

Revisão sistemática da temática dos jardins verticais em fachadas de edificações urbanas e perspectivas futuras

Systematic Review of Vertical Gardens and Future Perspectives

Revisión sistemática de jardines verticales y perspectivas futuras

Elisa Bomtempo Matos

Doutoranda, UFES, Brasil
elisabmatos9@gmail.com

Bruno Massara Rocha

Professor Doutor, UFES, Brasil
bmassara@gmail.com

Cristina Engel de Alvarez

Professora Doutora, UFES, Brasil
engelalvarez@hotmail.com

RESUMO

Jardins verticais podem ser utilizados como estratégia para aumentar a cobertura vegetal em ambientes urbanos, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e a redução de ilhas de calor. Na escala do edifício, jardins verticais são utilizados como estratégias para melhoria do desempenho térmico e economia de energia. De maneira geral, aumentam a qualidade de vida das pessoas e atuam como facilitadores do aumento da biodiversidade em área urbana. No entanto, a manutenção desses sistemas pode ser desafiadora, pois o caráter de verticalidade desses sistemas dificulta o acesso às plantas. Este artigo tem como objetivo revisar sistematicamente a literatura existente sobre os métodos e técnicas de manutenção em jardins verticais, considerando sua relação com a arquitetura, a fim de buscar por tipos de tecnologias utilizadas. Também objetiva identificar lacunas e perspectivas para futuras pesquisas. Como resultados, percebeu-se uma carência de trabalhos que abordam a implementação desses sistemas em situações reais de manutenção, especialmente no que diz respeito a instalações de tecnologias relacionadas à iluminação.

PALAVRAS-CHAVE: Infraestruturas Verdes; Ilhas de calor urbano; Manutenção.

SUMMARY

Vertical gardens can be used as a strategy to increase vegetative coverage in urban environments, contributing to improved air quality and reduction of heat islands. At the building scale, they are employed as strategies to enhance thermal performance and save energy. In general, they enhance the quality of life for people and act as urban biodiversity. However, the maintenance of these systems can be challenging due to the verticality that hinders access to the plants. This article aims to systematically review the existing literature on maintenance methods and techniques in vertical gardens, considering their relationship with architecture in order to identify the types of technologies used. It also aims to identify gaps and prospects for future research. The results revealed a lack of research addressing the implementation of these systems in real maintenance situations, especially regarding the installation of lighting-related technologies.

KEYWORDS: Green Infrastructures; Urban heat island; Maintenance.

RESUMEN

Jardines verticales pueden ser utilizados como estrategia para aumentar la cobertura vegetal en entornos urbanos, contribuyendo a la mejora de la calidad del aire y a la reducción de las islas de calor. A escala de edificio, se emplean como estrategias para mejorar el rendimiento térmico y ahorrar energía. En general, incrementan la calidad de vida de las personas y actúan como facilitadores para el aumento de la biodiversidad en áreas urbanas. Sin embargo, el mantenimiento de estos sistemas puede ser desafiante, ya que la verticalidad de estos sistemas dificulta el acceso a las plantas. Este artículo tiene como objetivo revisar sistemáticamente la literatura existente sobre los métodos y técnicas de mantenimiento en jardines verticales, considerando su relación con la arquitectura, con el fin de buscar tipos de tecnologías utilizadas. También busca identificar lagunas y perspectivas para futuras investigaciones. Como resultados, se observa una falta de trabajos que aborden la implementación de estos sistemas en situaciones reales de mantenimiento, especialmente en lo que respecta a la instalación de tecnologías relacionadas con la iluminación.

PALABRAS CLAVE: Infraestructuras Verdes; Islas de calor urbano; Mantenimiento.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o diagnóstico da Organização das Nações Unidas, até 2030, 60% da população mundial viverá nas cidades, podendo consumir entre 60% a 80% de energia elétrica e ser responsável por 75% das emissões globais de carbono. Além disso, prevê que as cidades ocuparão apenas 3% de terra em todo o globo (SACHS et al., 2021), o que denota uma grande densidade populacional em um espaço urbano reduzido.

Esse cenário de rápida urbanização, em conjunto com as crescentes demandas por recursos naturais e as mudanças climáticas têm resultado em aumentos nas temperaturas da superfície terrestre, dando origem ao fenômeno conhecido como ilha de calor urbano. Nesse contexto, a Infraestrutura Verde emerge como uma estratégia eficiente para reduzir os efeitos adversos das ilhas de calor, desempenhando um papel na moderação das temperaturas da superfície terrestre, além de um ambiente térmico mais equilibrado nas áreas urbanas (SHAO; KIM, 2022).

Entre as várias estratégias integrantes das Infraestruturas Verdes (IV), o jardim vertical surge como uma abordagem para aumentar o espaço vegetado em áreas urbanas densamente povoadas, uma vez que ocupam espaços verticais (MAIER, 2022).

O interesse em pesquisar esse sistema tem aumentado devido à sua capacidade de contribuir com a qualidade do ar, reduzir ilhas de calor, absorver radiação solar, resfriar superfícies por evaporação e transpiração e além de apoio para promover a biodiversidade em áreas urbanas (REZENDE; ROCHA; ABRAHÃO, 2021).

No entanto, ao focar exclusivamente nos benefícios dos jardins verticais, corre-se o risco de subestimar seu potencial total. Os jardins verticais devem ser encarados como empreendimentos de longo prazo, exigindo considerações abrangentes, como localização, seleção de plantas, irrigação, drenagem, iluminação, suporte, qualidade do solo e manutenção, para assegurar sucesso contínuo. Especialmente, a implementação e manutenção de jardins verticais demandam um planejamento meticuloso, desempenhando um papel crucial na execução bem-sucedida e na viabilidade a longo prazo desse sistema (BUSTAMI et al., 2018).

Considerando essas variáveis, este artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma revisão sistemática da literatura para avaliar as melhores práticas para implementação e manutenção de jardins verticais, avaliando as principais tecnologias utilizadas. Também faz parte desta pesquisa identificar as lacunas de conhecimento relacionadas ao tema, assim como identificar tendências em pesquisas futuras.

2. MÉTODOS

Foram realizadas buscas nas bases de dados científicas *Scopus*, *Science Direct* e *Acadêmicos CAPES* usando palavras-chaves em inglês relacionadas a jardins verticais, como "green walls", "vertical gardens", "living walls", "vegetated façades", e "maintenance". A busca realizada no Acadêmico CAPES utilizou as palavras chaves traduzidas para o português: "paredes verdes", "jardins verticais", "paredes vivas" e "manutenção". Os artigos foram selecionados com base em critérios de inclusão e exclusão, o ano de publicação (2013-2023), idioma (apenas inglês, português ou espanhol) e tipo de estudo. Foram encontrados 430 artigos (Tabela 1).

Tabela 1. *Strings* de busca e resultados para o protocolo de pesquisa e pré-seleção.

Base de dados	Data	Palavra-chave	Número de artigos
Acadêmicos CAPES	12/01/24	TITLE-ABS-KEY "paredes verde" OU "jardins verticais" OU "paredes vivas" E "manutenção.	22
Scopus	12/01/24	TITLE-ABS-KEY "green walls" OR "vertical gardens" OR "living walls" OR "vegetated façades" AND "maintenance".	50
Science Direct	12/01/24	TITLE-ABS-KEY "green walls" OR "vertical gardens" OR "living walls" OR "vegetated façades" AND "maintenance".	358
Total			430

Fonte: AUTORES, 2024.

Em uma primeira etapa de triagem, foram selecionados artigos publicados em periódicos e anais de congressos nacionais e internacionais. Não foram incluídas teses e dissertações para evitar duplicidade de informações. Também foram excluídas publicações em anais quando havia correspondência entre o trabalho apresentado em congresso e posteriormente publicado em periódicos. De forma semelhante, publicações em livros não foram incluídas na análise (Tabela 2).

Em uma segunda etapa, foram retirados documentos não relacionados ao tema deste artigo. Assim, foram excluídos de estudos de jardins verticais que abordavam apenas eficiência energética do edifício, conforto interno, conforto urbano, redução de temperatura e absorção acústica, uma vez que estes temas não pertencem ao objeto de estudo desta revisão (Tabela 2).

A terceira etapa de exclusão foi realizada a fim de retirar estudos indisponíveis em sua totalidade, artigos não revisados por pares, e pesquisas que abordam soluções incompatíveis com a proposta deste artigo. Em suma, foram selecionados os artigos que tratavam de manutenção, materiais e métodos construtivos durante o ciclo de vida do sistema, resultando em 60 artigos considerados em sua totalidade (Tabela 2).

Observa-se que embora os 60 artigos selecionados tenham sido cuidadosamente avaliados, devido à restrição no número de páginas nas regras do evento, os dados foram cuidadosamente sistematizados, apesar de não serem individualmente citados, e seguem apresentados de forma concisa.

Tabela 2. Primeira, segunda e terceira etapa de exclusão de artigos.

Base de dados	Pesquisa inicial	Pesquisas excluídas em primeira etapa	Número de artigos	Pesquisas excluídas em segunda etapa	Número de artigos	Pesquisas excluídas em terceira etapa	Número de artigos finais
Acadêmicos	18	3	15	6	8	1	7
CAPES							
Scopus	50	1	48	26	23	5	18
Science Direct	358	21	337	273	64	29	35
Total							60

Fonte: AUTORES, 2024.

3 REVISÃO TEÓRICA

3.1 Ilhas de calor urbano e Infraestrutura Verde

As ilhas de calor urbanas referem-se ao fenômeno que ocorrem em áreas urbanas que experimentam temperaturas significativamente mais altas do que as áreas circundantes devido à absorção e retenção de calor pelos materiais urbanos, como asfalto e concreto, e falta de vegetação (VALENTE DE MACEDO et al., 2021). Essa elevação térmica pode ter várias consequências, incluindo aumento do consumo de energia, desconforto térmico, aumento dos níveis de poluição do ar e alterações nos padrões climáticos locais, entre outros (LIU et al., 2021). Nesse sentido, a presença de infraestruturas verdes pode atuar como uma estratégia eficaz na redução das ilhas de calor.

O principal objetivo das IV é melhorar a qualidade de vida urbana, fornecendo espaços de lazer, promovendo a biodiversidade e reduzindo a poluição do ar e da água por meio das seguintes estratégias, segundo Anderson e Gough (2021):

- Parques e praças que possibilitem o desenvolvimento e preservação de áreas verdes extensas e proporcionem espaços de lazer, recreação e contato com a natureza;
- Áreas de recreação natural que incorporam características, como trilhas para caminhadas, ciclovias e áreas de piquenique;
- Espaços para cultivo de plantas – as denominadas hortas urbanas – que além de promoverem a produção de alimentos locais, também auxiliam no incremento do senso de comunidade;
- Telhados Verdes com camadas de solo e vegetação para melhorar a eficiência energética dos ambientes internos, reduzir a absorção de calor e proporcionar habitat para a fauna urbana;
- Jardins Verticais para o cultivo de plantas em paredes e fachadas de edifícios proporcionando a redução na temperatura dos ambientes internos e externos, bem como promovendo a biodiversidade;
- Incorporação de vegetação ao longo de calçadas e áreas pavimentadas para reduzir o escoamento de água pluvial, melhorar a qualidade do ar e fornecer sombra;

- Corredores Verdes que conectam áreas verdes, promovendo a mobilidade da vida selvagem e melhorando a biodiversidade;
- Infraestrutura de Águas Pluviais Sustentável, utilizando características naturais, como plantas nativas e solo permeável, para gerenciar a água da chuva e reduzir o impacto do escoamento urbano;
- Desenvolvimento de espaços urbanos multifuncionais, que incorporem áreas de estar, lazer e espaços verdes;
- Corredores de Biodiversidade com faixas contínuas de vegetação que conectam diferentes habitats e promovem a diversidade de espécies;
- Sistemas Agroflorestais Urbanos para Integração de árvores e culturas agrícolas em áreas urbanas para promover a produção de alimentos local; e
- Paredes e Pavimentos permeáveis, permitindo a absorção de água no solo e a redução do escoamento superficial.

Com destaque dessa pesquisa, os Jardins Verticais ajudam na mitigação das ilhas de calor urbano, uma vez que a vegetação ajuda a resfriar o ambiente externo por meio da sombra, evapotranspiração e redução da radiação solar direta (LIU et al., 2021), bem como também pode auxiliar na melhoria do conforto térmico dos ambientes internos, quando aplicado em edificações.

3.2 Jardins Verticais

As primeiras referências de jardins verticais datam de aproximadamente 290 a.C., materializadas pelos 'Jardins Suspensos da Babilônia' e os quintais dos palácios do Império Romano (MUÑOZ et al., 2019). O principal momento da história em que os jardins verticais ganham projeção foi a partir do séc. XIX com Ebenezer Howard, que idealizou o movimento pelas "cidades-jardins". A proposta de Howard envolvia a criação de cidades planejadas que combinavam características urbanas e rurais com objetivo de proporcionar qualidade de vida aos residentes, com acesso fácil à natureza, espaços verdes, ar fresco e oportunidades para o trabalho agrícola. Nesse período os jardins verticais voltaram a ser incentivados (HOWARD, 1996) e essa tendência se manteve ao longo do século XX, principalmente em países como Alemanha, que entre 1983 e 1997 incentivou a construção de 245 mil metros quadrados de fachadas vegetadas em Berlim (MUÑOZ et al., 2019).

No início do século XXI, Patrick Blanc foi o principal responsável pela popularização das fachadas vegetadas com o desenvolvimento da técnica de "*mur vegetal*", na qual a vegetação é acoplada à parede em um painel de substrato, dispensando o uso de solo. Atualmente os jardins verticais tornaram-se ainda mais complexos, utilizando técnicas de construção capazes de cobrir áreas verticais extensas (Ibid.).

Casini (2016) apresenta uma visão geral sobre as diferentes tecnologias e soluções para fachadas de edifícios e enfatiza a importância do jardim vertical como um elemento adicional para o desempenho térmico e para a estética de um edifício. O autor discute as diferentes funções que o jardim pode desempenhar nos edifícios, tais como proteção solar; isolamento térmico, acústico e visual; e como diferentes tecnologias podem ser usadas para atender a essas funções. O autor também destaca a importância do desempenho energético e sustentabilidade na seleção de materiais e soluções de fachada. Entre os exemplos de fachadas vegetadas apresentadas, estão:

- Musée du quai Branly de Jean Nouvel e Patrick Blanc em Paris (Figura 1).

Figura 1 - Musée du quai Branly.



Fonte: (CASINI, 2016, p. xx).

A fachada foi projetada pelo arquiteto Jean Nouvel e pelo botânico Patrick Blanc e consiste em uma parede verde de 200 metros quadrados que abriga cerca de 15.000 plantas de 150 espécies diferentes. A fachada verde é composta por uma série de painéis de metal e irrigação automática que fornecem água e nutrientes à vegetação. As plantas são organizadas de acordo com sua origem geográfica e criam um efeito dinâmico, visto que mudam de aparência de acordo com as estações do ano (CASINI, 2016).

- Bosco Verticale de Stefano Boeri em Milão (Figura 2).

Figura 2 - Bosco Verticale.



Fonte: (CASINI, 2016, p. xx).

O projeto de Boeri trata de um conjunto de dois edifícios residenciais em Milão, com mais de 900 árvores e 20 mil plantas distribuídas em varandas e terraços. O projeto objetiva criar um ecossistema vertical que possa melhorar a qualidade do ar e proporcionar mais espaço verde em áreas urbanas densas. Além disso, a fachada verde ajuda a reduzir a necessidade de sistemas de resfriamento e aquecimento artificial dos edifícios, proporcionando um ambiente mais sustentável e econômico (Ibid.).

3.3 Métodos construtivos

Os termos “jardim vertical”, “parede verde” e “fachada verde” são frequentemente empregados de maneira intercambiável, descrevendo sistemas que permitem o desenvolvimento da vegetação em superfícies verticais, diretamente nas fachadas ou em estruturas adjacentes a ela. Entretanto abrangem diferentes modelos de envoltória que se diferenciam pela manutenção e complexidade da construção (MUÑOZ et al., 2019).

De acordo com Barbosa e Fontes (2016), a fachada verde é categorizada como um sistema extensivo, caracterizado por ser de fácil construção e manutenção, com a vegetação plantada diretamente no solo. Por outro lado, a parede viva é classificada como um sistema intensivo, exigindo construção e manutenção mais complexas, e apresenta pouca ou nenhuma presença de solo.

Além disso, existem duas tipologias em fachada verde que se referem à localização da planta: em que utiliza trepadeiras ou plantas pendentes diretamente na fachada (classificada como direta), ou em estruturas de suporte adjacente à construção (classificada como indireta) (BARBOSA; FONTES, 2016).

Em estruturas fixadas na parede, a vegetação pode ser suportada por cabos ou telas, e diversos materiais podem ser utilizados como suporte para plantas trepadeiras, incluindo aço revestido, aço inoxidável, aço galvanizado, diferentes tipos de madeira, plástico ou alumínio. Cada material tem suas próprias características estéticas e funcionais, que variam de acordo com o peso, espessura do perfil, durabilidade e objetivo de projeto (PERINI; OTTELÉ, 2014).

Paredes vivas são designadas como sistemas de painéis ou módulos, seja pré-fabricados ou não, que são instalados em um suporte vertical ou diretamente na parede. Segundo Barbosa e Fontes (2016, p. 118), esse sistema exige alta tecnologia no processo de produção, uma vez que “a estrutura básica se resume a um suporte, geralmente metálico, fixado à parede; uma membrana impermeável e os painéis ou módulos onde a vegetação será plantada”. Essa tipologia pode apresentar variações, como a utilização de espuma ou tecido geotêxtil onde as plantas se enraízam. Além disso, podem ser instalados por sistemas hidropônicos e de feltro:

Sistemas hidropônicos: neste método, as plantas são cultivadas em um substrato sem solo, com suas raízes suspensas em uma solução nutritiva. Os sistemas hidropônicos podem ser instalados em paredes ou módulos de jardins verticais independentes, e são conhecidos por sua eficiência no uso de água. No entanto, eles exigem manutenção e monitoramento constante do pH da solução nutritiva (BARBOSA; FONTES, 2016).

Sistemas de feltro: este método envolve o uso de um feltro especial como substrato para as plantas, que é pendurado em uma parede vertical. A água é fornecida por meio de um sistema de irrigação por gotejamento, que fornece nutrientes diretamente às raízes das plantas. Esse método é, comparativamente ao anterior, mais fácil de instalar e manter. No entanto, a seleção de plantas pode ser limitada e o feltro requer substituição regular (Ibid.).

Na pesquisa desenvolvida por Coma et al., (2017), os autores apresentaram uma análise comparativa de diferentes sistemas de paredes verdes com o objetivo de avaliar as características e os benefícios de diferentes sistemas. Vale ressaltar que os autores realizaram o experimento em condições climáticas continentais do tipo Csa (temperado quente; verão seco; verão quente), conforme classificação climática de Köppen-Geiger. Os autores avaliaram as

vantagens ambientais, econômicas e estéticas e, em seguida, apresentaram as principais características dos três tipos de paredes verdes.

O primeiro é o "sistema de treliça", que usa uma estrutura em grelha para suportar as plantas; o segundo é o "sistema de módulos pré-fabricados", que precisam suportar a vegetação e o substrato; o terceiro é o "sistema de bolsas", que consiste em uma série de bolsões suspensos que contêm plantas e o substrato. Os autores avaliam cada um desses tipos com base em critérios em eficiência da irrigação, facilidade de manutenção, custo e composição formal. Eles concluíram que os três sistemas têm vantagens e desvantagens, mas que o sistema de bolsas é a opção mais eficiente em termos de irrigação e manutenção, enquanto o sistema de módulos pré-fabricados é a opção mais econômica e fácil de instalar (COMA et al., 2017).

3.4 Manutenção

A manutenção de um jardim vertical envolve alguns aspectos a considerar: fertilização, poda, manutenção e substituição de plantas, limpeza e remoção de detritos, irrigação, monitoramento ambiental e manutenção da estrutura. O monitoramento ambiental de um jardim vertical refere-se ao acompanhamento e controle dos elementos que afetam a saúde e o desenvolvimento das plantas em um jardim vertical (COMA et al., 2017). Considerando o objetivo dessa pesquisa, aqui entende-se manutenção com enfoque em tecnologias prediais empregadas. Assim, destacam-se as pesquisas que tratam de monitoramento ambiental e manutenção da estrutura.

3.4.1 Sistema de irrigação em jardins verticais

Os sistemas de irrigação são adotados para otimizar o uso da água em jardins verticais. Isso inclui o desenvolvimento de sistemas de irrigação com menor consumo de água, técnicas de recirculação de água e o uso de sensores e tecnologias de monitoramento para melhorar a precisão e eficácia da irrigação (YU et al., 2016; COMA et al., 2017; SALAH; ROMANOVA, 2021; FERNÁNDEZ; ACUÑA; ALMENTERO, 2022; ODE SANG; THORPERT; FRANSSON, 2022).

Além disso, existem pesquisas com o objetivo de entender as necessidades hídricas de diferentes espécies utilizadas em jardins verticais. Isso envolve a avaliação da taxa de evapotranspiração das plantas, o uso de sensores para monitorar a umidade do solo e o desenvolvimento de modelos computacionais e físicos para auxiliar no manejo adequado da irrigação (PERINI; OTTELÉ, 2014; YU et al., 2016; HAN; SHIM, 2020).

A pesquisa desenvolvida por Yu et al. (2016) aborda o uso de argila hidroabsorvente em sistemas de vegetação vertical, que é capaz de absorver grandes quantidades de água e nutrientes. Os resultados do estudo mostram que a adição desse material pode melhorar significativamente a retenção de água e nutrientes no solo e, portanto, aumentar a eficiência do sistema de irrigação e, conseqüentemente, o desenvolvimento do jardim (YU et al., 2016).

Han e Shim (2020), avaliaram a instalação de um sistema de irrigação automatizado com temporizadores para garantir a irrigação regular e consistente. Os autores consideraram o efeito de diferentes ciclos de irrigação no crescimento de sete espécies de plantas. Os resultados indicam que o crescimento das plantas é influenciado pelos ciclos de irrigação, mas a influência deve variar de acordo com a espécie (HAN; SHIM, 2020).

O artigo desenvolvido por Fernández, Acuña e Almentero (2022) analisou um sistema construtivo modular para a criação de paredes verdes em zonas industriais e comerciais na Colômbia. O sistema consistiu em módulos pré-fabricados, que incluíram uma estrutura metálica com uma camada de substrato e plantas fixadas, e um sistema de irrigação automático. A avaliação da eficiência do sistema foi baseada na medição da concentração de poluentes atmosféricos antes e depois da instalação das paredes verdes. Os resultados mostraram que o sistema é capaz de remover significativamente a poluição do ar, com uma redução de até 50% na concentração de dióxido de nitrogênio e material particulado suspenso (FERNÁNDEZ; ACUÑA; ALMENTERO, 2022).

De maneira geral, é possível afirmar que as pesquisas atuais incorporam sensores, dispositivos de automação e algoritmos para monitorar as necessidades hídricas das plantas e fornecer a quantidade certa de água no momento adequado, de acordo com a necessidade da espécie, o que garante o correto crescimento, desenvolvimento saudável da planta e eficiência hídrica.

3.4.2 Sistema de iluminação

É importante monitorar as condições ambientais do local onde o jardim vertical está instalado. Isso inclui verificar a exposição à luz para ajustar adequadamente os cuidados e garantir o ambiente ideal para as plantas (DOMINICI et al., 2021). Os mesmos autores desenvolveram um estudo que fornece informações sobre como a iluminação pode afetar o desempenho de paredes verdes na remoção de dióxido de carbono e sugere a importância da seleção adequada de plantas para atingir o melhor desempenho. O artigo descreve uma investigação experimental do desempenho de paredes verdes interiores na remoção de dióxido de carbono (CO₂) em diferentes condições de iluminação. O estudo foi realizado em um ambiente controlado com diferentes níveis de luz solar e artificial, utilizando lâmpadas LED em duas paredes verdes diferentes, sendo uma com plantas tropicais e outra, com plantas adaptadas ao ecossistema de Sidney, na Austrália. Os resultados mostraram que a remoção de CO₂ pela parede verde foi significativamente afetada pelas condições de iluminação. Foi observado que os melhores resultados de remoção de CO₂ ocorreram em situações que apresentavam uma densidade de fluxo de luz de 200 mmol m⁻² s⁻¹ (10500 lux) em um ângulo de 15° da superfície vertical de crescimento. Assim, a iluminação abaixo do ideal, de acordo com a necessidade específica da planta, pode diminuir significativamente a capacidade de remoção de CO₂ de paredes verdes (DOMINICI et al., 2021).

Assim como Dominici et al. (2021), López-López et al. (2022) apresentam pesquisas sobre a seleção de espécies de plantas adequadas para a criação de jardins verticais em ambientes internos, porém, com enfoque em plantas adaptadas para este uso. Uma vez que o sistema foi previsto para ambientes internos, também destaca a importância da utilização de fontes de luz para além do natural. Dessa forma, o estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de diferentes espécies de plantas, selecionadas com base em suas características estéticas, no cultivo vertical em painéis e sua capacidade de purificação do ar. As plantas com maior densidade de folhagem e maior área foliar apresentaram melhor desempenho na purificação do ar. Portanto, é preciso considerar as condições ambientais adequadas para o

cultivo de cada espécie de planta, a fim de garantir o sucesso do cultivo vertical (LÓPEZ-LÓPEZ et al., 2022b).

Considerando os artigos supracitados, fica evidente que a implementação eficaz de jardins verticais requer uma abordagem holística, incorporando a seleção adequada de plantas, ajustes precisos nas condições de iluminação e considerações ambientais específicas. Monitorar e adaptar constantemente esses elementos é de grande importância para garantir não apenas a beleza estética mas, também, a funcionalidade e eficiência desses sistemas, promovendo ambientes internos e externos mais saudáveis e sustentáveis.

3.4.3 Manutenção da estrutura

A manutenção dos jardins verticais também envolve a inspeção e manutenção da estrutura de suporte em si. Isso pode incluir reparos, pintura, verificação da estabilidade e integridade geral da estrutura. No entanto, para este trabalho, foram consideradas as pesquisas que abordam a manutenção com práticas inovadoras, especialmente em relação às tecnologias adotadas ou desenvolvidas para uma situação específica.

Yeo et al. (2021), assim como Holschemacher et al. (2022) discutem o uso de tecnologia robótica na manutenção de jardins verticais e na preservação da vegetação. Os autores apresentam a possibilidade de utilizar robôs para manutenção de jardins verticais, que é uma área em que esse tipo de solução ainda é pouco explorado. No entanto, ambas pesquisas não aprofundam nos desafios e limitações de implementação de um sistema robótico como este, bem como sobre os aspectos econômicos e de sustentabilidade envolvidos (YEO et al., 2021; HOLSCHMACHER et al., 2022).

No estudo de Gunawardena e Steemers (2020), os autores têm como objetivo relatar as experiências de instalação e manutenção de paredes verdes em áreas urbanas europeias. O estudo identifica a falta de padrões de manutenção e treinamento de pessoal qualificado como desafios significativos na manutenção adequada de paredes verdes (GUNAWARDENA; STEEMERS, 2020). Portanto, é possível perceber que existem desafios em ambos os casos, seja utilizando o emprego de manutenção a partir do trabalho humano ou robótico.

A partir do exposto, pode-se afirmar que a manutenção eficaz de jardins verticais exige não apenas a consideração das necessidades das plantas, mas, também, uma abordagem cuidadosa em relação à estrutura física e aos métodos utilizados. A introdução de tecnologias inovadoras, embora promissoras, precisa ser acompanhada de uma avaliação mais abrangente de seus impactos, desafios e considerações econômicas e sustentáveis para garantir a durabilidade e eficácia a longo prazo.

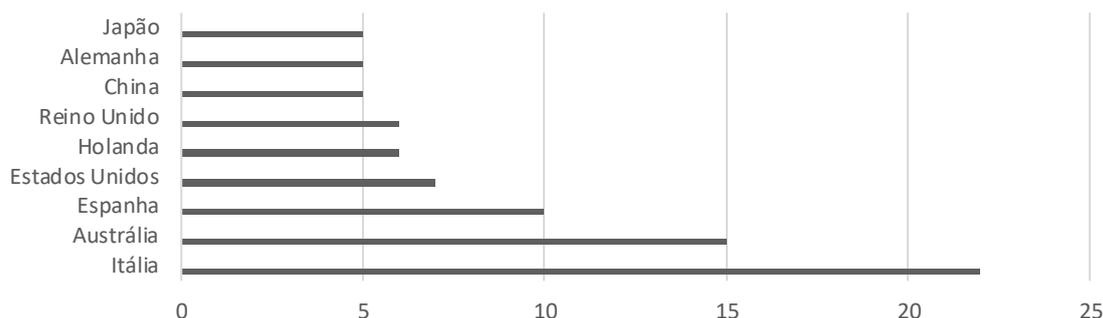
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nos últimos dez anos, houve um aumento significativo no interesse e na pesquisa sobre jardins verticais. Entre 2013 e 2023, diversas pesquisas foram conduzidas em todo o mundo para avaliar os benefícios desses jardins, com pico de produção em 2021. Os resultados também mostraram que os principais periódicos que publicaram artigos sobre jardins verticais incluem *“Building and Environment”*, *“Energy and Buildings”*, *“Urban Forestry & Urban*

Greening”, “Energy Procedia”, “Journal of Building Engineering”, “Science of The Total Environment” e “Ecological Engineering”.

A análise dos artigos também mostrou que os estudos sobre jardins verticais foram conduzidos em diversos países, com destaque para a Itália (Figura 3) com vinte e dois artigos no total, sendo nove destes produzidos na *Università degli Studi di Genova*. Destaca-se que entre os autores mais produtivos em jardins verticais no período pesquisado, três são italianos: Perini, k., Giordano, R. e Ottele, M. Além desses, os autores Irga, P.J. e Montacchini, E. também são influentes no tema.

Figura 3. Número de artigos produzidos por países nos últimos 10 anos.



Fonte: AUTORES, 2023.

Como apresentado na Figura 3, além da Itália, Austrália, Espanha e Estados Unidos são os países com maior número de publicações em pesquisa no tema de jardins verticais nos últimos dez anos. Pode-se inferir que tal resultado deve-se ao fato de estes países serem líderes em inovação e pesquisa no campo da arquitetura paisagística, o que resulta em um maior número de publicações científicas e técnicas. Esses países também possuem uma variedade de climas e paisagens geográficas, o que estimula a busca por soluções criativas para o cultivo de plantas, principalmente em espaços verticais. Observa-se que a diversidade de condições climáticas e geográficas possibilita a experimentação e a adaptação de diferentes técnicas de jardins verticais. Além disso, esses países enfrentam desafios comuns relacionados à urbanização e à escassez de espaço, principalmente o Japão e a China, enquanto os jardins verticais oferecem uma estratégia para aproveitar áreas verticais em ambientes urbanos densos.

De acordo com as referências consultadas, há uma variedade de assuntos abordados em relação a esse sistema. Para essa pesquisa, destacam-se trabalhos com foco em manutenção, irrigação, iluminação da planta, método construtivo, design computacional, modelo físico e gerenciamento da vegetação (Figura 4).

Nesse levantamento foram consideradas as abordagens das pesquisas enquanto estratégias de metodologia. Dessa forma, no tópico de design computacional, entende-se trabalhos que ficaram apenas no âmbito virtual, enquanto para modelo físico, entende-se aquelas que desenvolveram um jardim vertical. Além disso, em gerenciamento da vegetação, entende-se pesquisas que abordaram o melhor tipo de vegetação de acordo com o contexto ambiental local e monitoramento e crescimento da planta.

Figura 4. Percentual relativo dos assuntos abordados



Fonte: AUTORES, 2024.

Uma das tendências mais notáveis durante o período de análise – 2013 a 2023 – foi a abordagem paramétrica na implementação de jardins verticais, com 34% das pesquisas com foco em design computacional. Isso envolve o uso de ferramentas de modelagem digital para otimizar a geometria e a distribuição das plantas no espaço. Apesar disso, apenas 4% das pesquisas desenvolveram modelos físicos, ainda assim, em laboratórios e ambientes controlados. Portanto, existe a lacuna de estudos que validaram a experiência em situações reais ou em escala urbana.

Além disso, 12% das pesquisas abordaram o método construtivo e 16% estudam a manutenção e ciclo de vida do sistema. Portanto, destaca-se a tendência, nos últimos anos, em buscar por tecnologias na implementação e manutenção de jardins verticais, incluindo o uso de sistemas de irrigação automatizados (16%) e soluções de gerenciamento de dados para monitorar e controlar o crescimento das plantas (18%).

Apesar do crescente número de pesquisas nas abordagens supracitadas, esses sistemas ainda encontram dificuldades de sobrevivência a longo prazo. Köhler (2008) discursa que Jardins verticais podem ter uma vida útil de 10 anos, porém, exemplos como os jardins verticais no Elevado Presidente João Goulart em São Paulo – popularmente conhecido como Minhocão (Figura 5) –, representam a dificuldade de manter o sistema, uma vez que precisaram ser substituídos a cada 3 anos devido à carência de manutenção.

Figura 5- jardim vertical sem manutenção no Minhocão.



Fonte: (ARCHDAILY BRASIL, 2019)

Na pesquisa realizada, entre outros aspectos, constatou-se a existência de lacunas de pesquisas em outros temas, além dos apresentados. Destaca-se a inclusão recente de pesquisas em sistemas de gerenciamento de iluminação, uma vez que a pesquisa dessa temática englobou apenas 4% dos trabalhos selecionados. É possível inferir que tal lacuna ocorre em função de sua complexidade, considerando que a investigação sobre iluminação de jardins verticais envolver

uma combinação de conhecimentos em iluminação, botânica, arquitetura e design. Essa multidisciplinaridade pode dificultar a realização de pesquisas abrangentes, pois requer a colaboração de especialistas de diferentes áreas.

5. CONCLUSÃO

Considerando os artigos consultados, a espécie, densidade foliar e iluminação são parâmetros importantes no projeto desses sistemas. Além disso, a escolha da vegetação está diretamente relacionada à estrutura do próprio jardim vertical, considerando que este será também o suporte do sistema de irrigação e de iluminação. Nesse sentido, deve-se considerar a manutenção como uma etapa importante para o sucesso desse sistema.

As pesquisas recentes sobre jardins verticais se concentraram no uso de diferentes tipos de suportes, materiais de plantio, sistemas de irrigação e substratos. Também foram levantadas pesquisas sobre o uso de tecnologias consideradas inovadoras, que empregaram sensores de umidade, sistemas de irrigação automatizados e soluções de gerenciamento de dados para monitorar e controlar o crescimento das plantas.

Como conclusão, pode-se afirmar que os jardins verticais têm o potencial de melhorar significativamente a qualidade de vida nas áreas urbanas, conforme os benefícios mencionados anteriormente. No entanto, existe a carência de pesquisas que abordam a implementação desses sistemas em situações reais de manutenção, principalmente com relação à iluminação.

A diversidade de sistemas e contextos torna desafiador conduzir pesquisas padronizadas que possam ser aplicáveis em diferentes situações. Portanto, espera-se que com enfoque em pesquisas em tecnologias inovadoras, o jardim vertical se torne uma solução mais viável e eficaz para os problemas enfrentados pelas áreas urbanas.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem: à Capes, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela bolsa de doutorado vinculada a este projeto; ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES); ao Grupo de Pesquisa Conexão VIX/UFES; ao Laboratório de Planejamento e Projetos (LPP/UFES); e à FAPES pelo apoio financeiro oriundo do edital Universal 28/2022.

7. REFERÊNCIAS

ANDERSON, V.; GOUGH, W. A. Chapter 8 - Form, function, and nomenclature: Deconstructing green infrastructure and its role in a changing climate. Em: FARES, A. (Ed.). **Climate Change and Extreme Events**. [s.l.] Elsevier, 2021. p. 125–144.

ARCHDAILY BRASIL. **Jardins verticais do Minhocão secam e viram transtorno para moradores**. Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/921434/jardins-verticais-do-minhocao-secam-e-viram-transtorno-para-moradores>>. Acesso em: 10 nov. 2023.

BARBOSA, M. C.; FONTES, M. S. G. DE C. Jardins verticais: modelos e técnicas. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 7, n. 2, p. 114–124, 30 jun. 2016.

BUSTAMI, R. A. et al. Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. **Building and Environment**, v. 146, p. 226–237, 2018.

- CASINI, M. Advanced building skin. Em: **Smart Buildings**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 219–245.
- COMA, J. et al. Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. **Building and Environment**, v. 111, p. 228–237, 1 jan. 2017.
- DOMINICI, L. et al. Analysis of lighting conditions of indoor living walls: Effects on CO2 removal. **Journal of Building Engineering**, v. 44, p. 102961, 1 dez. 2021.
- FERNÁNDEZ, N. D. B.; ACUÑA, N. L. S.; ALMENTERO, J. M. P. Green Building Unit 2.0. Construction system of phytoremediation for industrial and commercial zones in Colombia. **Modulo Arquitectura CUC**, v. 28, p. 225–254, 2022.
- GUNAWARDENA, K.; STEEMERS, K. Urban living walls: reporting on maintenance challenges from a review of European installations. **Architectural Science Review**, v. 63, n. 6, p. 526–535, 1 nov. 2020.
- HAN, C.; SHIM, I.-S. Changes in growth characteristics of seven foliage plants grown in an indoor bio-wall system depending on irrigation cycle. **Journal of People, Plants, and Environment**, v. 23, n. 2, p. 179–189, 2020.
- HOLSCHMACHER, D. et al. **LARGE-SCALE, ROPE-DRIVEN ROBOT FOR THE AUTOMATED MAINTENANCE OF URBAN GREEN FACADES**. (Holschemacher K. et al., Eds.) Proceedings of International Structural Engineering and Construction. **Anais...** Em: PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL STRUCTURAL ENGINEERING AND CONSTRUCTION. ISEC Press, 2022. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85136129372&doi=10.14455%2fISEC.2022.9%281%29.SUS-12&partnerID=40&md5=c42cf1da4d1cc89211c240d2934b0d1f>>
- KÖHLER, M. Green facades—a view back and some visions. **Urban Ecosystems**, v. 11, n. 4, p. 423–436, dez. 2008.
- LIU, Z. et al. Heat mitigation benefits of urban green and blue infrastructures: A systematic review of modeling techniques, validation and scenario simulation in ENVI-met V4. **Building and Environment**, v. 200, p. 107939, 1 ago. 2021.
- LÓPEZ-LÓPEZ, N. et al. **Evaluation of different plant species arranged in panels for indoor vertical gardens**. [s.l.] International Society for Horticultural Science, 2022a. v. 1345p. 208
- LÓPEZ-LÓPEZ, N. et al. Evaluation of different plant species arranged in panels for indoor vertical gardens. **Acta Horticulturae**, v. 1345, p. 205–208, 2022b.
- MAIER, D. Perspective of using green walls to achieve better energy efficiency levels. A bibliometric review of the literature. **Energy and Buildings**, v. 264, p. 112070, 1 jun. 2022.
- MUÑOZ, L. S. et al. Desempenho térmico de jardins verticais de tipologia fachada verde. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019013–e019013, 27 mar. 2019.
- ODE SANG, Å.; THORPERT, P.; FRANSSON, A.-M. Planning, Designing, and Managing Green Roofs and Green Walls for Public Health – An Ecosystem Services Approach. **Frontiers in Ecology and Evolution**, v. 10, 2022.
- PERINI, K.; OTTELÉ, M. Designing green façades and living wall systems for sustainable constructions. **International Journal of Design and Nature and Ecodynamics**, v. 9, n. 1, p. 31–46, 2014.
- REZENDE, J. DE C.; ROCHA, B. M.; ABRAHÃO, K. C. DE F. J. Fachadas Vegetadas em áreas urbanas: Estudo de caso em Belo Horizonte. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 9, n. 22, 17 mar. 2021.
- SACHS, J. et al. **Sustainable Development Report 2020**. [s.l.] Cambridge University Press, 2021.
- SALAH, G. M. J. A.; ROMANOVA, A. Life cycle assessment of felt system living green wall: Cradle to grave case study. **Environmental Challenges**, v. 3, p. 100046, 1 abr. 2021.
- SHAO, H.; KIM, G. A Comprehensive Review of Different Types of Green Infrastructure to Mitigate Urban Heat Islands: Progress, Functions, and Benefits. **Land**, v. 11, n. 10, 2022.

VALENTE DE MACEDO, L. S. et al. Urban green and blue infrastructure: A critical analysis of research on developing countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 313, p. 127898, 1 set. 2021.

YEO, M. S. K. et al. Design of robot-inclusive vertical green landscape. **Buildings**, v. 11, n. 5, 2021.

YU, L.-J. et al. **Water absorbing plantation clay for vertical greenery system**. (Butu A. et al., Eds.)MATEC Web Conf. **Anais...** Em: 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON CHEMICAL AND BIOLOGICAL SCIENCES, ICCBS 2016. EDP Sciences, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84976427886&doi=10.1051%2fmatecconf%2f20166001002&partnerID=40&md5=7c17066bdfb78980aeb1546dadbd9691>>. Acesso em: 23 mar. 2016