XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Análise da produção científica brasileira sobre o envelhecimento de fachadas e coberturas sob a ótica do desempenho térmico

Análisis de la producción científica brasileña sobre el envejecimiento de fachadas y cubiertas desde la perspectiva del rendimiento térmico

Analysis of Brazilian scientific production on the aging of facades and roofs from the perspective of thermal performance

Desempenho térmico / *Rendimiento térmico/ Thermal performance*

Costa, Karime
Doutoranda, IAU-USP, São Carlos, Brasil, karimezs@usp.br

Dornelles, Kelen
Professora doutora, IAU-USP, São Carlos, Brasil, kelend@usp.br

Resumo

Este artigo conduziu uma revisão sistemática, segundo o protocolo PRISMA, e análise bibliométrica de 41 publicações brasileiras (busca: 1990–2025) sobre o envelhecimento de fachadas e coberturas sob a ótica do desempenho térmico. Observou-se predominância do envelhecimento natural, ênfase em refletância e absortância solares e escassa avaliação de temperatura superficial. Identificaram-se ainda lacunas importantes: curta duração dos ensaios naturais (< 12 meses), heterogeneidade dos protocolos acelerados e pouca representação das regiões Norte/Nordeste. Propõe-se padronizar métodos de envelhecimento acelerado, estender séries temporais, incorporar sistematicamente medições de temperatura superficial, diversificar a base geográfica e fortalecer colaborações interinstitucionais.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Intemperismo. Superfícies externas. Bibliometria. Cientometria.

Resumen

Este artículo realizó una revisión sistemática, según el protocolo PRISMA, y un análisis bibliométrico de 41 publicaciones brasileñas (búsqueda: 1990–2025) sobre el envejecimiento de fachadas y cubiertas desde la perspectiva del desempeño térmico. Se observó una predominancia del envejecimiento natural, con énfasis en la reflectancia y absortancia solares y escasa evaluación de la temperatura superficial. También se identificaron lagunas importantes: corta duración de los ensayos naturales (< 12 meses), heterogeneidad de los protocolos de envejecimiento acelerado y poca representación de las regiones Norte y Nordeste. Se propone estandarizar los métodos de envejecimiento acelerado, ampliar las series temporales, incorporar sistemáticamente mediciones de temperatura superficial, diversificar la base geográfica y fortalecer las colaboraciones interinstitucionales.

Palabras clave: Rendimiento térmico. Intemperismo. Superficies externas. Bibliometría. Cientometría.

Abstract

This article conducted a systematic review, following the PRISMA protocol, and a bibliometric analysis of 41 Brazilian publications (search: 1990–2025) on the aging of façades and roofs from the perspective of thermal performance. A predominance of natural aging was observed, with emphasis on solar reflectance and absorptance and limited evaluation of surface temperature. Significant gaps were also identified: short duration of natural exposure tests (< 12 months), heterogeneity of accelerated aging protocols, and poor representation of the North and Northeast regions. It is proposed to standardize accelerated aging methods, extend time-series, systematically incorporate surface temperature measurements, diversify the geographic base, and strengthen interinstitutional collaborations.

Keywords: Thermal performance. Weathering. External surfaces. Bibliometrics. Scientometrics.

Introdução

As fachadas e coberturas desempenham um papel essencial no desempenho térmico das edificações, pois regulam a troca de calor entre o ambiente interno e o externo, impactando diretamente o conforto térmico dos usuários e a eficiência energética do edifício. As propriedades térmicas e ópticas dessas superfícies, como refletância solar e absortância solar, são determinantes para a avaliação do desempenho térmico das construções (Paolini et al., 2020). Materiais com alta refletância solar e baixa absorção contribuem para a redução do ganho de calor no interior das construções, especialmente em climas quentes, e desempenham um papel crucial na mitigação dos efeitos das Ilhas de Calor Urbanas (UHI) (Santamouris *et al.*, 2018).

No entanto, ao longo do tempo, as superfícies das edificações estão sujeitas à degradação devido à exposição às intempéries, como luz, radiação UV, umidade, sujeira, poluição atmosférica e excesso de calor (Morini *et al*., 2018). Dessa forma, o desempenho térmico de fachadas e coberturas não depende apenas das características iniciais dos materiais, mas também das condições ambientais e da manutenção regular.

Embora a literatura sobre os efeitos do envelhecimento natural das superfícies seja crescente, ela ainda é limitada no contexto brasileiro, com uma lacuna significativa de dados abrangentes sobre o comportamento dos materiais nas diferentes regiões e climas do país (Lima *et al*., 2022). Estudos recentes, como os de Araujo (2022), demonstram como telhas frias podem ser afetadas pela degradação natural, com aumento significativo na absorção solar, enquanto a pesquisa de Cavalcanti *et al*. (2024) aponta a necessidade de revisitar os critérios da NBR 15575 em relação ao desempenho térmico das edificações considerando a degradação das superfícies.

A última atualização da norma, de 2021, já considera essa influência nas propriedades térmicas, mas carece de mais estudos que validem e aprofundem essas diretrizes. A pesquisa de Couto (2025), que analisou o envelhecimento natural na absortância solar de tintas expostas nas cidades de Teresina, São Carlos e Florianópolis, reforça a necessidade de considerar as particularidades climáticas e regionais, observando como a ação do tempo pode alterar substancialmente o desempenho térmico de materiais expostos às intempéries.

Para fundamentar a compreensão das publicações nacionais e orientar a identificação de lacunas e tendências, este estudo recorreu à análise bibliométrica integrada à revisão sistemática,

respaldada pelo protocolo PRISMA. Na próxima seção, descrevem-se os critérios e procedimentos adotados para a busca, seleção e extração de informações dos estudos incluídos.

Metodologia

Este estudo configura-se como revisão sistemática, conduzida segundo o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) em maio de 2025, complementada por análise bibliométrica. O objetivo foi mapear padrões de publicação, identificar redes de colaboração e delimitar lacunas temáticas na literatura brasileira sobre envelhecimento de fachadas e coberturas sob a ótica do desempenho térmico. Para manter comparabilidade metodológica, o recorte abrangeu exclusivamente fontes vinculadas à Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), reconhecidas por concentrarem a produção técnico-científica mais relevantes em conforto ambiental no Brasil:

1. Periódico Ambiente Construído – busca em título, resumo e palavras-chave com o critério: (envelhecimento *OR* intemperismo *OR* degradação *OR* exposta *OR* desempenho térmico *OR* refletância *OR* absortância *OR* fachada *OR* cobertura *OR* telha *OR* tinta *OR* pintura).

2. Anais de eventos ANTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC): 2000–2024, Encontro Nacional de Conforto do Ambiente Construído (ENCAC): 1990–2023, Simpósio Brasileiro de Qualidade de Projeto do Ambiente Construído (SBQP): 2019–2023 e Encontro Latino Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis (ELECS): 2019–2023. Cada termo foi pesquisado isoladamente, os resultados foram registrados por ano e as duplicatas descartadas manualmente.

3. Repositórios digitais do GT “Conforto Ambiental e Eficiência Energética” – USP, UNICAMP, UFSC, UFRGS, UFMG, UFPA, UTFPR, UFRJ, UFES, UnB, UFG, UFMS, UFBA, UFC, UFRN, UFPE, UFAL e UFAM:

    - USP: busca avançada (máximo 8 termos) no campo “Resumo”, com a seguinte lógica booleana: envelhecimento *OR* intemperismo *AND* desempenho térmico *OR* refletância *OR* absortância *AND* fachada *OR* cobertura *OR* tinta.

    - UNICAMP: busca avançada (máximo 7 termos) em todos os campos; após testes-piloto, “intemperismo” foi substituído por “exposta/exposição” e “absortância” foi omitido em favor de “refletância”;

- Demais repositórios: pesquisa em “Todos os campos” com o critério: (intemperismo *OR* envelhecimento *OR* degradação *OR* exposta) *AND* (desempenho térmico *OR* absortância *OR* refletância) *AND* (fachada *OR* telha *OR* tinta *OR* pintura *OR* cobertura) aplicada a teses e dissertações, sem restrição temporal.

Foram elegíveis apenas estudos que: (i) tratassem de envelhecimento natural (exposição in situ) ou acelerado (câmara UV, névoa salina ou outro método artificial) de fachadas ou coberturas; e (ii) mensurassem ao menos uma propriedade térmica (refletância, absortância ou temperatura superficial). Trabalhos sem acesso ao texto completo foram excluídos.

O processo de seleção seguiu as fases PRISMA:

- Identificação: 12.066 registros;
- Remoção de duplicatas: 4 % no periódico e 16 % nos eventos; não controlável nos repositórios.
- Leitura integral de 111 documentos avaliados na íntegra;
- Inclusão de 41 estudos que atenderam aos critérios.

A Tabela 1 detalha quantitativamente cada etapa por fonte:

Tabela 1: Seleção dos estudos seguindo o protocolo PRISMA.

Etapa	Periódico	Anais de Eventos	Repositórios
Registros identificados	537	978	10 551
Duplicatas removidas	20	157	—
Após duplicatas	517	821	10 551
Títulos triados	517	821	10 551
Resumos lidos	39	205	—
Textos completos avaliados	39	26	46
Estudos incluídos	4	21	16

Resultados

A aplicação do protocolo PRISMA resultou em 41 estudos que atenderam integralmente aos critérios de elegibilidade. A análise das fontes de busca mostra que 21 trabalhos (51,2 %) foram divulgados nos anais de eventos da ANTAC, enquanto o periódico Ambiente Construído respondeu por 4 publicações (9,8 %) e os repositórios digitais das dezoito instituições somaram 16 estudos (39,0 %) (Figura 1).

Figura 1: Distribuição de estudos por fonte.

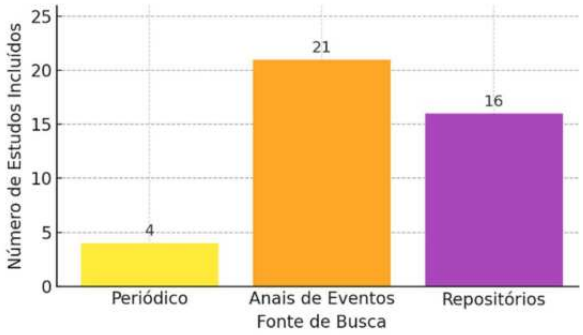
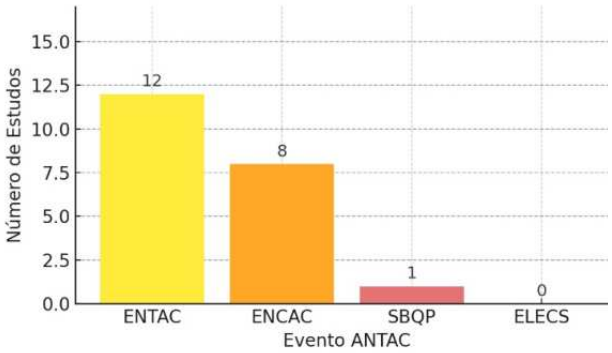


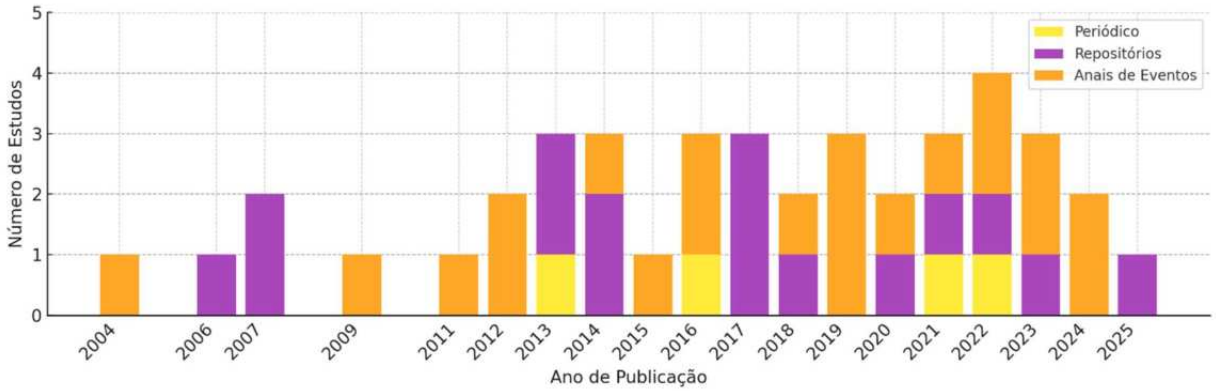
Figura 2: Distribuição por evento ANTAC.



Entre os encontros científicos da ANTAC, o ENTAC destacou-se com 12 artigos, seguido pelo ENCAC, com 8 artigos. O SBQP contou com apenas um trabalho elegível e o ELECS não apresentou investigações incluídas, em parte devido à indisponibilidade de seus anais completos. Embora tenha sido identificado um artigo avulso do ELECS de 2015, sua inclusão não foi possível pela falta de acesso aos demais registros do evento. Esses achados reforçam a centralidade histórica de ENCAC e ENTAC na difusão de pesquisas sobre intemperismo e desempenho térmico (Figura 2).

As buscas abrangeram o período de 1990–2025, embora o primeiro estudo elegível tenha sido publicado em 2004. Na análise temporal, observa-se que entre 2004 e 2009 foram desenvolvidas 5 pesquisas, concentradas sobretudo em repositórios e nos anais do ENCAC e ENTAC. O decênio 2010–2019 mostrou expansão significativa, com 21 trabalhos. No quinquênio mais recente (2020–2025), registraram-se 15 publicações, coincidindo com a revisão da NBR 15575 em 2021, o que possivelmente estimulou o interesse por estudos de desempenho térmico pós-envelhecimento. Essa evolução confirma o amadurecimento da área e a crescente atenção ao desempenho térmico de fachadas e coberturas ao longo das últimas duas décadas (Figura 3).

Figura 3: Evolução temporal.



Observa-se que o conjunto de pesquisas sobre envelhecimento de fachadas e coberturas concentra-se em poucos nomes de destaque: Kelen A. Dornelles figura como autora/coautora em 10 publicações, seguida por Ana Carolina Hidalgo Araújo, com 5 publicações. Os demais pesquisadores possuem uma ou duas publicação. No conjunto de estudos, a Universidade de São Paulo destacou-se com 22 menções institucionais, seguida pela Universidade Federal de Alagoas, pela Universidade Estadual de Campinas e pela Universidade Federal de Santa Catarina , cada uma com cinco aparições. Esse padrão evidencia a concentração em poucos centros de pesquisa e reforça a necessidade de ampliar a representatividade de outras universidades e incentivar colaborações mais equilibradas em todo o território nacional.

Métodos de Envelhecimento

A maioria dos estudos analisados adotou o envelhecimento natural como principal método para avaliar a degradação dos materiais construtivos sob a ótica do desempenho térmico. Essa abordagem consiste na exposição direta dos corpos de prova às condições ambientais reais, como radiação solar, chuva, variações térmicas e poluição atmosférica. A escolha desse método se justifica pela sua capacidade de simular fielmente o uso real dos materiais em fachadas e coberturas. Exemplos representativos incluem o estudo de Araújo (2022), que utilizou exposição em campo para acompanhar alterações ópticas e térmicas em telhas de fibrocimento, e o trabalho de Costa et al. (2022), que avaliou o comportamento térmico de sistemas de cobertura após envelhecimento ambiental.

Em menor proporção, alguns estudos recorreram ao envelhecimento acelerado, por meio de câmaras com controle de radiação UV, umidade e temperatura. O estudo de Coser (2014) expôs

os revestimentos a envelhecimento artificial por até 1.000 horas, avaliando o impacto na refletância e no desempenho térmico. A combinação de envelhecimento natural e acelerado ainda é pouco abordada na produção científica brasileira, mas pesquisas como a de Couto (2025), que aplicou protocolos normalizados de envelhecimento artificial e comparou os resultados com o envelhecimento natural, demonstram o potencial dessa abordagem para análises mais abrangentes.

Além disso, a simulação computacional foi utilizada em estudos como os de Pereira (2014), Teixeira (2013), Couto (2025) e Cavalcanti et al. (2024), que empregaram o software *EnergyPlus* para modelar o impacto de propriedades térmicas superficiais, como refletância e emitância, no desempenho térmico e energético de edificações em diferentes zonas climáticas. Esses trabalhos demonstram o potencial da simulação para complementar ensaios experimentais, permitindo análises paramétricas sob condições controladas e representativas.

Propriedades Térmicas Avaliadas

As propriedades mais investigadas foram refletância e absortância solares, que indicam, respectivamente, a quantidade de radiação refletida e absorvida pelos materiais. Estudos como Figueiredo et al. (2009) demonstraram perda significativa de refletância em tintas claras após envelhecimento. Em Couto e Dornelles (2024), a variação da absortância também foi observada de forma regionalizada.

A temperatura superficial, embora importante para o desempenho térmico real, foi avaliada em menor número de estudos. Casos como Maestri (2017) e Araújo (2022) abordaram essa variável de forma integrada. Ainda assim, poucos estudos avaliaram os três parâmetros (refletância, absortância e temperatura) de forma simultânea.

Lacunas Metodológicas e Temáticas

A análise dos estudos selecionados permitiu identificar lacunas relevantes que limitam a consolidação de um corpo de conhecimento mais integrado e representativo sobre o envelhecimento de fachadas e coberturas sob a ótica do desempenho térmico. Uma das principais limitações observadas foi a curta duração dos ensaios de envelhecimento natural, com a maioria dos trabalhos restringindo-se a períodos de até 12 meses. Estudos como os de Shirakawa et al. (2018) e Silva (2017) ilustram essa limitação, que pode comprometer a observação de ciclos sazonais completos e a identificação de processos de degradação cumulativos ao longo do tempo.

Outra limitação observada foi a heterogeneidade dos protocolos de envelhecimento acelerado entre os poucos estudos que adotaram esse método. As diferenças quanto à intensidade e tipo de radiação, número de ciclos, temperatura e tempo de exposição dificultam a comparação direta entre os resultados e comprometem a reprodutibilidade dos ensaios. Essa diversidade decorre, em parte, da ausência de normas técnicas nacionais voltadas à realidade climática brasileira, o que leva os pesquisadores a adotar ou adaptar normas internacionais, originalmente desenvolvidas para contextos diferentes. Essa lacuna normativa pode contribuir para a incompatibilidade entre os resultados obtidos por envelhecimento natural e acelerado, sobretudo quando se busca representar as condições específicas de intemperismo de distintas regiões do país.

Do ponto de vista geográfico, a revisão também evidenciou a sub-representação de estudos realizados em regiões de clima quente e úmido, como Norte e Nordeste do Brasil. A maior parte dos trabalhos concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, como observado em Silveira, Marinoski e Lamberts (2012). Essa concentração regional limita a aplicabilidade dos achados às diversas zonas bioclimáticas do país, sobretudo no que diz respeito à adaptação de materiais às realidades climáticas tropicais.

Conclusão

Reiterando o objetivo de mapear e caracterizar sistematicamente a produção científica brasileira sobre o envelhecimento de fachadas e coberturas sob a ótica do desempenho térmico, conclui-se que, entre 2004 e 2025, houve um crescimento consistente de investigações, mas com concentração em estudos de envelhecimento natural de curta duração (< 12 meses) e foco predominante nas propriedades de refletância e absortância solares. A heterogeneidade dos protocolos de envelhecimento acelerado limita a comparabilidade dos resultados, e a forte centralização das publicações nos anais da ANTAC (51,2 %) e em poucos grupos de pesquisa evidencia a pouca representação das regiões Norte e Nordeste e a baixa diversidade institucional.

Essas limitações comprometem tanto a consolidação de diretrizes técnicas (por exemplo, na revisão da NBR 15575:2021) quanto a generalização dos achados para os distintos bioclimas brasileiros. Ademais, a adoção de protocolos de simulação e métodos acelerados sem

padronização impede a integração de dados experimentais e modelagens numéricas, dificultando a projeção de desempenho de materiais em condições reais de uso.

Diante desse panorama, recomenda-se: Padronizar e normatizar protocolos de envelhecimento acelerado adaptados ao clima tropical e subtropical do Brasil; Estender as durações dos ensaios naturais para abranger ciclos sazonais completos e permitir avaliação de degradação cumulativa; Incorporar medições de temperatura superficial, complementando refletância e absortância; Integrar simulações computacionais aos ensaios experimentais para análise paramétrica de variáveis climáticas; Diversificar a base geográfica e institucional, incentivando pesquisas em regiões historicamente sub-representadas (Norte/Nordeste) e fomentando colaborações interdisciplinares.

A adoção dessas medidas fortalecerá a base de evidências para o desempenho térmico pós-envelhecimento de fachadas e coberturas, apoiará a revisão de normas e embasará projetistas e formuladores de políticas na definição de soluções construtivas mais resilientes e sustentáveis em todo o território nacional.

Referências

Araújo, Ana Carolina Hidalgo. **Absortância solar e o envelhecimento natural de telhas expostas ao tempo.** 2022. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2022.

Cavalcanti, Fernando Sá; Paes, Yasmim Melo; Oliveira, Anne Carolyne dos Santos; Tibúrcio, Isabela Cristina da Silva Passos; Monteiro, Leonardo Marques. Envelhecimento de sistemas de coberturas e seu impacto no desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais…** Maceió: ANTAC, 2024. p.123-124.

Costa, Gleidson Martins et al. Efeitos da degradação de coberturas convencionais no desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 2022. **Anais [...]**. ANTAC, 2022.

Couto, Lorena Santos Bezerra. **Avaliação do efeito combinado de diferentes condições climáticas sobre o envelhecimento natural de tintas em fachadas de edifícios.** Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2025.

Coser, Eliane. **Desenvolvimento de revestimentos coloridos refletores da radiação infravermelha proveniente da radiação solar**. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

Couto, Lorena; Dornelles, Kelen Almeida. Os efeitos do envelhecimento natural na absortância solar de tintas expostas em três cidades brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 2024. **Anais [...]**. ANTAC, 2024.

Figueiredo, Edna; Castro, Adriana Petito de Almeida Silva; Labaki, Lucila Chebel; Caram, Rosana Maria. Medidas de refletância de cores de tintas para pintura externa exposta ao tempo. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 2009. **Anais [...]**. ANTAC, 2009.

Lima, Lucas; Shirakawa, Márcia; John, Vanderley. **Durability of high reflective materials designed for building envelopes.** In: WORLD BUILDING CONGRESS, 2022, Melbourne. Proceedings… Melbourne: [s.n.], 2022.

Maestri, Alexandre. **Avaliação da refletância solar em coberturas no campus da Universidade Federal de Santa Catarina**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

Morini, Elena; Castellani, Beatrice; Nicolini, Andrea; Rossi, Federico; Berardi, Umberto. “Effects of aging on retroreflective materials for building applications”. ***Solar Energy***. Elsevier, v. 179, 2018, p. 121–132. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.09.013.

Paolini, Riccardo; Terraneo, Giancarlo; Ferrari, Chiara; Sleiman, Mohamad; Muscio, Alberto; Metrangolo, Pierangelo; Poli, Tiziana; Destaillats, Hugo; Zinzi, Michele; Levinson, Ronnen. “Effects of soiling and weathering on the albedo of building envelope materials: lessons learned from natural exposure in two European cities and tuning of a laboratory simulation practice”. ***Solar Energy Materials and Solar Cells***. Elsevier, v. 205, 2020. DOI: 10.1016/j.solmat.2019.110264.

Pereira, Claudia Donald. **Influência da refletância e da emitância de superfícies externas no desempenho térmico de edificações**. 2014. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

Santamouris, Mattheos; Haddad, Shamila; Saliari, Maria; Vasilakopoulou, Konstantina; Synnefa, Afroditi; Paolini, Ricardo; Ulpiani, Giulia; Garshasbi, Samira; Fiorito, Francesco. “On the energy

impact of urban heat island in Sydney: climate and energy potential of mitigation technologies". ***Energy and Buildings***. Elsevier, v. 166, 2018, p. 154–164. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.02.007.

Shirakawa, Márcia Aiko et al. Superfícies frias – Avaliação da refletância em quatro cidades brasileiras após um ano de envelhecimento natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 2018. **Anais [...]**. ANTAC, 2018.

Silva, Isabela Libório Martins. **Estudo de durabilidade de pinturas "frias" e convencionais expostas ao envelhecimento natural.** 2017. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

Silveira, Ricardo; Marinoski, Deivis Luis; Lamberts, Roberto. Avaliação da absortância à radiação solar e temperatura superficial de telhas de fibrocimento utilizadas nas coberturas de edificações do campus da UFSC. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 2012. **Anais [...]**. ANTAC, 2012.

Agradecimentos

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pela bolsa concedida (FAPESP #2024/00962-1).