ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Análise bibliométrica da integração de tubos de calor e termossifões na envoltória de edificações

Bibliometric Analysis of the Integration of Heat Pipes and Thermosyphons in Building Envelopes

Rafael Roque Rossi
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | rafael.roquerossi@gmail.com
Fernando da Silva Almeida
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | fernando.almeida@labtucal.ufsc.br
Mariane Pinto Brandalise
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | marianebrandalise@yahoo.com.br
Marcia Barbosa Henriques Mantelli
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | marcia@labtucal.ufsc.br
Martin Ordenes Mizgier
Universidade Federal de Santa Catarina | Florianópolis | Brasil | martin.ordenes@ufsc.br

Resumo

Devido à urgente necessidade de redução do consumo de energia ocasionado pelo atual panorama climático, nos últimos anos, mais atenção é dada às novas tecnologias de transferência de calor na envoltória de edificações com intuito de controlar a temperatura interna com menor custo energético. Uma dessas tecnologias são os tubos de calor (*heat pipes* - HP) e termossifões (*termosyphons* – TS) que podem ser operados passivamente e não exigem nenhum custo energético para sua operação. Uma análise bibliométrica foi realizada sobre a integração de HPs e TSs na envoltória de edificações. As buscas foram conduzidas entre setembro e outubro de 2023 a partir de 2 *strings* em 3 Bases indexadoras de dados (Scopus, Web of Science e EBSCO). Além disso, incluiu-se também uma busca no Google Scholar através do método *Snowball*, sendo selecionados 74 artigos. Observou-se predominância de autores chineses quando se tratava do uso de HPs e TSs em paredes. Estes trabalhos serviram de base para o desenvolvimento de outros mais avançados, no Reino Unido e Estados Unidos. Em linhas gerais, observa-se um aumento no interesse pelo tema na última década, evidenciando a relevância da tecnologia.

Palavras-chave: Análise Bibliométrica. Tubos de calor. Termossifão. Edificações.

Como citar:
ROSSI, R. R. et. al. Análise bibliométrica da integração de tubos de calor e termossifões na envoltória de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

Due to the urgent need to reduce energy consumption caused by the current climate scenario, new heat transfer technologies in building envelopes to control indoor temperatures with lower energy costs have received more attention in recent years. Among these technologies are heat pipes (HP) and thermosyphons (TS), which operate passively, without the requirement of any additional energy costs. A bibliometric analysis was conducted regarding integrating HPs and TSs into building envelopes. Searches were conducted between September and October of 2023, using 2 search strings in 3 indexing databases (Scopus, Web of Science, and EBSCO). A search on Google Scholar was also performed using the Snowball method, where 74 articles were selected. A predominance of Chinese authors was observed regarding the research on walls equipped with HPs and TSs. These works were the basis of more advanced research conducted in the United Kingdom and the United States. In general, the increasing interest in the topic in the last decade can be noted, demonstrating the technology's relevance.

Keywords: Bibliometric Analysis: Heat Pipes. Thermosyphon. Buildings.

INTRODUÇÃO

As temperaturas elevadas resultantes do aquecimento global representam um desafio urgente para a sociedade [1]. A Organização Meteorológica Mundial (do inglês, *World Meteorological Organization* - WMO) registrou que, em 2023, a temperatura média da superfície global ficou 1,4°C acima da média de 1850/1900, tornando este ano o mais quente em 174 anos, superando os recordes anteriores de 2016 (1,29°C acima da média) e 2020 (1,27°C acima da média) [2]. Além disso, a combinação do crescimento populacional e do desenvolvimento industrial desencadeou um aumento substancial no consumo mundial de energia nos últimos anos, incluindo sistemas de climatização artificial em ambientes internos [3].

Atualmente, as edificações são responsáveis por 30% do consumo de energia global e 26% das emissões de gases efeito estufa estão relacionadas com atividades operacionais de edifícios [4], [5]. Por esse motivo, a redução do consumo de energia se tornou uma estratégia crucial em escala mundial, principalmente em países desenvolvidos e em desenvolvimento, onde o assunto tem sido amplamente discutido.

Para frear este consumo e cumprir metas energéticas e ambientais para 2030 e 2050, a União Europeia estabeleceu fortes diretrizes para o desempenho energético de edifícios. Entre as ações recomendadas estão o aumento da taxa de renovação de ar, principalmente em edificações com baixo desempenho, digitalização dos sistemas energéticos associados aos edifícios e a implementação de infraestruturas mais sustentáveis [6]. Paralelamente, em julho de 2023, foi lançado através do Anexo 80 da Agência Internacional de Energia (do inglês, *international Energy Agency* - IEA) um conjunto de recomendações para o resfriamento resiliente de edifícios. O documento proposto visa apresentar soluções passivas de baixo consumo energético no setor da construção civil [7].

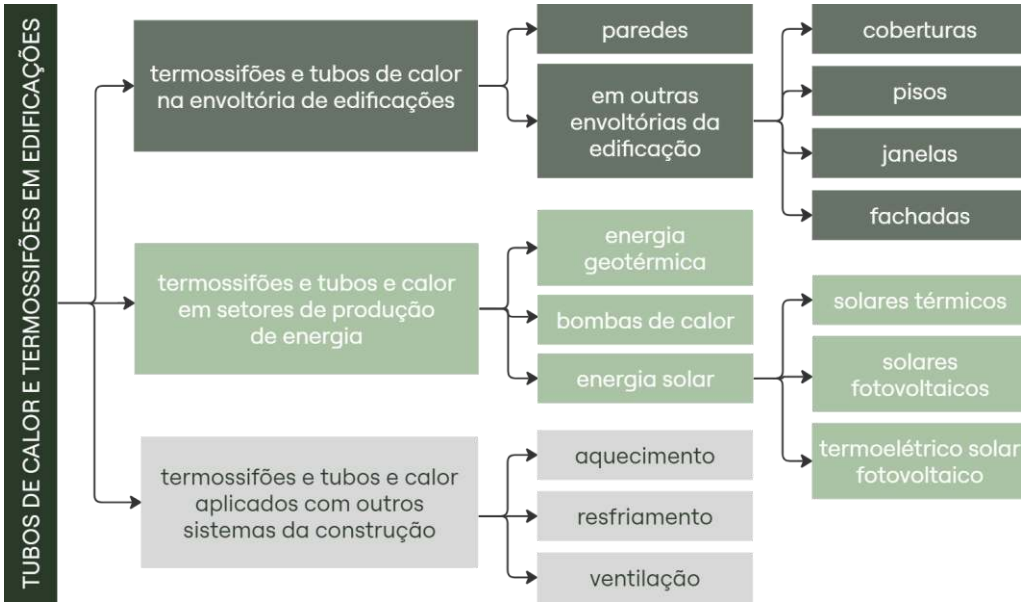
Porém a proposição e estudos de estratégias passivas ainda são incipientes. Desse modo, a busca de novas tecnologias que colaborem com a redução do consumo energético, na construção civil, é mandatória dos dias atuais. Nesse sentindo, os Termossifões (do inglês*, thermosyphons* – TPs) e Tubos de Calor (do inglês, *Heat pipes* – HP) integrados às edificações se mostram como soluções passivas de alta eficiência no que se refere ao transporte de calor.

A tecnologia de HPs e TSs são empregados em soluções para problemas térmicos em variadas áreas da engenharia, que demandam alto desempenho na transmissão de energia térmica e/ou uniformidade na distribuição de temperaturas [8], [9]. Exemplos

na engenharia são o resfriamento de eletrônicos, uniformidade da distribuição térmica em fornos de cocção, recuperação de calor em processos industriais (com ênfase nos setores petroquímicos e metalúrgicos [10]).

As aplicações de HPs e TSs na construção civil podem ser agrupadas em três categorias, como apresentado na Figura 1: (1) HPs e TSs incorporados na envolvente do edifício; (2) HPs e TSs em sistemas de produção de energia, englobando energia solar, geotérmica e eólica; e (3) HPs e TSs empregados em outras tecnologias da construção civil, incluindo sistemas de aquecimento, arrefecimento e ventilação [11].

Figura 1 - Classificação de termossifões e Tubos de calor em edificações



Fonte: Adaptado de Yao et al. (2023) [11].

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho está em apresentar uma análise bibliométrica de artigos revisados por pares sobre TSs e HPs aplicados na envoltória da edificação, incluindo paredes, coberturas, pisos, janelas e fachadas.

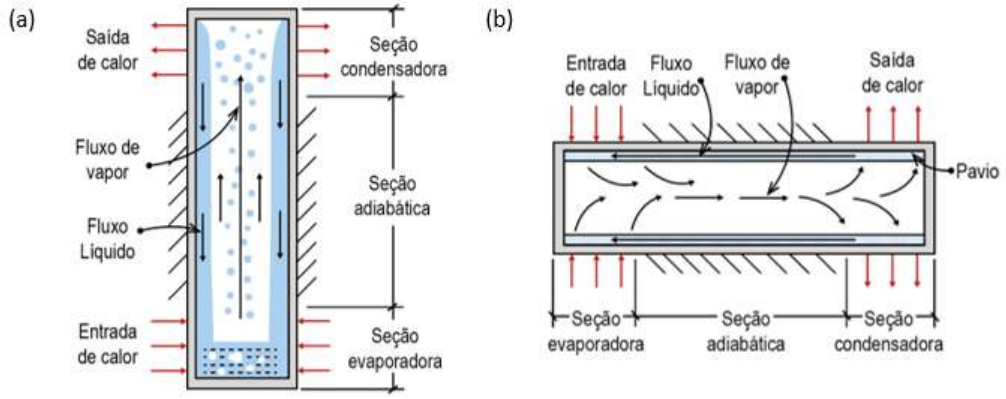
A TECNOLOGIA DE TERMOSSIFÕES E TUBOS DE CALOR

HPs e TSs geralmente apresentam três regiões principais: condensador, evaporador e seção adiabática. De uma forma simplificada, são constituídos de um tubo evacuado, parcialmente preenchido por um fluido de trabalho, o qual se encontra no estado saturado. Calor fornecido ao evaporador provoca a geração de vapor nesta região, provocando uma diferença de pressão entre o evaporador e o condensador, que provoca o escoamento longitudinal do vapor, atravessando a seção adiabática e atingindo o condensador. No condensador, calor é removido e o vapor é condensado. Em TSs, o fluido condensado, que forma uma película fina sobre as superfícies internas do tubo, retorna ao evaporador pela gravidade, de forma que o evaporador deve estar sempre em uma posição inferior ao condensador (Figura 2a). Já nos HPs, o fluido condensado retorna ao evaporador por meio do bombeamento capilar proporcionado por forças de estruturas de capilares, normalmente localizadas nas suas paredes internas [9], conforme apresentado na Figura 2b. Deve-se notar que, enquanto houver

uma diferença de temperatura entre as seções mesmo que pequena, o processo de evaporação e condensação ocorre de forma cíclica [12], [13], [14].

Externamente, tanto os HPs quanto os TSs podem ser projetados para receber e transferir calor por condução, convecção (gases ou líquidos) e radiação térmica [15]. HPs e TSs são dispositivos passivos, ou seja, seu uso não requer o consumo extra de energia, uma vez que operam sem o uso de bombas ou compressores, precisando apenas de uma diferença de temperaturas entre o condensador e o evaporador [10].

Figura 2: Princípios de funcionamento da tecnologia de Termossifões (a) e Tubos de calor (b)

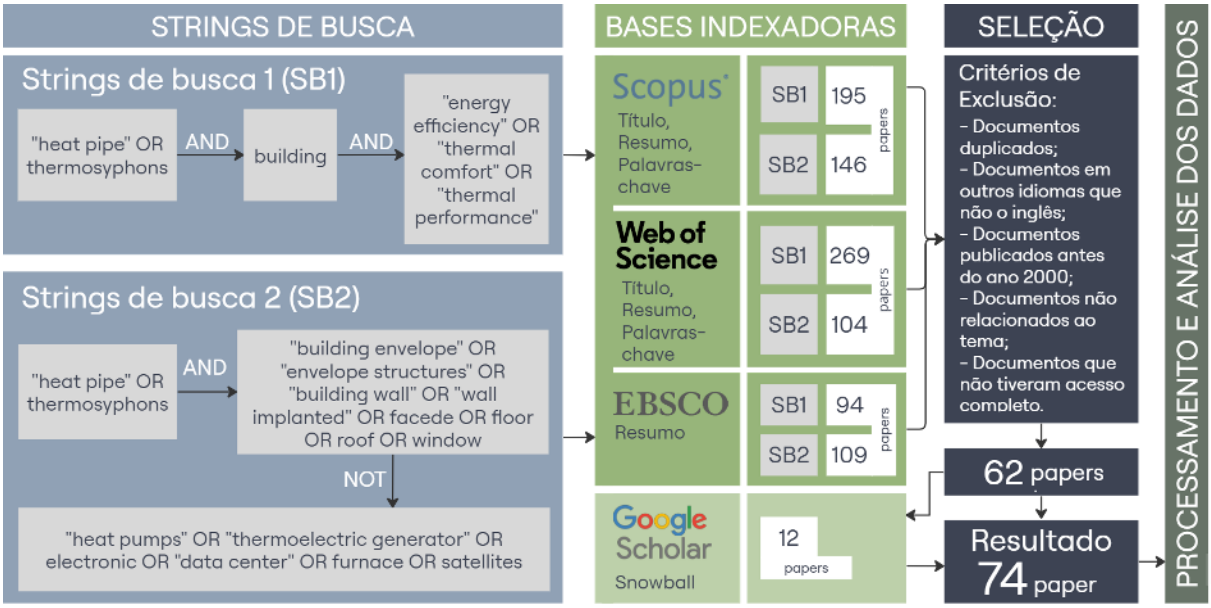


Fonte: Adaptado de Mantelli (2021) [9].

MÉTODO

Conforme ilustrado na Figura 3, a amostra para análise bibliométrica é obtida em três etapas e processada em uma etapa. A primeira consiste na definição das *strings* de busca (SB). A segunda consiste na busca dos documentos nas bases indexadoras de dados (Scopus, Web of Science, EBSCO e Google Scholar). A terceira é caracterizada pela seleção das amostras, onde se apresenta os critérios de exclusão dos artigos descartados. Já a última etapa é caracterizada pelo tratamento e avaliação dos dados.

Figura 3: Fluxograma de seleção da amostra



Fonte: Os autores.

STRINGS DE BUSCA

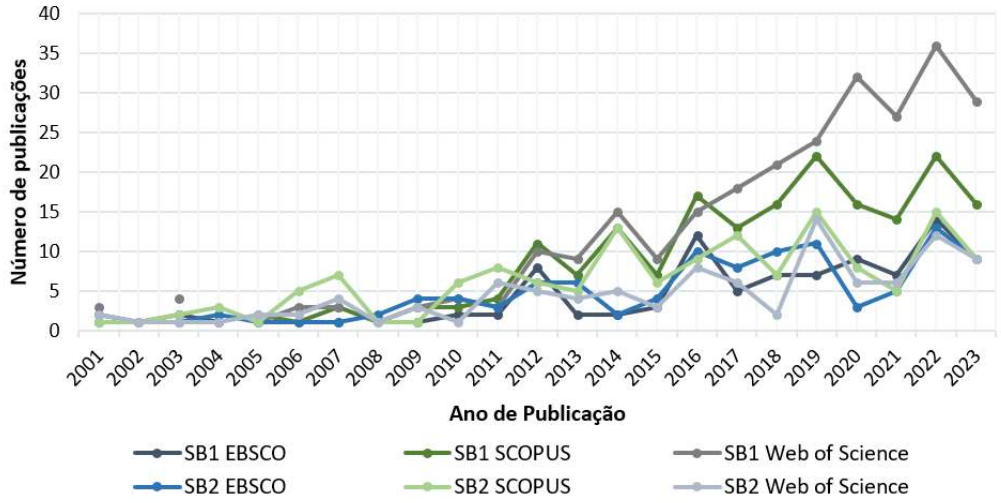
No presente caso, a seleção foi composta por duas *strings* de busca SB1 e SB2. A SB1 (("*heat pipe*" OR *thermosyphons*) AND *building* AND ("*energy efficiency*" OR "*thermal comfort*" OR "*thermal performance*")) foi realizada considerando uma busca mais ampla sobre a tecnologia de tubos de calor e termossifões no ambiente construído relacionado à eficiência energética, conforto e desempenho térmico. Enquanto a SB2 (("*heat pipe*" OR *thermosyphons*) AND ("*building envelope*" OR "*envelope structures*" OR "*building wall*" OR "*wall implanted*" OR *facede* OR *floor* OR *roof* OR *window*) NOT ("*heat pumps*" OR "*thermoelectric generator*" OR *electronic* OR "*data center*" OR *furnace* OR *satellites*)), levou em consideração elementos da envoltente de edificações e descartou a aplicação de HPs e TSs em setores de produção de energia e outros sistemas da construção civil.

BASES INDEXADORAS

Na Scopus e Web of Science as *strings* foram consideradas nos títulos, resumos e palavras chaves, na EBSCO apenas no resumo (uma vez que a indexadora não fornece a busca simultaneamente em vários campos) e, no Google Scholar foram feitas buscas a partir da técnica de amostragem *Snowball*, que se utiliza de redes de referências para a buscas de artigos. Para o gerenciamento, análise e refinamento dos dados obtidos, foi utilizado o software de gerenciamento de referências bibliográficas Zotero 6.0.

Como evidenciado na Figura 4, um total de 917 documentos foram identificados nas buscas conduzidas entre 2001 e 2023. 46,23% dos trabalhos foram publicados nos últimos cinco anos do período estudado, o que mostra a crescente relevância do tema nesse intervalo de tempo.

Figura 4: Número de publicações por ano nas 6 buscas realizadas



Fonte: Os autores.

SELEÇÃO DA AMOSTRA

Dentre os 917 artigos encontrados, 43 artigos eram de revisão, 34 em idioma fora da língua inglesa, 350 documentos duplicados e em 31 desses não havia acesso completo aos artigos. Dos 459 documentos restantes, foram realizadas a leitura dos resumos, e em casos específicos a leitura integral, descartando 397 artigos, por tratarem de temas sem aderência ao objetivo desta pesquisa, tais como: coletores solares, painéis

fotovoltaicos, trocadores de calor terrestres, bombas de calor, torres de vento, sistemas de recuperação de calor predial, sistemas radiantes, data centers e outras aplicações em tecnologias prediais que não apresentavam a incorporação de tubos de calor e termossifões na envolvente do edifício. Nessa primeira etapa foram então selecionados 62 documentos. Posteriormente, foram conduzidas buscas no Google Scholar a partir do método *Snowball*, utilizando-se de 3 artigos obtidos [10], [16], [17] nas buscas anteriores, incluindo mais 12 artigos. No total, 74 artigos integraram a análise bibliográfica.

PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

A amostra selecionada foi posteriormente exportada do *software* Zotero no formato .csv e tratada com o auxílio do *software* Excel. Foram produzidos gráficos quanto aos principais periódicos de publicação, países de origem dos documentos, tipo de documento, ano de publicação e categorização dos documentos.

Além disso, um mapa de co-ocorrência de palavras-chave do autor (*index keywords*) foi gerado com o auxílio do software VOSviewer. Esta é uma ferramenta eficaz para visualizar a frequência e padrões de determinados termos científicos. Para isso, inicialmente, foi criado um documento no formato .csv que apresentava as palavras-chave extraídas dos 74 artigos selecionados. Em seguida, este documento foi importado para o VOSviewer para permitir a interação entre as palavras-chave e a geração do mapa.

A partir do VOSviewer foi exportado um arquivo em .txt, que contém as informações qualitativas do gráfico gerado, informando numericamente a quantidade de *links* e ocorrências de cada *cluster* (*index keywords*).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados apresentados nesta seção fornecem dados importantes para comunidade acadêmica sobre o cenário atual de incorporação de tubos de calor e termossifões na envolvente de edificações. Dentre os artigos selecionados, 86% são publicações realizadas em periódicos e 14% em conferências, como ilustrado na Figura 5. É importante ressaltar que todos artigos de conferências incluídos neste trabalho são em língua inglesa e possuíam DOI (*Digital Object Identifier*).

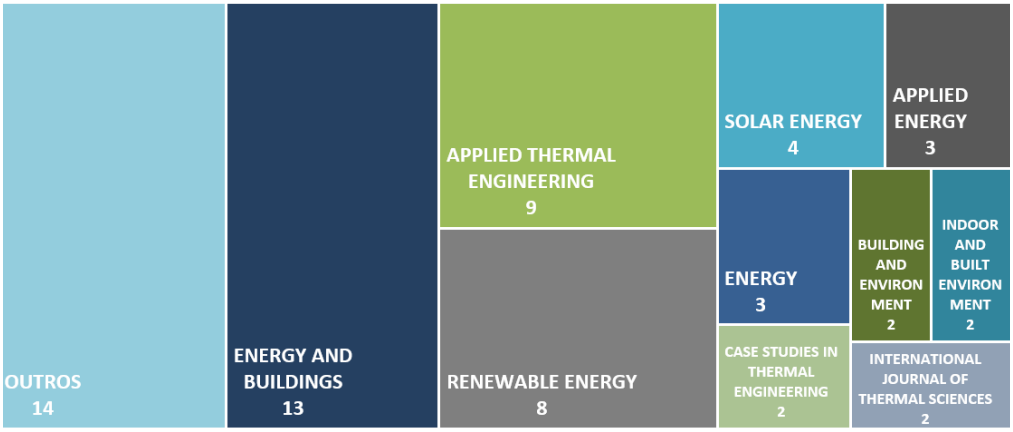
Dentre os artigos de periódicos, a *Energy and Building* foi a revista com o maior número de publicações sobre o tema, contabilizando 13 publicações, seguida da *Applied Thermal Engineering* com 9 e *Renewable Energy* com 8 artigos publicados. As demais publicações foram distribuídas em outros 22 periódicos. Grande parte das publicações foi realizada em revistas com áreas que abordam em seu escopo temas como eficiência energética, energia, transferência de calor, ambiente construído, desempenho térmico, com exceção do trabalho elaborado por Barlacu et al. [18] na revista *Materials*. Embora não explicitado em Figuras, a maioria dos artigos revisados foi publicada pela Editora Elsevier.

Figura 5 - Tipo de publicação



Fonte: Os autores.

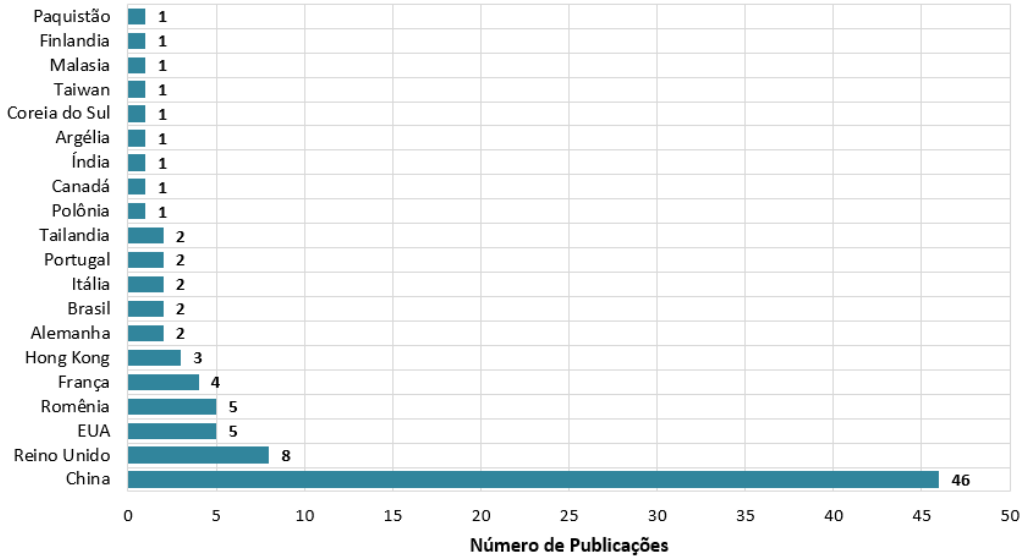
Figura 6 - Principais periódicos de publicação



Fonte: Os autores.

Na Figura 7, o número de publicações por país de origem é apresentado. A análise destaca que a China lidera com 46 artigos, seguida pelo Reino Unido com 8, e os EUA e Romênia empatados com 5 cada. França, com 4, e Hong Kong, com 3, também se destacam. Tailândia, Portugal, Itália, Brasil e Alemanha contribuíram com 2 artigos cada. Por outro lado, Paquistão, Finlândia, Malásia, Taiwan, Coreia do Sul, Argélia, Índia, Canadá e Polônia registraram 1 artigo cada. Vale ressaltar que em alguns casos, como nos trabalhos de Fantozzi et al. [19] e Bellani et al. [20], houve colaborações internacionais, resultando em dupla contagem para Itália e Brasil.

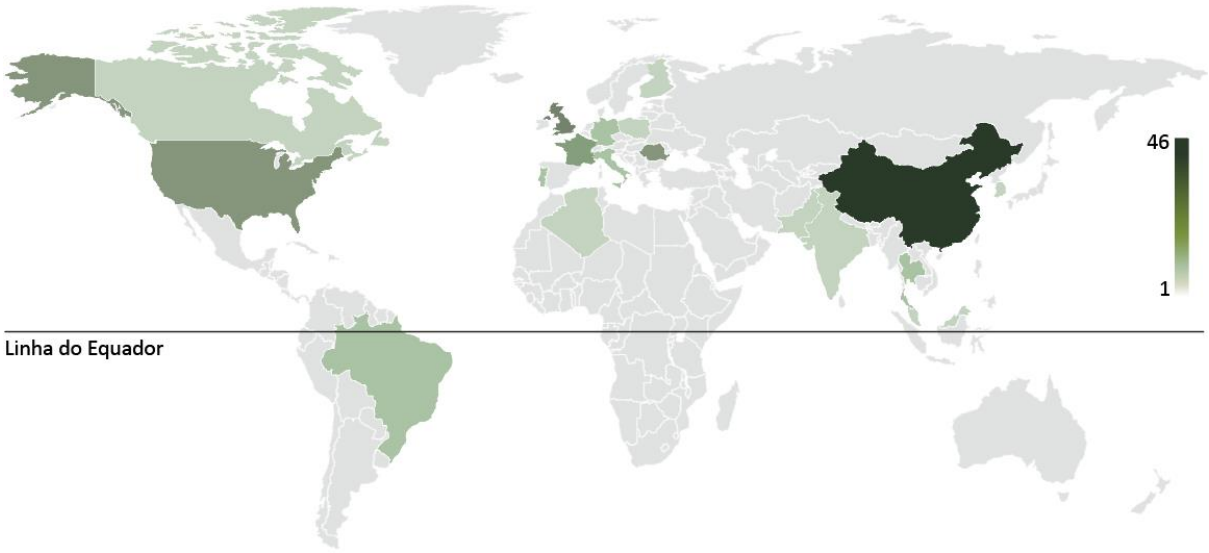
Figura 7: Países de origem das publicações



Fonte: Os autores.

Ainda na análise global, na Figura 8, é apresentada a distribuição das publicações ao redor do mundo. Observa-se que 97,3% dos trabalhos foram produzidos por países no Hemisfério Norte, o que evidencia a baixa produção de trabalhos sobre esse tema em países do Hemisfério Sul. Dentre estes, 56 são de países do continente asiático, onde se concentra o maior número de pesquisas sobre o tema. Continentes como África, Oceania, América do Sul e Central se destacam pela escassez de investigação relacionada a tubos de calor e termossifões na envolvente de edifícios.

Figura 8: Distribuição das publicações no mundo

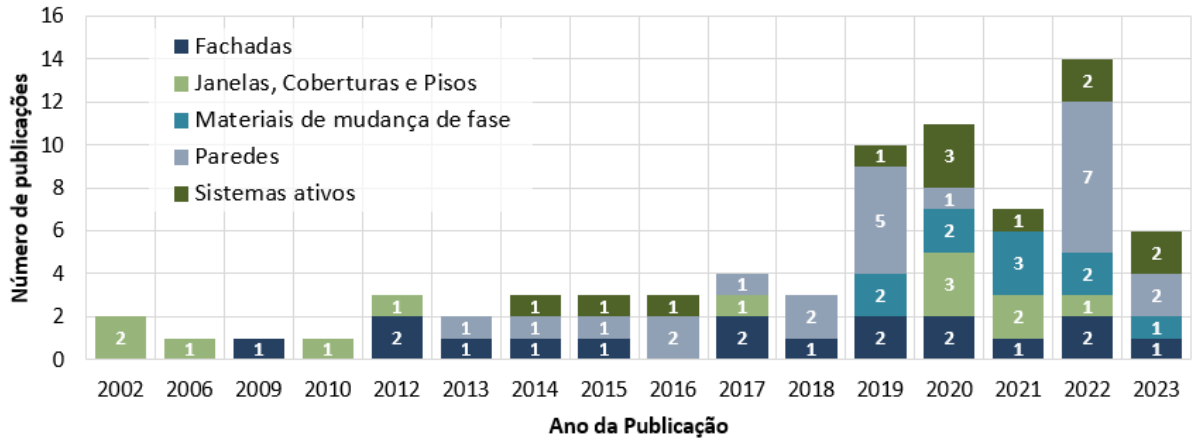


Fonte: Os autores.

Os artigos selecionados foram categorizados por área de aplicação na envolvente das edificações e integração com outros sistemas, conforme apresentado na Figura 9 através de uma distribuição anual. Em uma análise geral, o tema ganhou destaque a partir de 2012, com pelo menos uma publicação até 2023, evidenciando um crescimento de interesse nesta área de pesquisa na última década. O ano de 2022 apresentou o maior número de publicações, totalizando 14, seguido do ano de 2020 com 11 artigos, enquanto na primeira década de análise apenas 5 foram realizados.

Apesar de ter sido a categoria com o maior número de publicações na década de 2010, a integração de HPs e TSs em janelas, coberturas e pisos perdeu espaço nos últimos anos. Em contrapartida, trabalhos que estudaram a aplicação da tecnologia em paredes ganharam bastante relevância de 2019 até o presente, com destaque para 2022, com 7 publicações. Nessa perspectiva, também tem crescido nos últimos anos o número de trabalhos que investigam a integração de HPs e TSs com sistemas ativos, considerando fontes com consumo direto de energia para seu funcionamento. Outra área de estudo com destaque é a junção de materiais de mudança de fase na envolvente de edificações para potencializar a performance dos HPs e TSs.

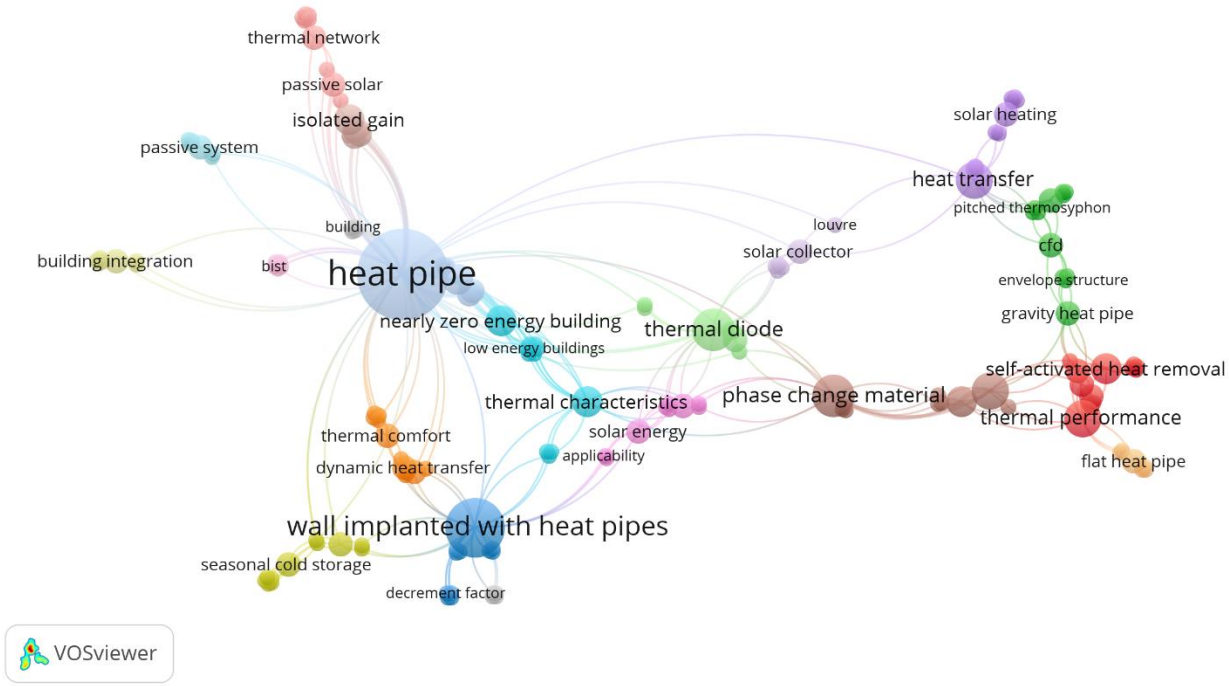
Figura 9: Distribuição e categorização por ano dos artigos selecionados



Fonte: Os autores.

Com o objetivo de avaliar as relações entre as principais palavras-chave estudadas, na Figura 10 é apresentado um mapa de co-ocorrência de palavras-chave. A frequência de utilização de uma palavra-chave é refletida na dimensão de seu nó e rótulo. Ademais, cores diferentes são empregadas para identificar os *clusters* (agrupamentos) entre as palavras-chave utilizadas pelos autores [21].

Figura 10: Mapa de co-ocorrências de palavras-chave do autor



Fonte: os autores.

Conforme observado na Figura 10, seis *clusters* principais são identificados, nesta ordem: *heat pipe* (azul claro); *wall implanted with heat pipe* (azul); *thermal diode* (verde claro); *phase change material* (marrom); *heat transfer* (roxo); e *termal performance* (vermelho). Estas foram as palavras chaves que tiveram a maior ocorrência nos artigos selecionados. Dentre os *insights* extraídos no mapa de co-ocorrências, a palavra-chave *heat pipe* destaca-se pela maior relevância e número de conexões com os demais nós de palavras-chave, como esperado, dado ser o nome da tecnologia. Um ponto importante a destacar é que autores chineses, em sua maioria, utilizam o *heat pipe* para se referirem a termossifão, o que justifica o menor destaque da palavra-chave *thermosyphon* no mapa.

Outro termo significativo para representar a tecnologia de HPs e TSs é o *thermal diode*, que também apresentou destaque no mapa. Com o aumento nos últimos anos da implementação de HPs e TSs em paredes, o termo *wall implanted with heat pipe* se estabeleceu como o segundo mais importante dentre a amostra avaliada. Outros termos, como *building integration, building envelope* e *envelope structure*, reforçam o uso da tecnologia na construção civil.

Para avaliar as publicações mais influentes sobre o tema de estudo, os 10 papers mais citados estão listados no Quadro 1. Entre esses 10 artigos, seis foram publicados nos últimos 10 anos, evidenciando o exponencial aumento de interesse sobre o tema na

última década. O artigo mais citado tem origem em Portugal, sendo produzido por Varga et al. [21]. Como esperado, a China se destaca como o país com a maior produção de *papers* mais citados, com seis artigos. Por fim, a revista *Energy and Buildings* sobressai-se com cinco dos 10 artigos mais citados.

Quadro 1: Os dez artigos mais citados

Rank	Ano	País	*Jornal*	N° citação	JIF	Autores	Ref.
1	2002	Portugal	*Energy and Buildings*	87	6.7	Varga et al.	[21]
2	2012	EUA	*Solar Energy*	78	6.7	Albanese et al.	[16]
3	2016	China e Hong Kong	*Renewable Energy*	74	8.7	Yan et al.	[22]
4	2014	China	*Energy and Buildings*	64	6.7	Zhang et al.	[10]
5	2019	China	*International Journal of Thermal Sciences*	54	4.5	Yan et al.	[23]
6	2019	China	*Energy and Buildings*	51	6.7	He et al.	[24]
7	2010	França	*Energy and Buildings*	50	6.7	Chami e Zoughaib	[25]
8	2013	EUA	*Solar Energy*	48	6.7	Robinson et al.	[26]
9	2020	China	*Renewable Energy*	45	8.7	Yan et al.	[27]
10	2014	China e Reino Unido	*Energy and Buildings*	44	6.7	He et al.	[28]

Note: JIF – 2022 *Journal Impact Factor* fornecido pela base de dados Clarivate.
Fonte: Os autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho avaliou 74 artigos sobre TSs (Termossifões) e HPs (Heat Pipes) aplicados na envoltória de edificações por meio de uma análise bibliométrica. As revistas com maior predominância de publicação do tema foram *Energy and Building*, *Applied Thermal Engineering* e *Renewable Energy*. A China se destacou como a maior produtora dos artigos analisados, com 46 *papers* no total, representando 62,16% das produções selecionadas. Além disso, o hemisfério norte dominou a pesquisa de TSs e HPs na envoltória de edifícios, com apenas o Brasil, no hemisfério sul, apresentando publicações.

Há um interesse significativo da comunidade acadêmica sobre o tema, uma vez que o mesmo ganhou destaque na última década, com 64,86% dos artigos publicados a partir de 2019. Nesta perspectiva, dentre a categorização apresentada, TSs e HPs na parede foram as mais desenvolvidas nos últimos anos, enquanto a aplicação em coberturas, pisos e janelas provavelmente possuem mais lacunas a serem estudadas, uma vez que apresentaram um menor número de trabalhos. A integração da tecnologia com sistemas ativos e materiais de mudança de fase também teve considerável relevância nos últimos 5 anos.

Dentre as palavras-chave com maior destaque, destacam-se *heat pipe*, por ser o termo que define a tecnologia, e *wall implanted with heat pipe*, pelo elevado número de pesquisas publicadas nos últimos anos sobre TSs e HPs em paredes. Portanto, considerando as demandas e a emergência climática, a investigação de sistemas com baixo impacto ambiental tem ganhado destaque, como evidenciado neste trabalho. Há lacunas importantes a serem preenchidas, como a ampliação de estudos de TSs e HPs em outros componentes da envoltória dos edifícios, como pisos, coberturas e

janelas, e diferentes componentes construtivos da edificação. Além disso, a globalização do tema ao redor do mundo também é uma lacuna importante, principalmente em países latino-americanos, africanos e da Oceania.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do Programa Institucional de Iniciação Científica e Tecnológica (PIBIC/UFSC) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro recebido para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

[1] S. Xue, G. Huang, Q. Chen, X. Wang, J. Fan, and D. Shou, "Personal Thermal Management by Radiative Cooling and Heating," *Nano-Micro Lett.*, vol. 16, no. 1, p. 153, Dec. 2024, doi: 10.1007/s40820-024-01360-1.

[2] R. A. Betts, C. D. Jones, J. R. Knight, R. F. Keeling, and J. J. Kennedy, "Provisional State of the Global Climate 2023." Sep. 2023. Accessed: Jan. 19, 2024. [Online]. Available: https://www.nature.com/articles/nclimate3063

[3] G. Gholamibozanjani and M. Farid, "A Critical Review on the Control Strategies Applied to PCM-Enhanced Buildings," *Energies*, vol. 14, no. 7, p. 1929, Mar. 2021, doi: 10.3390/en14071929.

[4] C. Yu, D. Shen, W. He, Z. Hu, S. Zhang, and W. Chu, "Parametric analysis of the phase change material wall combining with micro-channel heat pipe and sky radiative cooling technology," *Renewable Energy*, vol. 178, pp. 1057–1069, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.07.001.

[5] Abdou Idris Omar, Adriana Guadalupe Salazar Ruiz, Ade Awujoola, G C Modgil, Ahmed Bolbol, Alejandra Acevedo, and Andre-Daniel Mueller, "2022 GLOBAL STATUS REPORT FOR BUILDINGS AND CONSTRUCTION," 2022, [Online]. Available: https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction

[6] European Parliament, "Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings." 2010. [Online]. Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2010/31/oj

[7] R. Levinson *et al.*, "Policy recommendations from IEA EBCAnnex 80: Resilient Cooling of Buildings," [object Object], 2023. doi: 10.20357/B7288C.

[8] J. Jose and T. Hotta, "A comprehensive review of heat pipe: Its types, incorporation techniques, methods of analysis and applications," *THERMAL SCIENCE AND ENGINEERING PROGRESS*, vol. 42, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.tsep.2023.101860.

[9] M. B. H. Mantelli, *Thermosyphons and Heat Pipes: Theory and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-62773-7.

[10] Z. Zhang, Z. Sun, and C. Duan, "A new type of passive solar energy utilization technology - The wall implanted with heat pipes," *Energy and Buildings*, vol. 84, pp. 111–116, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.08.016.

[11] B. Yao, K. Zhang, J. Zhu, and S. Wu, "Optimization study on the performance of a thermosyphon-based radiative cooler," *INDOOR AND BUILT ENVIRONMENT*, vol. 32, no. 2, pp. 425–439, Feb. 2023, doi: 10.1177/1420326X221117758.

[12] R. S. Anand, C. P. Jawahar, A. B. Solomon, and E. Bellos, "A review of experimental studies on cylindrical two-phase closed thermosyphon using refrigerant for low-temperature applications," *International Journal of Refrigeration*, vol. 120, pp. 296–313, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ijrefrig.2020.08.011.

[13] V. Guichet and H. Jouhara, "Condensation, evaporation and boiling of falling films in wickless heat pipes (two-phase closed thermosyphons): A critical review of correlations,"

International Journal of Thermofluids, vol. 1–2, p. 100001, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.ijft.2019.100001.
[14] M. Ramezanizadeh, M. Alhuyi Nazari, M. H. Ahmadi, and E. Açıkkalp, "Application of nanofluids in thermosyphons: A review," *Journal of Molecular Liquids*, vol. 272, pp. 395–402, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.molliq.2018.09.101.
[15] J. Cao *et al.*, "A review on independent and integrated/coupled two-phase loop thermosyphons," *Applied Energy*, vol. 280, p. 115885, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115885.
[16] M. V. Albanese, B. S. Robinson, E. G. Brehob, and M. Keith Sharp, "Simulated and experimental performance of a heat pipe assisted solar wall," *Solar Energy*, vol. 86, no. 5, pp. 1552–1562, May 2012, doi: 10.1016/j.solener.2012.02.017.
[17] M. Ebrahim Poulad, A. Fung, and S. Lefrene, "Thermosyphon In Buildings: A Solution For Thermal Bridging," presented at the 2017 Building Simulation Conference, Aug. 2013. doi: 10.26868/25222708.2013.2538.
[18] A. Burlacu *et al.*, "Innovative Passive and Environmentally Friendly System for Improving the Energy Performance of Buildings," *Materials*, vol. 15, no. 20, p. 7224, Oct. 2022, doi: 10.3390/ma15207224.
[19] F. Fantozzi *et al.*, "An Innovative Enhanced Wall to Reduce the Energy Demand in Buildings," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 796, p. 012043, Jan. 2017, doi: 10.1088/1742-6596/796/1/012043.
[20] P. Bellani, F. Milanez, M. B. H. Mantelli, S. Filippeschi, M. Mameli, and F. Fantozzi, "Theoretical and experimental analyses of the thermal resistance of a loop thermosyphon for passive solar heating of buildings," *Interfac Phenom Heat Transfer*, vol. 7, no. 1, pp. 57–68, 2019, doi: 10.1615/InterfacPhenomHeatTransfer.2019031160.
[21] S. Varga, A. C. Oliveira, and C. F. Afonso, "Characterisation of thermal diode panels for use in the cooling season in buildings," *Energy and Buildings*, vol. 34, no. 3, pp. 227–235, Mar. 2002, doi: 10.1016/S0378-7788(01)00090-1.
[22] C. Yan, W. Shi, X. Li, and S. Wang, "A seasonal cold storage system based on separate type heat pipe for sustainable building cooling," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 880–889, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.07.023.
[23] T. Yan, J. Gao, X. Xu, T. Xu, Z. Ling, and J. Yu, "Dynamic simplified PCM models for the pipe-encapsulated PCM wall system for self-activated heat removal," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 144, pp. 27–41, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2019.05.015.
[24] W. He *et al.*, "Experimental study on the performance of a novel RC-PCM-wall," *Energy and Buildings*, vol. 199, pp. 297–310, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.07.001.
[25] N. Chami and A. Zoughaib, "Modeling natural convection in a pitched thermosyphon system in building roofs and experimental validation using particle image velocimetry," *Energy and Buildings*, vol. 42, no. 8, pp. 1267–1274, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.enbuild.2010.02.019.
[26] B. S. Robinson, N. E. Chmielewski, A. Knox-Kelecy, E. G. Brehob, and M. K. Sharp, "Heating season performance of a full-scale heat pipe assisted solar wall," *Solar Energy*, vol. 87, pp. 76–83, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.solener.2012.10.008.
[27] T. Yan, Z. Sun, J. Gao, X. Xu, J. Yu, and W. Gang, "Simulation study of a pipe-encapsulated PCM wall system with self-activated heat removal by nocturnal sky radiation," *Renewable Energy*, vol. 146, pp. 1451–1464, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.07.060.
[28] W. He, X. Hong, X. Zhao, X. Zhang, J. Shen, and J. Ji, "Theoretical investigation of the thermal performance of a novel solar loop-heat-pipe façade-based heat pump water heating system," *Energy and Buildings*, vol. 77, pp. 180–191, 2014, doi: 10.1016/j.enbuild.2014.03.053.