

Eficiência e Sustentabilidade de Paredes e Telhados Verdes: Revisão Sistemática da Literatura

Efficiency and Sustainability of Green Walls and Roofs: Systematic Literature Review

Eficiencia y Sostenibilidad de Muros y Techos Verdes: Revisión Sistemática de Literatura

Thácia Danily de Oliveira Santos

Licenciatura de Engenharia Civil, UTAD, Portugal.
al65344@alunos.utad.pt

Luís Filipe Sanches Fernandes

Professor Doutor, UTAD, Portugal.
lfilipe@utad.pt

Fernando António Leal Pacheco

Professor Doutor, UTAD, Portugal.
fpacheco@utad.pt

RESUMO

Telhados e paredes verdes como componente de edificações, principalmente em centros urbanos, destacam-se por proporcionarem economia de energia, redução de ruído e impacto visual e sustentável positivo, impactando tanto em relação ao visual quanto no bem-estar das pessoas. Estruturas verdes têm ganhando destaque e relevância nas duas primeiras décadas do século XXI, alinhando-se às tendências de sustentabilidade ambiental promovidas por governos, organizações e indivíduos, como as metas para redução de CO² na atmosfera e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. Nesse sentido, esta revisão sistemática da literatura, uma pesquisa de natureza exploratória e caráter qualitativo, investiga como a eficiência e a sustentabilidade estão sendo abordadas em relação aos telhados e paredes verdes na arquitetura urbana. Utilizando-se da metodologia PRISMA, após a seleção e análise dos artigos selecionados, conclui-se que a perspectiva da eficiência de paredes e telhados verdes abordada na literatura apresenta a eficiência associada ao indicador desempenho, que resulta em alguns benefícios, mas sem alcançar eficiência ambiental e econômica de modo integral. A eficiência pode ser um fator importante da sustentabilidade, uma vez que, maximizando-a, esta pode reduzir o consumo de recursos e minimizar os impactos ambientais. O conceito da sustentabilidade surge nos estudos na perspectiva de telhados e paredes verdes enquanto soluções de mitigação dos efeitos das alterações climáticas, embora os altos custos e utilização de materiais não sustentáveis afetem a sustentabilidade. Estas estruturas verdes podem ser consideradas sustentáveis se pensados de forma sustentável no ciclo de vida completo, desde a escolha de materiais sustentáveis até a manutenção adequada da estrutura. Os estudos indicam a necessidade de utilização de tecnologias mais limpas, materiais ecológicos e processos de produção destes mais eficientes e vegetação adequada ao clima com menor reposição e minimização dos custos em todo o processo. Como trabalhos futuros, sugere-se uma pesquisa integrada de telhados e paredes verdes com a utilização de tecnologias limpas para todo o ciclo de vida dos sistemas, bem como verificar atentamente todo o ciclo de vida da sustentabilidade empregada, garantindo assim a conjugação de eficiência econômica com sustentabilidade ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: telhados verdes, paredes verdes, sustentabilidade

ABSTRACT

Green roofs and walls as a component of buildings, especially in urban centers, stand out for providing energy savings, noise reduction and a positive visual and sustainable impact, impacting both in terms of appearance and people's well-being. Green structures have gained prominence and relevance in the first two decades of the 21st century, aligning with the trends in environmental sustainability promoted by governments, organizations and individuals, such as the goals for reducing CO₂ in the atmosphere and the UN Sustainable Development Goals. In this sense, this systematic review of the literature, an exploratory and qualitative research, investigates how efficiency and sustainability are being addressed in relation to green roofs and walls in urban architecture. Using the PRISMA methodology, after selecting and analyzing the selected articles, it is concluded that the perspective of efficiency of green walls and roofs addressed in the literature presents efficiency associated with the performance indicator, which results in some benefits, but without achieving environmental and economic efficiency comprehensively. Efficiency can be an important factor of sustainability, since maximizing it can reduce resource consumption and minimize environmental impacts. The concept of sustainability emerges in studies from the perspective of green roofs and walls as solutions to mitigate the effects of climate change, although high costs and the use of non-sustainable materials affect sustainability. These green structures can be considered sustainable if considered sustainably throughout the life cycle, from the choice of sustainable materials to the proper maintenance of the structure. The studies indicate the need for the use of cleaner technologies, green materials and more efficient production processes, and climate appropriate vegetation with less replacement and minimizing costs throughout the process. As future work, an integrated research of green roofs and walls with the use of clean technologies for the entire life cycle of the systems is suggested, as well as a thorough verification of the entire life cycle of the sustainability employed, thus ensuring the conjunction of economic efficiency with environmental sustainability.

KEYWORDS: green roofs, green walls, sustainability

RESUMEN

Los techos y muros verdes como componente de las edificaciones, especialmente en los centros urbanos, se destacan por brindar ahorro de energía, reducción de ruido y un impacto visual positivo y sustentable, impactando tanto en la apariencia como en el bienestar de las personas. Las estructuras verdes han ganado protagonismo y relevancia en las dos primeras décadas del siglo XXI, alineándose con las tendencias de sostenibilidad ambiental impulsadas por gobiernos, organizaciones e individuos, como las metas de reducción de CO₂ en la atmósfera y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU. En este sentido, esta revisión sistemática de la literatura, una investigación exploratoria y cualitativa, investiga cómo se está abordando la eficiencia y la sostenibilidad en relación con los techos y muros verdes en la arquitectura urbana. Utilizando la metodología PRISMA, luego de seleccionar y analizar los artículos seleccionados, se concluye que la perspectiva de eficiencia de los muros y cubiertas verdes abordada en la literatura presenta la eficiencia asociada al indicador de rendimiento, lo que resulta en algunos beneficios, pero sin alcanzar la eficiencia ambiental y económica de forma integral. La eficiencia puede ser un factor importante de sostenibilidad, ya que maximizarla puede reducir el consumo de recursos y minimizar los impactos ambientales. El

concepto de sostenibilidad surge en los estudios desde la perspectiva de los tejados y muros verdes como soluciones para mitigar los efectos del cambio climático, aunque los elevados costes y el uso de materiales no sostenibles afectan a la sostenibilidad. Estas estructuras verdes pueden considerarse sostenibles si se plantean de forma sostenible durante todo el ciclo de vida, desde la elección de materiales sostenibles hasta el mantenimiento adecuado de la estructura. Los estudios indican la necesidad de utilizar tecnologías más limpias, materiales ecológicos y procesos de producción más eficientes, así como una vegetación adecuada al clima, con menos sustituciones y minimizando los costes durante todo el proceso. Como trabajos futuros, se sugiere una investigación integrada de cubiertas y muros verdes con el uso de tecnologías limpias para todo el ciclo de vida de los sistemas, así como una verificación exhaustiva de todo el ciclo de vida de la sostenibilidad empleada, garantizando así la conjugación de la eficiencia económica con la sostenibilidad ambiental.

PALABRAS CLAVE: techos verdes, muros verdes, sustentabilidad

1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de energia e os efeitos da poluição ambiental global, principalmente em áreas densamente urbanizadas, torna urgente e relevante encontrar soluções para limitar e reduzir o impacto da atividade humana no meio ambiente, promovendo a sustentabilidade. Nesta perspectiva, as paredes e telhados verdes são vistos como possibilidades de aplicar os conceitos da sustentabilidade.

As paredes e telhados verdes são conhecidos há muito tempo, desde os Jardins Suspensos da Babilônia até o Império Romano e Grego. Na contemporaneidade, as novas tecnologias tornaram as paredes e os telhados verdes mais eficientes (VIJAYARAGHAVAN, 2016; MANSO; CASTRO-GOMES, 2015), oferecendo vários benefícios ambientais diretos e indiretos, tais como atenuação de águas pluviais, benefícios térmicos, redução do consumo de energia, mitigação do efeito ilha de calor, tratamento de águas cinzas, capacidade de retenção de água, redução de ruído, poluição do ar, apelo estético, barreira de vento, entre outros (VIJAYARAGHAVAN, 2016; PÉREZ et. al., 2011).

As paredes verdes são definidas como qualquer superfície de parede que possua vegetação, podendo ser dividida em dois grupos: paredes vivas e fachadas verdes (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). As paredes vivas são compostas por painéis e/ou feltros geotêxteis que são presos em um suporte vertical ou na estrutura da parede (PÉREZ et. al., 2011) e permitem uma cobertura rápida de grandes superfícies, crescimento uniforme ao longo da superfície vertical, alcançando áreas altas, adaptando-se a todo tipo de edifícios e possibilitando a integração de uma variedade de espécies de plantas, já nas fachadas verdes, a vegetação cresce diretamente na parede do edifício (MANSO; CASTRO-GOMES, 2015). Segundo Manso e Castro-Gomes (2015), as fachadas verdes podem ser classificadas ainda como diretas (plantas fixadas diretamente na parede) ou indiretas (com estrutura de suporte para a vegetação).

Os telhados verdes são classificados, segundo Vijayaraghavan (2016), em intensivos, extensivos e semi-intensivos. Os telhados verdes intensivos tem uma camada grossa de substrato (20-200cm), variação de plantas, alta manutenção, alto custo e peso elevado, podendo ter uma diversidade de plantas, como arbustos e pequenas árvores. Já os telhados verdes extensivos, estes possuem uma fina camada de substrato (menos de 15 cm), baixo custo, baixo peso e baixa manutenção, tendo limite no tipo de vegetação gramíneas, musgo e algumas plantas suculentas). Os telhados verdes semi-intensivos acomodam pequenas plantas herbáceas, coberturas de solo, gramíneas e pequenos arbustos devido à camada de substrato ligeiramente espessa, exigindo manutenção frequente e altos custos) (VIJAYARAGHAVAN, 2016).

Ter paredes e telhados verdes eficientes e sustentáveis é importante para o desenvolvimento sustentável. A eficiência pode ser definida como a capacidade de alcançar o máximo desempenho com o menor número de recursos necessários (BANTON, 2022). Por sua vez, Mello et.al. (2005) argumenta que a eficiência compara os resultados reais, com os resultados potenciais, considerando o mesmo recurso, por exemplo: se um curso pré-vestibular conseguiu aprovar 15 alunos em um curso que oferece 20 vagas, pode-se dizer que esse foi eficaz, mas, não é possível dizer se ele foi eficiente pois não se conhece o tipo de aluno inscrito, quantos professores trabalhavam, a quantidade de horas/aula por semana dadas, que recursos audiovisuais estavam à disposição, etc.

Sustentabilidade é definida como o processo de viver dentro dos limites dos recursos

físicos, naturais e sociais disponíveis, de forma a permitir a continuidade e prosperidade de sistemas onde a vida humana está inserida. Sustentabilidade refere-se ainda à responsabilidade humana em atender às necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades (ONU, 2013). Esse conceito reflete-se em todos os âmbitos da vida humana, inclusive no setor da construção.

Nessa perspectiva, este artigo visa apresentar como a literatura aborda a questão da eficiência e da sustentabilidade de paredes e telhados verdes em áreas urbanas. Nesta perspectiva, na seção 2 serão apresentados os objetivos do trabalho, na seção 3 apresentar-se-á a metodologia aplicada, na seção 4 os resultados da revisão, seguido da conclusão na seção 5 e o referencial bibliográfico.

2 OBJETIVOS

Este trabalho, utilizando-se da metodologia revisão sistemática da literatura, tem como objetivo estudar a abordagem com que a eficiência e sustentabilidade na utilização de paredes e telhados verdes em construções urbanas é tratada na literatura científica sobre o tema.

3 METODOLOGIA

A validade científica do conhecimento sustenta-se na reprodutibilidade, possibilitando que outros cientistas, utilizando-se dos mesmos dados e métodos, possam chegar ao mesmo resultado. Assim, os problemas do mundo real são abordados, racionalizados e sistematizados e racionalizados por meio de abordagens quantitativas ou qualitativas, construindo e formalizando o conhecimento científico em um determinado campo (PEREIRA et al., 2018).

Metodologicamente falando, a revisão sistemática de literatura apresenta-se como um rigoroso método de mapear e resumir a produção científica em um determinado campo do conhecimento. Revisões sistemáticas, ao identificar, avaliar e resumir o conhecimento de uma determinada área, possibilita ainda evidenciar as novas direções da pesquisa no campo estudado, na forma de estudos futuros, o que fornece base científica relevante para propor estudos e trabalhos que avancem o conhecimento na área (FINK, 2019).

As revisões sistemáticas são baseadas em perguntas claras, utilizando-se de métodos sistematizados e explícitos com objetivo de identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes. Ao final, as revisões sistemáticas respondem às questões de pesquisa formuladas (FINK, 2019). Dentre as diversas metodologias para condução de revisões sistemáticas da literatura, destaca-se as orientações de Kitchenham e Charters (2007) e o método PRISMA (2023), este último adotado neste artigo para nortear o processo de revisão.

3.1 Estratégia de pesquisa

Como estratégia de pesquisa foi definido, na fase preparatória, um conjunto de termos que norteariam o processo. Para responder às questões de pesquisa da revisão identificou-se os conceitos de eficiência e sustentabilidade e, sem seguida, definiu-se como objeto de estudo os telhados e paredes verdes, inseridos no domínio de aplicação da engenharia civil.

Esta revisão sistemática da literatura foi realizada utilizando-se o buscador Google Scholar, delimitando as bases de dados Science Direct e Springer, em artigos publicados em revistas e periódicos indexador pelo Scopus. Após a formulação, testes e ajustes, chegou-se ao Critério de Inclusão CI1, composto pela seguinte expressão de busca: "green roofs" or "green walls" and "sustainability" and "efficiency".

3.2 Protocolo de revisão

A partir da definição da expressão de busca, o protocolo de revisão de literatura orientou-se pelos formulação e execução dos passos a seguir:

- Questões de pesquisa: (Research Questions)

Foram estabelecidas as seguintes questões de pesquisa (research questions) que nortearam este trabalho:

RQ1: Quais as perspectivas da eficiência de telhados e paredes verdes abordadas nos trabalhos?

RQ2: Como o conceito da sustentabilidade de telhados e paredes verdes é abordado nos trabalhos?

- Aplicação de critérios de inclusão e exclusão

Após formular e refinar uma expressão de busca, aplicada ao buscador Google Acadêmico, por sua reconhecida capacidade de indexação e possibilidade de delimitação de bases, os Critérios de Inclusão 1 (CI1) e Critérios de Exclusão (CE1 a 4) no quadro 1, a seguir:

Quadro 1- Protocolo de revisão

Critério	Descrição	Resultado
CI1	artigos que incluam os termos constantes na segunda expressão de busca "green roofs" or "green walls" and "sustainability" and "efficiency"	3.550
CE1	Artigos armazenados nas bases de dados Science Direct e Springer com indexação Scopus	708
CE2	Artigos que não contenham em seu título ou Abstract os termos constantes da expressão de busca (CI1)	84
CE3	artigos que não sejam papers publicados em periódicos com revisão por pares (livros, relatórios, teses e dissertações)	66
CE4	artigos que não apresentam relação com a temática eficiência e sustentabilidade na perspectiva adotada na revisão	33
Artigos resultantes		33

Fonte: os autores, 2023.

Os artigos resultantes foram verificados, corrigindo referências e duplicatas. Foram então inteiramente lidos, extraindo as informações visando responder às questões de pesquisa (Research Question 1 e Research Question 2), respectivamente. Estes artigos encontram-se descritos e identificados entre 1 até 33, no quadro 2.

4 RESULTADOS

Após a revisão sistemática da literatura, seguindo os critérios de inclusão e exclusão apresentados acima, obteve-se 33 papers, nomeados de 1 até 33, conforme quadro 2, a seguir, que apresenta, além de título, autoria, a identificação do paper.

Quadro 2 – Quadro com os resultados da revisão sistemática da literatura

Id	Título	Autoria
1	Perspective of using green walls to achieve better energy efficiency levels; a bibliometric review of the literature	Maier, D.
2	Fundamental green roof performance of residential building in desert climate: In terms of sustainability and decrease in energy consumption	Yuan et. al.
3	Use of green roofs for greywater treatment: Role of substrate, depth, plants, and recirculation	Thomaidi et al.
4	Assessing the environmental performance of plastic-based and felt-based green wall systems in a life-cycle perspective	Milad et. al.
5	Urban green roofs to manage rooftop microclimates: A case study from Sydney, Australia	Fleck et. al.
6	Evaluation of effects of a green wall as a sustainable approach on reducing energy use in temperate and humid areas	Karimi et. al.
7	A comparative study on green wall construction systems, case study: South valley campus of AASTMT	Menshawy et al.
8	Green roof as an effective tool for sustainable urban development: An Australian perspective in relation to stormwater and building energy management	Alim et. al.
9	A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation	Cosola et. al.
10	Impact of green walls on ventilation and heat removal from street canyons: Coupling of thermal and aerodynamic resistance	Zhao et. al.
11	Sustainable green roofs: a comprehensive review of influential factors	Shahmohammad et. al.
12	Comparative environmental and economic evaluation of green roofs under Mediterranean climate conditions—Extensive green roofs a potentially preferable solution	Koroxenidis; Theodosiou
13	Sustainability model to assess the suitability of green roof alternatives for urban air pollution reduction applied in Tehran	Mothlag
14	Investigating the thermal performance of green wall: Experimental analysis, deep learning model, and simulation studies in a humid climate	Daemei et. al.
15	Are green wall technologies suitable for major transport infrastructure construction projects?	Iligan; Irga
16	Towards green roof implementation: Drivers, motivations, barriers and recommendations	Zhang; He
17	<u>Prioritize and analyze barriers for rooftop greening in Tabriz, Iran</u>	Nohorli; Rafieyan
18	<u>Total value wall: Full scale demonstration of a green wall for grey water treatment and recycling</u>	Lakho et. al.
19	Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence	Cruz et. al.
20	An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas	Shafique et. al.
21	An overview of life cycle assessment of green roofs	Shafique et. al.
22	Thermal performance assessment of extensive green roofs investigating realistic vegetation-substrate configurations	Cascone et. al.
23	Green roofs and facades: A comprehensive review	Besir; Cuce

Id	Título	Autoria
24	Green roof benefits, opportunities and challenges—A review	Shafique et. al.
25	Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behaviour	de Jesus et. al.
26	Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings	Coma et. al.
27	Is greening the building envelope economically sustainable? An analysis to evaluate the advantages of economy of scope of vertical greening systems and green roofs	Perini; Rosasco
28	State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs	Berardi et. al.
29	Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings	Feng; Hewage
30	There's a meadow outside my workplace': A phenomenological exploration of aesthetics and green roofs in Chicago and Toronto	Loder A.
31	Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance	Feng; Hewage
32	Green roofs as passive system for energy savings in buildings during the cooling period: use of rubber crumbs as drainage layer	Coma et. al.
33	Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems	Perini; Rosasco

Fonte: os autores, 2023.

Para cada um dos papers selecionados, aplicou-se as questões de pesquisa especificadas acima, a saber, RQ1 (Quais as perspectivas da eficiência de telhados e paredes verdes abordadas nos trabalhos?) e RQ2 (Como o conceito da sustentabilidade de telhados e paredes verdes é abordado nos trabalhos?). As respostas que os trabalhos selecionados apresentam a essas questões encontram-se relacionados resumidamente, nos parágrafos a seguir. Visando apresentar uma estrutura mais concisa e organizada dos resultados da revisão, apresenta-se a eficiência de paredes e telhados verdes, seguido da sustentabilidade.

4.1 A eficiência de paredes e telhados verdes

As paredes e telhados verdes na perspectiva da eficiência energética e desempenho térmica, foram considerados pelos autores como tendo a capacidade de diminuir a temperatura e reduzir o consumo de energia quando instalados em edifícios (MAIER, 2022; YUAN et. al., 2022; FLECK et. al., 2022; KARIMI et. al., 2022; ALIN et. al., 2022; ZHAO et. al., 2022; DAEMEI et. al., 2021; CASCONI et. al, 2019; BESIR; CUCE, 2018; JESUS et.al, 2017; COMA et. al., 2016; FENG; HEWAGE, 2014a; FENG; HEWAGE, 2014b; COMA et. al. 2014). Além de reduzir a temperatura, as paredes verdes absorvem ondas acústicas, reduzindo o ruído e melhorando o conforto urbano (COSOLA et. al., 2022). A redução da temperatura do ar em paredes verdes leva à redução da força de empuxo, que, com a resistência aerodinâmica reduz a ventilação do ar, podendo afetar negativamente o conforto térmico e a remoção de poluentes (ZHAO et. al., 2022). Mas, a eficiência na utilização destes sistemas depende das variáveis físicas de cada edifício e do tipo de vegetação escolhida (KARIMI et. al., 2022).

Na análise do tratamento de águas cinzas, é importante considerar a qualidade e tipo do substrato, profundidade, plantas e recirculação para o desempenho de poluentes. A alta capacidade de retenção de água limita a exportação de poluição para a maioria dos eventos de tempestade (THOMAIDI et.al., 2022). Contudo, quando os telhados verdes estão saturados, eles podem ser uma fonte de poluição (LAKHO et. al., 2021).

Ao considerar a gestão de águas pluviais, demonstrou-se que a capacidade média de retenção de água de um telhado verde é de cerca de 66,2%, o que limita a exportação de poluição durante a maioria dos eventos de tempestade (ALIM et.al., 2022). A partir da avaliação do ciclo de vida, Milad et. al. (2022), Koroxenidis e Theodosiou (2021), Shafique et. al. (2020b) e Feng e Hewage (2014b) mostram que a escolha correta de materiais e o desenvolvimento de novos materiais eficazes em paredes ou telhados verdes são necessários para obter melhores benefícios ambientais e econômicos, essenciais para promover a sustentabilidade. Neste sentido, sistemas de paredes verdes para grandes infra estruturas rodoviárias podem ser adequadas se servirem a um propósito diferente da amenidade visual e reduzirem os impactos ambientais do projeto (ILIGAN; IRGA, 2021). Uma observação feita por Koroxenidis e Theodosiou (2021) diz respeito ao aumento extraordinário (279-835%) no consumo total de água no ciclo de vida, devido às suas elevadas necessidades de irrigação, ainda que apresentem uma redução significativa no consumo de energia.

Com foco na sustentabilidade e desempenho de paredes verdes e/ou telhados verdes, Shahmohammad et. al. (2022), Mothlag (2021), Zhang e He (2021), Nohorli e Rafieyan (2021), Shafique et. al. (2020a) e Berardi et.al. (2014), estudaram fatores que influenciaram a eficiência dos sistemas como, falta de política governamental, clima, nível tecnológico insatisfatório, características da vegetação e propriedade do solo, características do edifício, custo, legislação, irrigação sustentável, cultura e educação são determinantes para eficiência dos sistemas. Os benefícios ambientais dos telhados verdes não se atêm apenas aos novos edifícios, uma vez que os telhados verdes são propícios para projetos de reabilitação. Os melhores desempenhos dos telhados verdes são em edifícios sem um isolamento adequado, mais do que em edifícios novos altamente isolados (BERARDI et.al., 2014). As paredes verdes podem proporcionar maior cobertura de área verde em relação à área do edifício (MENSHAWY et. al., 2022).

A avaliação de custo benefício é vista por Cruz et. al. (2020), que indica uma alta variabilidade na maioria dos benefícios e custos, pois, paredes e telhados verdes possuem custos de instalação e manutenção elevados, contudo, por terem vida útil mais longa, ao considerar todos os seus benefícios de construção e urbanos na análise de custo do ciclo de vida, eles podem ter as maiores economias de custo a longo prazo. No estudo de Perini e Rosasco (2013), uma análise comparando de diferentes sistemas de paredes verdes indicou a sustentabilidade econômica de fachadas diretas, mas, incentivos econômicos poderiam reduzir o custo inicial, permitindo uma propagação de sistemas verdes para reduzir problemas ambientais em áreas urbanas densas. Destaca-se também a combinação de sistemas verdes, que podem tornar os custos de instalação e manutenção economicamente sustentáveis durante a vida útil (PERINI; ROSASCO, 2013), sendo ainda necessário desenvolver práticas de telhado verde mais econômicas para os múltiplos benefícios (ambientais, sociais, etc.) (SHAFIQUE et. al., 2018).

Os telhados verdes proporcionam benefícios de saúde e bem-estar, através do acesso visual ou físico, mudando a experiência vivida do lugar. Ao combinar com uma estética mais ecológica e aproximada com a forma construída, os telhados verdes podem ser benéficos ecologicamente e psicologicamente para a cidade (LODER, 2014).

4.2 A sustentabilidade de paredes verdes e telhados verdes

As paredes e telhados verdes são consideradas pelos autores soluções sustentáveis para mitigar os efeitos das alterações climáticas nas cidades, pois o consumo energético

crecente somados à poluição ambiental faz com que encontrar soluções para limitar e reduzir o impacto da atividade humana e promover a sustentabilidade é uma demanda urgente, sendo que as paredes e telhados verdes são possibilidades relevantes para auxiliar na resolução dessa questão de forma sustentável.

Os telhados verdes podem ser intervenções sustentáveis e resilientes. A seleção de substrato e materiais de drenagem é importante para influenciar a capacidade de retenção de água, a qualidade da água de escoamento, o crescimento das plantas e a pegada ambiental (SHAHMOHAMMAD et. al., 2022); fatores como alto custo inicial de construção, redução do uso de material polimérico e seu descarte, altos custos de manutenção, pesquisa local limitada, problemas de vazamento no telhado e falta de cooperação entre diferentes áreas devem ser considerados para melhor aproveitamento dos benefícios (SHAFIQUE et. al., 2018).

Os telhados verdes extensivos podem ser soluções ambiental e economicamente sustentáveis, desde que, o alto consumo de água e custos de instalação, sejam resolvidas através de tecnologia inovadora e incentivos financeiros do Estado (KOROXENIDIS; THEODOSIOU, 2021). Por outro lado, é imprescindível o emprego de uma versão otimizada da alternativa semi-intensiva, substituindo seus componentes mais caros por materiais eco eficientes e de baixo custo, como bioresíduos e materiais reciclados (MOTHLAG, 2021). Nesta perspectiva, Menshawy et. al. (2022) acredita que os materiais ecologicamente corretos devem se tornar elemento principal de design para aumentar a porcentagem de vegetação e zero carbono. A análise do ciclo de vida pode identificar oportunidades de melhoria para a eficiência e sustentabilidade (MILAD et.al., 2022). As tendências de sustentabilidade para edifícios exigem novos sistemas de construção para promover a eficiência energética e edifícios ecológicos (COMA et. al., 2016) para atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (CRUZ et. al., 2020).

As estratégias e a implementação dos telhados verdes devem equilibrar diferentes fatores (*drivers*, motivações e barreiras - falta de política governamental, nível tecnológico insatisfatório, avaliação insatisfatória de benefícios) (ZHANG; HE, 2021), identificando-os e priorizando-os a curto, médio e longo prazo (NOHORLI; RAFIEYAN, 2021). Esses sistemas melhoram a qualidade estética do lugar, trazendo benefícios à saúde (LODER, 2014).

Ao considerar projeto de paredes verdes, diferentes componentes, como estrutura, meio de cultivo, seleção de plantas, drenagem e irrigação, construtibilidade e manutenção, são usados para avaliar a adequação dos sistemas disponíveis no mercado (ILIGAN; IRGA, 2021). Ainda segundo o autor, a localização do projeto é importante para determinar o tipo de sistema mais adequado. Shafique et. al. (2020a) e Cascone et. al. (2019) consideram que vegetação e solo são estratégias importantes para o desempenho de telhados verdes, logo, é importante testar misturas de sementes para potencializar a escolha mais ideal e melhorar o desempenho do telhado verde (SHAFIQUE et. al., 2020a). Igualmente, uma avaliação comparativa de cada tipo de telhado, incluindo todas as camadas em detalhe durante todas as fases (SHAFIQUE et. al., 2020b).

A combinação de sistemas combinados diferentes (paredes e telhados verdes) resulta na sustentabilidade econômica, diminuindo os custos de instalação e manutenção, permitindo maiores incentivos, sobretudo para novas construções (PERINI; ROSASCO, 2013). Por fim, para possibilitar uma ampla utilização de sistemas ecológico que melhore as condições ambientais nas cidades, é obrigatório minimizar também o impacto econômico (PERINI; ROSASCO, 2013).

5 CONCLUSÃO

Após a condução desta revisão sistemática da literatura a respeito da eficiência e sustentabilidade de telhados e paredes verdes, evidencia-se o interesse pelo tema, demonstrado pelo número crescente de publicações na área e pela repercussão das discussões sobre sustentabilidade e eficiência de edificações verdes tanto no mercado quanto na pesquisa científica.

A primeira questão da pesquisa, a saber, quais as perspectivas da eficiência de telhados e paredes verdes abordadas nos trabalhos, é respondida pela verificação de que, na literatura da área, a eficiência está associada ao indicador desempenho, que resulta em muitos benefícios. Contudo, ainda que os telhados e paredes verdes apresentem bons resultados, a eficiência ambiental e econômica, de todo, ainda não foi alcançada. Os estudos indicaram a necessidade de utilização de tecnologias mais limpas (materiais ecológicos e processo de produção eficiente, por exemplo), vegetação adequada ao clima com menor reposição e minimização dos custos em todo o processo.

Já em relação à segunda questão da pesquisa - como o conceito da sustentabilidade de telhados e paredes verdes é abordado nos trabalhos - verifica-se que, paredes e telhados verdes são considerados soluções importantes para mitigar os efeitos das alterações climáticas, embora os altos custos e utilização de materiais não sustentáveis afetem a sustentabilidade. Aponta-se aqui que as paredes e telhados verdes podem ser considerados sustentáveis se pensados de forma sustentável no ciclo de vida completo, desde a escolha de materiais sustentáveis, até a manutenção adequada da estrutura. A eficiência pode ser um fator importante da sustentabilidade, uma vez que, maximizando-a, esta pode reduzir o consumo de recursos e minimizar os impactos ambientais.

Por fim, como estudos futuros, sugere-se uma pesquisa integrada de telhados e paredes verdes com a utilização de tecnologias limpas para todo o ciclo de vida dos sistemas, bem como verificar atentamente todo o ciclo de vida da sustentabilidade empregada, garantindo assim a conjugação de eficiência econômica com sustentabilidade ambiental.

FINANCIAMENTO

Este estudo foi financiado pelo projecto de I&D OBTain - Objective Building Sustainability, código de operação NORTE-01-0145-FEDER-000084, co-financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional através do programa NORTE 2020.

6 REFERÊNCIAS

- ALIM, M. A., RAHMAN, A., TAO, Z., GARNER, B., GRIFFITH, R., & LIEBMAN, M. (2022). Green roof as an effective tool for sustainable urban development: An Australian perspective in relation to stormwater and building energy management. **Journal of Cleaner Production**, 132561.
- BANTON, C. Efficiency: What it means in Economics, the formula to measure it. (2022). Disponível em: <https://www.investopedia.com/terms/e/efficiency.asp#toc-example-of-efficiency>. Acesso em 13 março 2023.
- BERARDI, U., GHAFFARIANHOSEINI, A., & GHAFFARIANHOSEINI, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. **Applied energy**, 115, 411-428.
- BESIR, A. B., & CUCE, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 82, 915-939.
- CASCONE, S., GAGLIANO, A., POLI, T., & SCIUTO, G. (2019, June). Thermal performance assessment of extensive green roofs investigating realistic vegetation-substrate configurations. In **Building Simulation** (Vol. 12, pp. 379-393). Tsinghua University Press.
- COMA, J., PÉREZ, G., CASTELL, A., SOLÉ, C., & CABEZA, L. F. (2014). Green roofs as passive system for energy savings in buildings during the cooling period: use of rubber crumbs as drainage layer. **Energy Efficiency**, 7, 841-849.
- COMA, J., PÉREZ, G., SOLÉ, C., CASTELL, A., & CABEZA, L. F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. **Renewable energy**, 85, 1106-1115.
- DAEMEI, A. B., SHAFIEE, E., CHITGAR, A. A., & ASADI, S. (2021). Investigating the thermal performance of green wall: Experimental analysis, deep learning model, and simulation studies in a humid climate. **Building and Environment**, 205, 108201.
- DE JESUS, M. P., LOURENÇO, J. M., ARCE, R. M., & MACIAS, M. (2017). Green façades and in situ measurements of outdoor building thermal behaviour. **Building and Environment**, 119, 11-19.
- EL MENSRAWY, A. S., MOHAMED, A. F., & FATHY, N. M. (2022). A comparative study on green wall construction systems, case study: South valley campus of AASTMT. **Case Studies in Construction Materials**, 16, e00808.
- FENG, H., & HEWAGE, K. (2014a). Energy saving performance of green vegetation on LEED certified buildings. **Energy and buildings**, 75, 281-289.
- FENG, H., & HEWAGE, K. (2014b). Lifecycle assessment of living walls: air purification and energy performance. **Journal of Cleaner Production**, 69, 91-99.
- FINK, Arlene. **Conducting research literature reviews: From the internet to paper**. Sage publications, 2019.
- FLECK, R., GILL, R. L., SAADEH, S., PETTIT, T., WOOSTER, E., TORPY, F., & IRGA, P. (2022). Urban green roofs to manage rooftop microclimates: A case study from Sydney, Australia. **Building and Environment**, 209, 108673.
- ILIGAN, R., & IRGA, P. (2021). Are green wall technologies suitable for major transport infrastructure construction projects?. **Urban Forestry & Urban Greening**, 65, 127313.
- KARIMI, K., FARROKHZAD, M., ROSHAN, G., & AGHDASI, M. (2022). Evaluation of effects of a green wall as a sustainable approach on reducing energy use in temperate and humid areas. **Energy and Buildings**, 262, 112014.
- KITCHENHAM, Barbara A. **Systematic review in software engineering: where we are and where we should be going**. In: Proceedings of the 2nd international workshop on Evidential assessment of software technologies. 2012. p. 1-2.
- KOROXENIDIS, E., & THEODOSIOU, T. (2021). Comparative environmental and economic evaluation of green roofs under Mediterranean climate conditions—Extensive green roofs a potentially preferable solution. **Journal of Cleaner Production**, 311, 127563.
- LAKHO, F. H., VERGOTE, J., KHAN, H. I. U. H., DEPUYDT, V., DEPREUW, T., VAN HULLE, S. W., & ROUSSEAU, D. P. (2021). Total value wall: Full scale demonstration of a green wall for grey water treatment and recycling. **Journal of Environmental Management**, 298, 113489.
- LI, H., ZHAO, Y., SÜTZL, B., KUBILAY, A., & CARMELIET, J. (2022). Impact of green walls on ventilation and heat removal from street canyons: Coupling of thermal and aerodynamic resistance. **Building and Environment**, 214, 108945.
- LODER, A. (2014). 'There's a meadow outside my workplace': A phenomenological exploration of aesthetics and green roofs in Chicago and Toronto. **Landscape and urban planning**, 126, 94-106.

- MAIER, Dorin. Perspective of using green walls to achieve better energy efficiency levels. A bibliometric review of the literature. **Energy and Buildings**, p. 112070, 2022.
- MANSO, M., CASTRO-GOMES, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 41, 07203.
- MANSO, M., TEOTÔNIO, I., SILVA, C. M., & CRUZ, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 135, 110111.
- MELLO J. C. B. S., Meza L. A., Gomes E. G., Neto L. B. (2005). Curso de análise de Envoltória de Dados. In: XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – SBPO, Gramado, Anais, 2005.
- MOTLAGH, S. Hamed Banirazi; PONS, Oriol; HOSSEINI, SM Amin. Sustainability model to assess the suitability of green roof alternatives for urban air pollution reduction applied in Tehran. **Building and Environment**, v. 194, p. 107683, 2021.
- NOHORLI, Aysa; RAFIEYAN, Omid. Prioritize and analyze barriers for rooftop greening in Tabriz, Iran. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, p. 12579-12597, 2021.
- OQUENDO-DI COSOLA, V., OLIVIERI, F., & RUIZ-GARCÍA, L. (2022). A systematic review of the impact of green walls on urban comfort: temperature reduction and noise attenuation. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 162, 112463.
- ONU, Organização das Nações Unidas. **Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development**. UN Documents. n.d. Web. Retrieved 27 June 2013. <<http://www.un-documents.net/ocf-02.html>>.
- PEREIRA, A. S., SHITSUKA, D. M., PARREIRA, F. J., & SHITSUKA, R. **Metodologia da pesquisa científica**. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf, 2018.
- PÉREZ, G., RÍNCON, L., VILLA, A., GONZÁLEZ, J. M., CABEZA, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. **Applied Energy**, 88, 06032.
- PERINI, K., & ROSASCO, P. (2013). Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. **Building and Environment**, 70, 110-121.
- PERINI, K., & ROSASCO, P. (2016). Is greening the building envelope economically sustainable? An analysis to evaluate the advantages of economy of scope of vertical greening systems and green roofs. **Urban Forestry & Urban Greening**, 20, 328-337.
- PRISMA, **Transparent reporting of systematic reviews and meta-analyses**. Disponível em <http://www.prisma-statement.org/?AspxAutoDetectCookieSupport=1> Acesso em 22 02 2023
- REYHANI, M., SANTOLINI, E., TORREGGIANI, D., & TASSINARI, P. (2022). Assessing the environmental performance of plastic-based and felt-based green wall systems in a life-cycle perspective. **Science of The Total Environment**, 822, 153648.
- SHAFIQUE, M., AZAM, A., RAFIQ, M., ATEEQ, M., & Luo, X. (2020b). An overview of life cycle assessment of green roofs. **Journal of Cleaner Production**, 250, 119471.
- SHAFIQUE, M., KIM, R., & RAFIQ, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges—A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 90, 757-773.
- SHAFIQUE, M., XUE, X., & LUO, X. (2020a). An overview of carbon sequestration of green roofs in urban areas. **Urban Forestry & Urban Greening**, 47, 126515.
- SHAHMOHAMMAD, M., HOSSEINZADEH, M., DVORAK, B., BORDBAR, F., Shahmohammadmirab, H., & Aghamohammadi, N. (2022). Sustainable green roofs: a comprehensive review of influential factors. **Environmental Science and Pollution Research**, 29(52), 78228-78254.
- THOMAIDI, V., PETOUSI, I., Kotsia, D., Kalogerakis, N., & Fountoulakis, M. S. (2022). Use of green roofs for greywater treatment: Role of substrate, depth, plants, and recirculation. **Science of The Total Environment**, 807, 151004.
- VIJAYARAGHAVAN, K. (2016). Green roofs: A critical review on the role of components, benefits limitations and trends. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 57, 12119.
- YUAN, J., PATRA, I., MAJDI, A., DWIJENDRA, N. K. A., OPULENCIA, M. J. C., & CHETTHAMRONGCHAI, P. (2022). Fundamental green roof performance of residential building in desert climate: In terms of sustainability and decrease in energy consumption. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, 53, 102574.
- ZHANG, Gaochuan; HE, Bao-Jie. Towards green roof implementation: Drivers, motivations, barriers and recommendations. **Urban forestry & urban greening**, v. 58, p. 126992, 2021.