelerado crescimento e cobertura vegetal para o ambiente escolhido, melhor resultado no potencial de sombreamento e atenuação, além da baixa suscetibilidade a pragas.

Ressalta, ainda que, nos estudos onde os autores buscaram desenvolver a análise em diferentes estações (verão e inverno), como Sousa, Souza e Gomes (2020), Moghaddam *et al.* (2021), Muñoz (2019) e Pérez *et al.* (2021), os dados mostram que as fachadas verdes impedem a perda de calor das edificações nas medições de dias mais frios. Isso também ocorre no período noturno e evidencia a capacidade de isolamento térmico.

Dentre os experimentos, 6 (33,33%) adotaram a metodologia de simulação junto com o experimento, sendo eles Shuhaimi *et al.* (2022), Silva e Duarte (2018), Vo, Nichersu e Wendel (2019), Convertino *et al.* (2019), Sousa, Souza e Gomes (2020) e Shaheen *et al.* (2020).

3.5 Síntese dos resultados

Uma síntese dos principais resultados encontrados nos estudos selecionados sobre o desempenho térmico de fachadas verdes diretas e indiretas é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 – Trabalhos sobre desempenho térmico de fachadas verdes diretas: principais resultados.

Nº	Principais resultados
01	Ambas as fachadas verdes (direta e indireta) apresentaram temperaturas internas semelhantes e sempre inferiores às da parede controle. A fachada verde indireta apresentou uma temperatura interna de 0,5°C mais baixa do que a fachada verde direta.
02	A cavidade de 0,6m obteve o menor desempenho e a de 1,50m obteve o melhor desempenho, a diferença entre elas variou de 0,05-0,07°C; a fachada verde que obteve o melhor desempenho foi a com cavidade de 1,50m direcionada à Oeste, em que a temperatura operacional interna atingiu 2,5-3,2°C.
03	A cada aumento da unidade do índice de área foliar (IAF) a transmissividade solar diminui em cerca de 54%. O IAF também influenciou o sombreamento solar quanto às perdas de calor latente por evapotranspiração das plantas.
04	Ao comparar o ambiente interno com e sem fachada verde, houve uma redução da temperatura de 1°C. O dispositivo de sombreamento de alumínio obteve resultados semelhantes com o da fachada verde, reduzindo a temperatura interna em 1°C, no entanto, a externa alcançou uma redução de apenas 0,5°C. A fachada verde conseguiu reduzir em até 35% de energia gasta com resfriamento.
05	Em dias quentes e ensolarados, uma camada de vegetação na fachada envidraçada foi calculada para reduzir a temperatura do ar interno em mais de 5 °C, fornecendo um valor R eficiente que depende principalmente da orientação da parede, tipo de planta, densidade da camada de planta e estrutura da fachada verde modelo.
06	A vegetação se mostrou mais sensível à absorção da radiação de ondas curtas. Enquanto a transferência de calor por convecção sempre se mostrou positiva e com uma tendência irregular, pois é facilmente influenciada pela velocidade do vento.
07	Foram registradas redução média na temperatura do ar interno de 4,4 °C, redução máxima de 7,3 °C (16 h) e mínima de 2,1 °C (08 h), entre sala protegida e sala controle. A fachada verde indireta também manteve os valores de umidade relativa do ar da sala protegida maiores do que a sala controle, com uma diferença máxima absoluta de 17,4%. Além disso, a umidade relativa do ar da sala protegida manteve-se mais alta por mais tempo (09h30min até às 19h) que a sala controle, em relação ao ambiente externo.

08	A comparação entre a fachada controle e a fachada verde indicou uma diferença de 15°C durante as primeiras horas da tarde. Enquanto a temperatura interna da sala atingiu uma diferença de até 1°C. Em relação à simulação, foi constatado que: a radiação solar tem uma influência significativa no tipo de vegetação; a umidade relativa e a velocidade do vento não influenciam significativamente o modelo; as características da planta têm influências significativas no desempenho térmico do modelo de vegetação. O IAF é considerado mais sensível com o intervalo abaixo de 3.
09	Diminuição da temperatura do ar conforme o aumento do Índice de Área Foliar. A evapotranspiração por umidade do solo reduziu a temperatura do ar em cerca de 0,36°C. O sombreamento da vegetação no solo resulta em pequena variação na TRM mesmo com o aumento na umidade relativa do solo, para o mesmo IAF, proporcionando uma redução de 0,01°C na TRM sob a vegetação e de 0,03°C na TRM entre a vegetação e a edificação.
10	As fachadas verdes indiretas chegaram a apresentar uma economia de 80% dos custos de energia, quando comparada à uma construção similar sem influência da fachada verde.
11	A <i>Ipomoea horsfalliae</i> obteve melhor desenvolvimento, PSO de 0,81-0,89 e atenuação máxima média de 80% (tempo frio) e 88% (tempo quente). O maracujá apresentou o pior desempenho entre as três, com atenuação máxima média de 74% (tempo frio) e 60% (tempo quente), contudo foi a espécie que apresentou valores maiores em relação ao controle durante todo o monitoramento em condições de tempo frio. Também foram obtidas reduções máximas de 4 e 2,8 °C para a temperatura do ar em condições de tempo frio e quente, respectivamente, e 19 e 11,2 °C para temperatura radiante média em condições de tempo frio e quente, respectivamente. A umidade absoluta do ar apresentou aumento máximo de 2,7 g/Kg durante o inverno, registrado logo atrás da fachada verde com maracujá.
12	O IAF é influenciado diretamente pela temperatura e orientação da fachada. O sistema de jardins verticais, mesmo no inverno quando o mesmo perde suas folhagens, devido efeito dos galhos, consegue contribuir para a eficiência energética da edificação.
13	A fachada verde obteve efeitos de resfriamento melhor do que a parede nua, na qual a fachada com maior densidade de folhas teve destaque. A diferença de temperaturas entre as superfícies externas foi de 6,8°C para o experimento II (50%) e 7,8°C para o experimento III (90%). Na superfície interna, a diferença foi de 6,7°C para o experimento II (50%) e 7,3°C para o experimento III (90%). No espaço interior, o efeito das densidades das folhas é mais visível em relação ao espaço exterior. O experimento I sempre foi superior aos experimentos II e III. Enquanto o experimento III é o mais baixo. A redução média da temperatura do experimento I para o experimento II é de 1,97% e do experimento I para o experimento III é de 3,4%. Respectivamente, da experiência I para a experiência III, a média do fluxo de calor foi de 22,35 W/m ² , 8,76 W/m ² e 0,60 W/m ² .
14	O sistema de jardim vertical pode reduzir a transferência de calor em até 7,33%, fato este que ajuda a reduzir a demanda geral de carga de resfriamento.
15	Os resultados do experimento mostraram uma diminuição de 5-7°C durante o dia, entre a temperatura externa e interna. Já no período noturno, foi registrado que a superfície externa da parede com vegetação apresentou 1,7-2,2°C mais quente que o lado interno. Ademais, a presença de um vão de ar entre a fachada do edifício e a camada de <i>Rhynchospermum jasmynoides</i> é capaz de atuar como tampão térmico, melhorando o impacto do isolamento térmico do edifício.
16	A pesquisa mostra um potencial para reduzir as temperaturas da superfície externa nos envelopes dos edifícios em até 27,4°C e em 6,5°C nas temperaturas da superfície interna.
17	Entre o laboratório com presença de vegetação e o laboratório convencional, há uma diferença de 1°C em relação à temperatura do ar. Ao comparar o laboratório com telhado verde e o laboratório com telhado e fachada verde, houve uma diferença de temperatura interna de 2,2°C.
18	A aplicação da vegetação permitiu que a superfície externa da fachada permanecesse com temperaturas mais altas durante à noite, em comparação com a parede nua. A fachada verde também gastou menos energia do que a parede nua durante o inverno.

Fonte: Os autores, 2022.

No Quadro 7 é possível visualizar as principais lacunas encontradas nos teóricos selecionados em relação à metodologia, espécies e equipamentos utilizados, orientação da fachada, localidade dos estudos, clima e detalhes da estrutura de suporte e modelos. Essas lacunas podem direcionar trabalhos similares, não só em relação ao tema, mas também no

sentido de considerar informações necessárias para o entendimento da pesquisa, apontar necessidades de estudo para os próximos trabalhos e erros comuns que não devem ser repetidos.

Quadro 7 – Principais lacunas de pesquisa.

Tipo	Categoria	Detalhamento
De pesquisa	Comparativo entre espécies	Ainda faltam trabalhos que realizam o comparativo comparação entre as espécies, pois apenas quatro trabalhos analisaram mais de uma espécie, sendo que destes, dois fazem parte do mesmo experimento.
	Localidade	Os locais de trabalho são mais variados, pois se antes 80% correspondiam à Europa e Ásia, agora esta porcentagem é de cerca de 55,56%.
	Ambientes avaliados	Existe carência de trabalhos em espaços de transição, pois apenas um trabalho
	Modelos	Ainda há poucos trabalhos que comparam ambos os tipos de fachada verde. Dentro da amostra analisada, apenas dois trabalhos abordam tanto a fachada verde direta, como indireta.
Falta de informações dos trabalhos analisados	Informação sobre as espécies	As informações a respeito das espécies ainda são escassas. E se antes apenas um dos trabalhos não apresentou a espécie utilizada, agora são quatro trabalhos que não apresentaram as espécies. Também existe uma falta das especificações realizadas no cuidado e tratamento da vegetação.
	Equipamentos	Faltam especificações a respeito dos equipamentos utilizados, pois a maioria dos trabalhos menciona apenas o modelo dos aparelhos.
	Orientação da fachada	Houve uma melhora, pois apenas um trabalho não apresentou a orientação da fachada estudada.
	Clima	Apenas dois autores não indicam a orientação estudada.
	Estrutura e dimensões	Especificações a respeito da estrutura da fachada e da superfície de controle ainda são escassas.

Fonte: Os autores, 2022.

5 CONCLUSÃO

Os resultados da revisão sistemática sobre estudos experimentais sobre desempenho térmico de fachadas verdes evidenciam um crescimento sobre essa abordagem nos últimos anos (2018 a 2023). No entanto, ainda se observa lacunas de informações acerca de especificidades das espécies de vegetações, materiais utilizados, além de necessidade maior diversificação de estudos em diferentes contextos climáticos.

Os benefícios térmicos do uso das fachadas verdes são demonstrados em todos os trabalhos analisados, cuja atenuação máxima foi de até 15 °C em relação à superfície de controle, evidenciando o potencial amenizador térmico e a contribuição para a eficiência energética dessa importante estratégia passiva. Outra importante contribuição é com a melhoria da qualidade do ar, especialmente em localidades onde o clima seco é predominante.

Para diversificação de estudos e ampliar sua contribuição para a área, é possível apontar algumas lacunas apontadas por essa revisão: comparação de desempenho térmico entre espécies; influência de diferentes larguras de cavidade do ar; estudar a eficiência em diferentes orientações e estrutura de suporte.

6 REFERÊNCIAS

- BLANCO, I. *et al.* Thermal behavior of green facades in summer. **Journal of Agricultural Engineering**, v. XLIX:835, 2018.
- BLANCO, I. *et al.* Wintertime thermal performance of green façades in a mediterranean climate. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 243, 2020.
- CONVERTINO, F.; VOX, G.; SCHETTINNI, E. Heat transfer mechanism in vertical green systems and energy balance equations. **International Journal of Design and Nature and Ecodynamics**, v. 14, 2019.
- CONVERTINO, L. *et al.* Effect of leaf area index on green facade thermal performance in buildings. **Sustainability**, v. 14, 2022.
- GALLARDO, N. P. *et al.* Thermal response to cold in buildings with green covers for torpical climate: green facades and green roofs. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 33, n. 1, 2018. ISSN 0718-5073.
- KAYANO, T. Y. *et al.* Cobertura e fachada verde: Análise de Episódio climático representativo de frio em células de testes. **Revista de Geografia-PPGEO -UFJF**, v.8, n.2, p.89-100, 2018.
- MADUSHIKA, U. G. D.; RAMACHANDRA, T.; ZAINUDEEN, N. Operational energy saving in buildings: a comparison of greens conventional wall. *In: Proceedings of the 9th World Construction Symposium, 9 ed., 2021, Sri Lanka. Anais [...]. Sri Lanka: CIOB WCS, 2021.*
- MOGHADDAM, F. B. *et al.* Evaluation of thermal comfort performance of a vertical garden on a glazed façade and its effect on building and urban scale, case study: an office building in Barcelona. **Sustainability**, v. 13, 2021.
- MORELLI, Denise Damas de Oliveira. **Paredes verdes: vegetação como qualidade ambiental no espaço construído.** 2009. Dissertação (mestrado). Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
- MUÑOZ, L. S. **Potencial amenizador térmico de jardim vertical do tipo fachada verde indireta: estudos com diferentes espécies de trepadeiras.** 2019. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Bauru, 2019.
- MUÑOZ, L. S. *et al.* Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 10, p. e019013, 2019.
- NGUYEN, P. A.; DOBBELSTEEN, A. V. D.; BOKEL, R. Effects of a vertical green façade on the thermal performance and cooling demand. **Journal of Facade Design & Engineering**, v. 07, 2019.
- PADOVAN, L. D. G.; FONTES, M. S. G. C.; BARBOSA, M. C. Influência térmica da fachada verde no ambiente interno. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 13, 2021.
- PÉREZ, G. *et al.* Behaviour of green facades in Mediterranean Continental climate. **Energy Conservation and Management**, v. 52, n. 4, p. 1861-1867, 2011.
- PÉREZ, G. *et al.* Vertical greenery systems (VGS) for energy saving in buildings: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 139-165, 2014.
- PÉREZ, G. *et al.* Seasonal influence of leaf area index (LAI) on the energy performance of a green facade. **Building and Environment**, v. 207, 2021.
- SHAHEEN, A. M. A.; SABRY, H. M. K.; FAGGAL, A. E. D. Double skin green facade in workplace for enhancing thermal performance in greater Cairo. **Engineering Research Journal**, v. 168, 2020.
- SCHERER, M. J.. **Cortinas verdes na arquitetura: desempenho no controle solar e na eficiência energética de edificações.** 2014. Dissertação (doutorado). Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SHUHAIMI, N. D. A. M. *et al.* The impact of vertical greenery system on building thermal performance in tropical climates. **Journal of Building Engineering**, v. 45, 2022.

SILVA, P. W. S.; DUARTE, D. H. S. **O impacto das fachadas verdes nos microclimas urbanos**. 2018. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUSA, L. R.; SOUZA, H. A.; GOMES, A. P. **Análise do desempenho térmico de habitações multifamiliares de interesse social com paredes verdes**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

SUAREZ, P. A.; CANTÓN, M. A.; E. CORREA. Thermal performance of traditional east facing green facades in tract housing located in arid climates. **Revista Hábitat Sustentable**, v. 10, n. 2.

VO, T. T.; NICHERSU, A.; WENDEL, J. Modeling, monitoring and validating green roof and green facade solutions with semantic city models using low cost sensors and open software infrastructure. **Urban Science**, v. 3, 2019.

WIDIASTUTI, R. *et al.* Study on the leaves densities as parameter for effectiveness of energy transfer on the green facade. **Buildings**, v. 8, 2018.