PELÍCULAS PARA VIDROS EM EDIFICAÇÕES: ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL E PERSPECTIVAS PARA A PESQUISA NO BRASIL

WINDOW FILMS IN BUILDINGS: INTERNATIONAL STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES FOR RESEARCH IN BRAZIL

RODRIGO SILVA ANDRADE
SAIT - SOUTHERN ALBERTA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Comunicação:
O XIV SINGEP foi realizado em conjunto com a 14th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com a SPARK (Society for Promoting Academic Research and Knowledge), em formato híbrido, com sede presencial na UNINOVE - Universidade Nove de Julho, no Brasil.

PELÍCULAS PARA VIDROS EM EDIFICAÇÕES: ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL E PERSPECTIVAS PARA A PESQUISA NO BRASIL

Objetivo do estudo
Analisar as evidências científicas internacionais sobre películas para vidros em edificações, discutindo seu desempenho, suas aplicações e suas possíveis contribuições para o fortalecimento da agenda de pesquisa sobre essa tecnologia no Brasil.

Relevância/originalidade
O estudo aproxima a literatura internacional sobre películas arquitetônicas da produção científica brasileira sobre desempenho de edificações, evidenciando diferenças nos objetos de investigação e oportunidades para ampliar a pesquisa nacional sobre essa tecnologia.

Metodologia/abordagem
Realizou-se uma revisão de literatura organizada em cinco eixos temáticos, abrangendo desempenho energético, iluminação natural e conforto visual, aplicações em climas quentes e tropicais, proteção ultravioleta e benefícios ambientais adicionais.

Principais resultados
As evidências mostram benefícios energéticos, térmicos, luminosos e ambientais, condicionados pelo clima, sistema envidraçado, propriedades e posição de instalação das películas. No corpus brasileiro analisado, predominam estudos sobre outras estratégias de desempenho da envoltória.

Contribuições teóricas/metodológicas
O estudo sistematiza a evolução da pesquisa sobre películas arquitetônicas em uma perspectiva multidimensional, articulando desempenho energético, conforto ambiental, proteção ultravioleta e biodiversidade e propondo uma estrutura temática para interpretar as diferentes aplicações da tecnologia.

Contribuições sociais/para a gestão
Os resultados podem apoiar pesquisadores e profissionais na avaliação de películas como estratégia de retrofit, considerando simultaneamente contexto climático, características da edificação e múltiplas dimensões de desempenho, além de orientar futuras investigações no contexto brasileiro.

Palavras-chave: Películas para vidros, Retrofit, Eficiência energética, Conforto ambiental, Edificações sustentáveis

WINDOW FILMS IN BUILDINGS: INTERNATIONAL STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES FOR RESEARCH IN BRAZIL

Study purpose
To analyze international scientific evidence on window films in buildings, discussing their performance, applications, and potential contributions to strengthening the research agenda on this technology in Brazil.

Relevance / originality
The study connects international literature on architectural window films with Brazilian research on building performance, highlighting differences in research focus and opportunities to expand national research on this technology.

Methodology / approach
A literature review was conducted across five thematic areas: energy performance, daylighting and visual comfort, applications in hot and tropical climates, ultraviolet protection, and additional environmental benefits.

Main results
The evidence indicates energy, thermal, daylighting, and environmental benefits, conditioned by climate, glazing systems, film properties, and installation position. Within the Brazilian literature analyzed, studies predominantly address other strategies for improving building-envelope performance.

Theoretical / methodological contributions
The study systematizes the evolution of research on architectural window films from a multidimensional perspective, integrating energy performance, environmental comfort, ultraviolet protection, and biodiversity, while providing a thematic framework for interpreting the technology's different applications.

Social / management contributions
The findings can support researchers and practitioners in assessing window films as a retrofit strategy by considering climate, building characteristics, and multiple performance dimensions, while also informing future research in the Brazilian context.

Keywords: Window films, Retrofit, Energy efficiency, Environmental comfort, Sustainable buildings

PELÍCULAS PARA VIDROS EM EDIFICAÇÕES: ESTADO DA ARTE INTERNACIONAL E PERSPECTIVAS PARA A PESQUISA NO BRASIL

1 Introdução

As edificações desempenham papel central nas estratégias de redução do consumo de energia e das emissões de gases de efeito estufa, uma vez que representam parcela significativa da demanda energética mundial (IEA, 2023; UNEP, 2023). Nesse contexto, a melhoria do desempenho energético do ambiente construído tem sido apontada como uma das principais estratégias para reduzir impactos ambientais associados ao setor da construção, especialmente por meio da incorporação de soluções passivas capazes de minimizar a necessidade de climatização artificial (Ürge-Vorsatz et al., 2015; IPCC, 2022).

Entre as diferentes estratégias passivas disponíveis, a envoltória da edificação exerce papel fundamental por controlar as trocas de calor entre os ambientes interno e externo. Em especial, os sistemas envidraçados influenciam simultaneamente o ganho de calor solar, as perdas térmicas, a disponibilidade de luz natural e o conforto dos ocupantes, tornando-se elementos relevantes para o desempenho energético das edificações (Costa e Amorim, 2021; Cristino et al., 2020; Varjal e Melo, 2024). Em edificações existentes, entretanto, a melhoria desse desempenho frequentemente envolve intervenções de maior porte, como a substituição completa das esquadrias, nem sempre viável em razão dos custos envolvidos, das limitações construtivas ou da necessidade de preservação arquitetônica.

Nesse contexto, películas arquitetônicas aplicadas sobre vidros existentes têm sido utilizadas como uma estratégia de retrofit capaz de modificar as propriedades térmicas e ópticas dos sistemas envidraçados sem a necessidade de substituição dos vidros (Winckler, 2012; Hui & Kwok, 2006). Dependendo de suas características, essas películas podem reduzir perdas de calor, limitar ganhos solares, bloquear parte da radiação ultravioleta e alterar a transmissão de luz natural, constituindo uma alternativa de intervenção de baixa complexidade para diferentes tipologias de edificações (Moghaddam et al., 2021; Pereira et al., 2020).

O desenvolvimento dessas tecnologias tem sido acompanhado por uma ampliação das investigações científicas sobre seu desempenho. Os estudos disponíveis abordam diferentes aspectos relacionados à aplicação de películas arquitetônicas, incluindo eficiência energética, conforto térmico, iluminação natural, qualidade do ambiente interno e outros efeitos associados ao uso dessa tecnologia em distintas condições climáticas e construtivas. Esse conjunto de pesquisas evidencia que a avaliação das películas para vidros passou a considerar múltiplas dimensões de desempenho, ampliando progressivamente o escopo das investigações.

No contexto brasileiro, por sua vez, a literatura identificada nesta revisão concentra-se predominantemente em estudos sobre desempenho térmico da envoltória, sistemas de fachadas, vidros, dispositivos de sombreamento e estratégias passivas para eficiência energética em edificações (Andreis, Besen e Westphal, 2014; Costa e Amorim, 2021; Cristino et al., 2020; Varjal e Melo, 2024; Brauwers e Alzolch, 2025; Zago, Meller e Westphal, 2022). Embora esses estudos contribuam para o avanço do conhecimento sobre o desempenho energético de edificações, películas arquitetônicas aplicadas em retrofit aparecem de forma menos frequente entre os trabalhos identificados, indicando a oportunidade de discutir como as evidências produzidas internacionalmente podem contribuir para ampliar essa agenda de pesquisa.

Diante desse contexto, torna-se relevante reunir e analisar as evidências disponíveis sobre películas para vidros em edificações, buscando compreender o estado atual do

conhecimento produzido internacionalmente e discutir suas possíveis contribuições para o contexto brasileiro. Assim, este estudo procura responder à seguinte questão de pesquisa: como as evidências científicas internacionais sobre películas para vidros em edificações podem contribuir para o fortalecimento da agenda de pesquisa sobre essa tecnologia no Brasil?

Para responder a essa questão, o presente estudo tem como objetivo analisar as evidências científicas internacionais sobre películas para vidros em edificações, discutindo seu desempenho, suas aplicações e suas implicações para o fortalecimento da agenda de pesquisa sobre essa tecnologia no Brasil. Para isso, a revisão examina estudos relacionados ao desempenho de películas Low-E em aplicações de retrofit, à eficiência energética, à iluminação natural e ao conforto visual, ao desempenho em climas quentes e tropicais, aos benefícios associados à proteção contra radiação ultravioleta e às contribuições ambientais adicionais atribuídas a essa tecnologia, buscando identificar convergências, limitações e oportunidades para pesquisas futuras.

2. Metodologia

Este estudo consiste em uma revisão de literatura (*literature review*), conforme a classificação proposta por Grant e Booth (2009). A revisão foi desenvolvida para reunir e analisar estudos sobre películas para vidros em edificações, considerando diferentes dimensões de desempenho atribuídas a essa tecnologia.

A seleção dos estudos foi realizada em duas etapas complementares. Inicialmente, foi conduzido um levantamento exploratório com o objetivo de compreender como a literatura sobre películas para vidros vem sendo desenvolvida, identificar as principais tecnologias investigadas e orientar o refinamento das estratégias de busca. Essa etapa permitiu definir os cinco eixos temáticos que estruturam a análise apresentada neste estudo.

Na segunda etapa, realizou-se a busca bibliográfica em bases de dados científicas por meio de combinações de descritores elaboradas especificamente para cada eixo temático, predominantemente em língua inglesa. Entre os principais termos empregados destacam-se *window film*, *solar control film*, *Low-E film*, *glazing film*, *building energy efficiency*, *thermal performance*, *daylighting*, *visual comfort*, *UV protection*, *retrofitting* e *building sustainability*. Também foram realizadas buscas complementares direcionadas ao contexto brasileiro, utilizando diferentes combinações de descritores em português e inglês voltadas à identificação de estudos sobre películas arquitetônicas aplicadas em retrofit de vidros existentes. Essas buscas contribuíram para caracterizar o conjunto de estudos nacionais identificado nesta revisão.

Foram priorizados estudos científicos publicados nos últimos quinze anos, preservando-se trabalhos anteriores considerados relevantes para compreender a evolução da tecnologia. Além de artigos publicados em periódicos, foram considerados trabalhos apresentados em anais de eventos científicos e documentos técnicos quando contribuíam para a compreensão de aspectos específicos relacionados ao desenvolvimento ou à aplicação de películas arquitetônicas. Os critérios de inclusão compreenderam: (i) estudos que investigassem o desempenho térmico, energético, óptico, ambiental ou humano de películas aplicadas a vidros em edificações; (ii) publicações em português ou inglês; e (iii) disponibilidade do texto completo.

Foram excluídos estudos voltados exclusivamente para aplicações automotivas, industriais ou fotovoltaicas, bem como pesquisas que abordassem apenas vidros, fachadas ou outros sistemas construtivos sem avaliação específica de películas arquitetônicas. Como exceção, foram incluídos estudos brasileiros sobre desempenho da envoltória, fachadas e

sistemas envidraçados que, embora não tratassem diretamente de películas, contribuíam para contextualizar a produção científica nacional relacionada ao tema.

Os estudos selecionados foram organizados em cinco eixos temáticos: (i) películas Low-E em aplicações de retrofit em climas frios e temperados; (ii) eficiência energética, iluminação natural e conforto visual; (iii) películas de controle solar em climas quentes e tropicais; (iv) proteção contra radiação ultravioleta e qualidade do ambiente interno; e (v) benefícios ambientais adicionais, com ênfase na mitigação de impactos sobre a fauna urbana.

Para apoiar a análise comparativa, os estudos foram organizados em um protocolo padronizado de extração de dados contendo informações sobre objetivos, métodos empregados, contexto de aplicação, tecnologias avaliadas, indicadores utilizados, principais resultados, mecanismos propostos para explicar o desempenho observado, limitações metodológicas e sugestões para pesquisas futuras.

A análise foi conduzida de forma comparativa, buscando identificar convergências e divergências entre os estudos, fatores associados ao desempenho das diferentes tecnologias de películas, indicadores empregados para avaliação, relações de compensação (*trade-offs*), limitações metodológicas e lacunas de pesquisa observadas no conjunto da literatura analisada.

3. Resultados da Revisão da Literatura

Os resultados da revisão estão organizados nos cinco eixos temáticos que estruturam este estudo, permitindo discutir as diferentes dimensões de desempenho atribuídas às películas para vidros em edificações.

3.1 Películas Low-E em retrofit de edificações em climas frios e temperados

As películas de baixa emissividade (Low-E) têm sido investigadas como uma alternativa de retrofit para melhorar o desempenho térmico de edificações localizadas em climas frios e temperados. Os estudos analisados neste eixo avaliam os efeitos dessa tecnologia sobre indicadores como perdas de calor, consumo energético, conforto térmico, emissões de CO_2 e condições de aplicação em diferentes tipologias construtivas, com destaque para edifícios existentes e edificações históricas.

As películas Low-E são revestimentos finos aplicados sobre vidros já instalados, desenvolvidos para reduzir as trocas de calor por radiação entre os ambientes interno e externo. Por dispensarem a substituição das esquadrias, constituem uma alternativa de retrofit de baixa intervenção, característica frequentemente apontada como uma vantagem em edificações onde a preservação das fachadas ou a redução dos custos de reforma representam condicionantes importantes da intervenção (Winckler, 2012; Moghaddam et al., 2021).

O que viabilizou essa forma de intervenção foi o desenvolvimento de filmes autoadesivos capazes de reproduzir, sobre um vidro já instalado, um desempenho de isolamento antes restrito a vidros de categoria superior. Segundo o relatório de desenvolvimento da película EnerLogic, alcançar esse resultado exigiu superar obstáculos de manufatura relacionados à flexibilidade, à resistência à corrosão e à abrasão e ao controle de efeitos ópticos indesejados, o que permitiu produzir películas com emissividade muito baixa (Winckler, 2012). De acordo com o mesmo estudo, a aplicação desses filmes sobre um vidro simples pode aproximar seu desempenho térmico ao de um vidro duplo — o que representa uma alternativa à substituição das esquadrias, alcançando ganho de isolamento equivalente por meio de uma intervenção menos onerosa e menos invasiva.

Os estudos reportam reduções consistentes nas perdas de calor durante o inverno e melhorias no desempenho energético das edificações avaliadas. No estudo conduzido por Moghaddam et al. (2021), em um edifício histórico na Suécia, a aplicação de películas Low-E reduziu em até 36% as perdas térmicas pelas janelas e limitou em aproximadamente 35% o ganho de calor no verão, resultando em uma economia anual de até 6% no consumo de energia para aquecimento. Em um hotel localizado no Reino Unido, Amirkhani et al. (2019) também observaram redução do consumo energético e das emissões de CO_2 após a aplicação dessa tecnologia, indicando que os benefícios não se restringem a edificações históricas.

Além da redução do consumo de energia, os estudos analisados associam o uso das películas Low-E à melhoria das condições de conforto térmico dos ocupantes. Esse benefício é explicado pela redução das trocas energéticas através do vidro, que contribui para manter temperaturas superficiais internas mais próximas da temperatura do ambiente. No estudo de Moghaddam et al. (2021), por exemplo, as horas de insatisfação térmica foram reduzidas de 14% para 11% do período de ocupação após a instalação das películas.

Parte da literatura também amplia essa discussão ao investigar os fatores que influenciam o desempenho da tecnologia. Entre os aspectos analisados destacam-se a zona climática, o tipo de vidro existente e a posição de instalação da película(Chen et al., 2022; Wang et al., 2024). Além disso, Duan, Zhao e Wang (2020) discutem o risco de condensação como um aspecto que deve ser considerado em determinadas condições de aplicação, evidenciando que os resultados dependem da interação entre a tecnologia e as características construtivas da edificação.

De modo geral, os estudos analisados indicam que as películas Low-E apresentam potencial para melhorar o desempenho térmico de edificações em climas frios e temperados, com benefícios recorrentes relacionados à redução das perdas de calor, ao consumo de energia, ao conforto térmico e às emissões de CO_2. Ao mesmo tempo, a literatura mostra que esses resultados dependem de fatores como as características construtivas da edificação, as condições climáticas e as estratégias de instalação da película. Alguns estudos ressaltam, ainda, que os benefícios proporcionados pela tecnologia podem justificar sua adoção mesmo quando o retorno financeiro ocorre em prazos mais longos (Moghaddam et al., 2021). Observa-se, por fim, que parte da literatura recente passou a concentrar-se não apenas na avaliação dos ganhos energéticos, mas também na compreensão das condições que influenciam o desempenho das películas Low-E em diferentes contextos de aplicação.

3.2 Eficiência energética, iluminação natural e conforto visual

Os estudos reunidos neste eixo investigam o desempenho das películas para vidros a partir de uma perspectiva mais ampla do que a estritamente energética, considerando simultaneamente a eficiência energética, a disponibilidade de luz natural e o conforto visual dos ocupantes. Em conjunto, esses trabalhos procuram responder a um desafio recorrente: como reduzir o ganho de calor através das superfícies envidraçadas sem comprometer a iluminação natural dos ambientes internos.

Os estudos analisados mostram que esse desafio decorre das próprias propriedades ópticas das películas. Ao reduzir a transmissão da radiação solar incidente, essas tecnologias tendem a diminuir simultaneamente o ganho de calor e a quantidade de luz visível que atravessa o vidro, estabelecendo uma relação de compensação entre desempenho térmico e iluminação natural. Pereira et al. (2020), em um estudo de campo realizado em Lisboa, observaram que todas as películas de controle solar avaliadas reduziram significativamente os níveis de iluminância interna em comparação ao vidro sem tratamento. Embora esse comportamento contribua para reduzir situações de excesso de luz e ofuscamento, os autores

ressaltam que também pode diminuir a disponibilidade de luz natural em determinados períodos, defendendo que o desempenho térmico e o desempenho luminoso sejam avaliados de forma integrada, e não como dimensões independentes. Ao evidenciar empiricamente essa relação de compensação, o estudo contribui para deslocar a discussão da simples redução do ganho solar para o desafio de equilibrar simultaneamente desempenho térmico e iluminação natural.

Os mecanismos responsáveis por esse comportamento também são discutidos pelos estudos analisados. Hui e Kwok (2006) descrevem que o desempenho das películas depende da forma como elas interagem com os diferentes comprimentos de onda da radiação solar. Enquanto películas convencionais tendem a reduzir simultaneamente a transmissão de luz visível (Visible Light Transmittance – VLT) e o ganho de calor solar (Solar Heat Gain Coefficient – SHGC), películas espectralmente seletivas procuram preservar níveis elevados de iluminação natural ao mesmo tempo em que restringem parte significativa da radiação infravermelha responsável pelo aquecimento dos ambientes. Os autores observam ainda que a magnitude desses benefícios depende de fatores como o tipo de vidro existente, a orientação das janelas e as condições climáticas, indicando que o desempenho das películas resulta da interação entre suas propriedades ópticas e o contexto de aplicação. Argumentam, ainda, que avaliações restritas ao desempenho térmico tendem a subestimar o potencial da tecnologia, uma vez que seus efeitos também se estendem ao aproveitamento da iluminação natural e ao consumo de energia associado aos sistemas de iluminação.

Essa perspectiva é ampliada por estudos que investigam o desempenho das películas em situações reais de uso. Alzarooni et al. (2023), em um estudo realizado em um edifício de escritórios em Abu Dhabi, observaram que a aplicação de uma película de controle solar reduziu significativamente o excesso de luminosidade nas áreas próximas às fachadas, melhorando a satisfação dos ocupantes. Quando combinada a um sistema responsivo de controle da iluminação artificial, a intervenção proporcionou economia de até 33% no consumo de energia destinado à iluminação. Os autores observam, contudo, que esse benefício depende das condições ambientais: a mesma película que reduz o excesso de luz em dias ensolarados pode resultar em níveis insuficientes de iluminação natural em períodos de menor radiação, reforçando que o desempenho da tecnologia depende de sua integração com outras estratégias de projeto e das condições efetivas de operação da edificação.

Resultados obtidos por meio de simulações apontam na mesma direção. Maduru e Shaik (2022), ao avaliarem diferentes configurações de vidros laminados em três zonas climáticas da Índia, verificaram que soluções capazes de reduzir significativamente o ganho de calor solar mantiveram, ao mesmo tempo, níveis de iluminação natural superiores aos mínimos estabelecidos pela regulamentação local. Os resultados sugerem que a redução do ganho térmico e a preservação da iluminação natural não constituem objetivos necessariamente incompatíveis, desde que a especificação da solução considere fatores como clima, orientação da fachada e características do sistema envidraçado. Nesse sentido, o estudo desloca a discussão do reconhecimento do trade-off para a identificação das condições em que esse equilíbrio pode ser alcançado.

Mais recentemente, estudos também passaram a explorar tecnologias capazes de modificar seu comportamento óptico em resposta às condições ambientais. Zhu et al. (2026) desenvolveram um filme responsivo à umidade que altera automaticamente suas propriedades sem necessidade de energia externa. Em condições secas, o material aumenta a difusão da luz e reduz a temperatura interna dos ambientes; em condições úmidas, recupera maior transparência, favorecendo a entrada de luz natural. Diferentemente das películas convencionais, cujo desempenho permanece fixo após a instalação, essa tecnologia procura

adaptar continuamente o equilíbrio entre desempenho térmico e conforto visual às condições de uso, reduzindo o ofuscamento e promovendo maior uniformidade da iluminação interna.

De modo geral, os estudos analisados indicam que o desempenho das películas para vidros não pode ser avaliado exclusivamente pela redução do consumo de energia. As evidências reunidas mostram que sua eficácia depende do equilíbrio entre controle do ganho solar, disponibilidade de luz natural e conforto visual, o qual varia conforme fatores como as propriedades ópticas da película, o tipo de vidro existente, a orientação da fachada, as condições climáticas e a integração com sistemas de iluminação. Em conjunto, os estudos deste eixo mostram uma ampliação do foco das investigações, que passam da identificação da relação de compensação entre desempenho térmico e iluminação natural para a busca de soluções capazes de otimizar simultaneamente essas diferentes dimensões por meio de películas espectralmente seletivas, estratégias integradas de iluminação e materiais adaptativos.

3.3 Películas de controle solar em climas quentes e tropicais

Os estudos reunidos neste eixo investigam o desempenho de películas de controle solar em edificações localizadas em climas quentes e tropicais, nos quais a principal demanda energética está associada ao resfriamento dos ambientes. Nesses contextos, as películas são estudadas como uma estratégia de retrofit capaz de reduzir os ganhos solares através das superfícies envidraçadas, contribuindo para diminuir a carga térmica incidente sobre as edificações e, consequentemente, a demanda por climatização artificial.

Os estudos analisados mostram reduções recorrentes do ganho de calor solar e do consumo de energia em diferentes tipologias construtivas. Em uma revisão sistemática de estudos internacionais, Pereira et al. (2022) identificaram melhorias consistentes no desempenho energético de edificações após a aplicação de películas de controle solar, especialmente em intervenções de retrofit. Resultados semelhantes foram observados por Moretti e Belloni (2015), que registraram redução de aproximadamente 60% da radiação solar incidente e diminuição de 2 a 3 °C na temperatura interna de um edifício universitário na Itália. Em um edifício de escritórios localizado em Jacarta, Prameswari e Pranowo (2025) verificaram redução de 29% na carga anual de resfriamento e diminuição de quase 4 °C na temperatura operativa dos ambientes após a aplicação de películas espectralmente seletivas.

Embora esses resultados indiquem benefícios recorrentes, os estudos convergem ao mostrar que o desempenho das películas depende de um conjunto de fatores relacionados às características da edificação e ao contexto climático. Pereira et al. (2022) destacam que variáveis como orientação da fachada, relação entre área envidraçada e área de fachada (Window-to-Wall Ratio – WWR), tipo de vidro existente e propriedades ópticas das películas influenciam diretamente a magnitude dos ganhos obtidos. Essa variabilidade explica, em parte, as diferenças observadas entre os estudos e indica que o desempenho da tecnologia não pode ser analisado de forma dissociada das condições de aplicação.

Entre os fatores mais frequentemente discutidos está a posição de instalação da película. Pereira et al. (2022), ao sintetizarem os resultados disponíveis na literatura, observaram desempenho térmico consistentemente superior para películas instaladas na superfície externa do vidro. Essa diferença também foi verificada experimentalmente por Teixeira et al. (2021), que demonstraram que películas externas reduzem de forma mais eficiente a temperatura superficial dos vidros, enquanto películas instaladas internamente tendem a absorver parte da radiação incidente e reemitir calor para o ambiente interno. Resultados semelhantes foram obtidos por Khaled e Berardi (2023), que verificaram que

películas aplicadas externamente proporcionaram economias de energia significativamente superiores às observadas quando a instalação foi realizada na face interna do vidro.

Além da posição de instalação, os estudos mostram que o desempenho das películas depende das características construtivas da própria edificação. Pereira et al. (2022) observaram que os maiores benefícios tendem a ocorrer quando as películas são aplicadas sobre vidros simples, uma vez que esses sistemas apresentam maior potencial de redução dos ganhos solares. Em estudos realizados no contexto brasileiro, Andreis, Besen e Westphal (2014) e Zago, Meller e Westphal (2022) demonstram que fatores como orientação da fachada, área envidraçada e propriedades ópticas do sistema influenciam significativamente o desempenho térmico de superfícies transparentes. Embora esses estudos avaliem vidros de controle solar produzidos em fábrica, seus resultados reforçam que a eficácia de soluções destinadas ao controle da radiação solar depende da interação entre tecnologia, características construtivas e condições climáticas.

Parte dos estudos também amplia essa discussão ao investigar a integração das películas com outras estratégias de projeto. Prameswari e Pranowo (2025) verificaram que a combinação entre películas espectralmente seletivas e dispositivos de sombreamento externo proporcionou desempenho superior ao obtido por cada estratégia de forma isolada. Segundo os autores, enquanto os elementos de sombreamento interceptam parte da radiação antes que ela alcance o vidro, as películas reduzem a parcela remanescente por meio da filtragem seletiva da radiação infravermelha e ultravioleta, produzindo efeitos complementares sobre a carga térmica da edificação.

Os estudos analisados também mostram uma ampliação dos critérios utilizados para avaliar o desempenho das películas. Pereira et al. (2021), ao compararem películas de controle solar e substituição completa das janelas sob a perspectiva do ciclo de vida, observaram que, embora a substituição das esquadrias proporcione maior redução do consumo energético operacional, as películas apresentam menor energia incorporada, menor custo de investimento e períodos de retorno mais curtos, resultando em desempenho ambiental mais favorável quando considerada toda a vida útil da intervenção. Essa abordagem amplia a avaliação da tecnologia ao incorporar simultaneamente aspectos energéticos, econômicos e ambientais.

Observa-se, por fim, que parte dos estudos mais recentes passou a investigar materiais capazes de adaptar seu comportamento às condições ambientais. Khaled e Berardi (2023) avaliaram películas fotocrômicas flexíveis que modificam automaticamente sua transmitância em resposta à intensidade da radiação ultravioleta, reduzindo a demanda por resfriamento sem necessidade de sistemas ativos de controle. Embora os autores apontem limitações relacionadas ao desempenho luminoso em determinadas configurações de fachada, os resultados indicam um avanço em relação às películas convencionais de propriedades fixas, aproximando essa tecnologia de soluções capazes de responder dinamicamente às condições climáticas.

De modo geral, os estudos analisados mostram que as películas de controle solar constituem uma alternativa de retrofit para reduzir os ganhos solares e melhorar o desempenho energético de edificações localizadas em climas quentes e tropicais. As evidências reunidas indicam, entretanto, que os resultados dependem da interação entre as características da tecnologia, as condições climáticas, a configuração da fachada e as estratégias complementares adotadas para o controle da radiação solar. Observa-se, ainda, que parte dos estudos mais recentes amplia o escopo dessas avaliações, incorporando simultaneamente critérios energéticos, econômicos, ambientais e tecnológicos na análise do desempenho das películas.

3.4 Proteção ultravioleta e qualidade do ambiente interno

Os estudos reunidos neste eixo investigam uma dimensão do desempenho das películas para vidros que extrapola a eficiência energética. Em vez de concentrarem sua atenção sobre o comportamento térmico das edificações, esses trabalhos analisam a capacidade das películas de atuar como barreiras à transmissão da radiação ultravioleta (UV), ampliando o conjunto de benefícios associados a essa tecnologia. Nessa perspectiva, a proteção contra a radiação UV passa a ser discutida não apenas como um atributo óptico das películas, mas como um mecanismo capaz de contribuir para a qualidade do ambiente interno, tanto pela redução da exposição dos ocupantes quanto pela preservação de materiais sensíveis à radiação solar.

Os estudos analisados mostram que a aplicação de películas aumenta significativamente a capacidade de bloqueio da radiação ultravioleta quando comparada aos sistemas convencionais de envidraçamento. Duarte et al. (2009), ao avaliarem diferentes tipos de vidros empregados em edificações e veículos, verificaram que uma película comercial aplicada sobre vidro temperado eliminou praticamente toda a transmissão de radiação UVA, enquanto vidros sem tratamento apresentaram níveis substancialmente superiores de transmissão. Os autores destacam que a proteção oferecida varia de acordo com as características do sistema envidraçado, evidenciando que películas e vidros atuam de forma complementar no controle da radiação ultravioleta.

Essa interação entre película e vidro também é explorada por Kim e Kim (2010). Ao comparar diferentes combinações de sistemas envidraçados, os autores verificaram que a adição de películas de proteção UV promove um aumento expressivo na eficiência de bloqueio da radiação ultravioleta, aproximando o desempenho de soluções mais complexas de envidraçamento. O estudo mostra, entretanto, que os ganhos obtidos não crescem de forma linear: à medida que novas camadas de proteção são adicionadas ao sistema, os incrementos tornam-se progressivamente menores, indicando retornos marginais decrescentes. Esses resultados sugerem que a eficácia das películas deve ser analisada em conjunto com as características do vidro existente, e não apenas como uma propriedade isolada do filme aplicado.

Além da capacidade de bloquear a radiação ultravioleta, parte dos estudos investigou se essa redução da transmitância produz efeitos biológicos mensuráveis. Bernstein et al. (2006), utilizando um modelo experimental baseado na exposição de fibroblastos humanos à radiação UVA, observaram que a aplicação de películas reduziu significativamente os danos celulares em comparação ao vidro sem tratamento. Diferentemente dos estudos que avaliam apenas propriedades ópticas, esse trabalho estabelece uma relação entre o bloqueio da radiação e a redução dos efeitos biológicos da exposição, fornecendo evidências de que a proteção conferida pelas películas pode produzir benefícios que vão além da simples alteração da transmitância do vidro.

Parte da literatura também amplia essa discussão ao situar esses resultados no contexto da fotoproteção em ambientes construídos. Almutawa et al. (2013), em uma revisão sobre proteção contra radiação ultravioleta, mostram que diferentes tipos de vidro apresentam capacidades bastante distintas de bloqueio da radiação UVA e argumentam que as películas constituem um componente complementar dessa proteção. Os autores ressaltam que a exposição dos ocupantes depende do conjunto do sistema envidraçado, incluindo o tipo de vidro, as películas e outros elementos de proteção, e não apenas de um único componente construtivo. Essa perspectiva amplia a compreensão do papel das películas, inserindo-as em uma estratégia mais abrangente de controle da exposição à radiação solar.

Além dos efeitos sobre a saúde dos ocupantes, os estudos analisados associam o bloqueio da radiação ultravioleta à preservação de materiais expostos continuamente à luz

solar. A redução da incidência de radiação UV limita processos de degradação fotoquímica responsáveis pelo desbotamento de pigmentos, tecidos, revestimentos, mobiliário e outros materiais sensíveis, contribuindo para ampliar sua vida útil. Embora esse benefício seja frequentemente discutido em conjunto com a proteção dos ocupantes, ele representa uma aplicação distinta da tecnologia, especialmente em ambientes onde a preservação de bens constitui requisito relevante de desempenho, como museus, bibliotecas, arquivos, hospitais, escolas e outros espaços com acervos ou materiais suscetíveis à degradação causada pela radiação solar.

De modo geral, os estudos analisados indicam que a proteção contra a radiação ultravioleta representa uma dimensão complementar do desempenho das películas para vidros, distinta dos benefícios relacionados à eficiência energética. As evidências reunidas mostram que o bloqueio da radiação UV contribui tanto para reduzir a exposição dos ocupantes quanto para preservar materiais sensíveis à fotodegradação, ampliando o conjunto de aplicações dessa tecnologia. Observa-se, por fim, que parte dos estudos mais recentes passou a concentrar-se não apenas na eficiência do bloqueio da radiação ultravioleta, mas também nas implicações desse mecanismo para a qualidade do ambiente interno, incorporando simultaneamente aspectos relacionados à saúde humana e à conservação dos ambientes construídos.

3.5 Benefícios ambientais adicionais

Os estudos reunidos neste eixo investigam aplicações das películas para vidros que extrapolam o desempenho da própria edificação, concentrando-se na mitigação das colisões de aves com superfícies envidraçadas. Diferentemente dos benefícios discutidos nos eixos anteriores, relacionados à eficiência energética e à qualidade do ambiente interno, esses trabalhos analisam o papel das películas como uma estratégia de conservação da biodiversidade em ambientes urbanos. Em conjunto, os estudos mostram que a eficácia dessas tecnologias depende não apenas das características ópticas das películas, mas também de fatores relacionados ao tipo de sinal visual empregado, à posição de instalação e ao contexto em que são aplicadas.

As colisões entre aves e superfícies envidraçadas constituem uma importante causa de mortalidade da avifauna em áreas urbanas. Segundo Klem Jr. (2009), esse problema decorre principalmente da transparência e da refletividade do vidro, que dificultam sua percepção pelas aves durante o voo. Em uma série de experimentos de campo e em aviário, o autor demonstrou que diferentes tratamentos visuais apresentam desempenhos bastante distintos na prevenção de colisões. Enquanto alguns padrões UV e vidros fritados reduziram os impactos em até 95%, determinados filmes comerciais apresentaram eficácia limitada, evidenciando que a simples presença de uma película não garante proteção efetiva. O estudo também chama atenção para um aspecto metodológico importante: levantamentos baseados apenas na contagem de carcaças podem subestimar significativamente a frequência real de colisões, reforçando a necessidade de métodos de monitoramento mais robustos.

Os estudos mais recentes procuram validar essas evidências em condições reais de campo. Zyśk-Gorczyńska e Żmihorski (2022), em um experimento conduzido durante três anos com abrigos de ônibus na Polônia, verificaram que a aplicação de uma película refletiva de radiação ultravioleta reduziu em aproximadamente 5,7 vezes a ocorrência de colisões em comparação aos vidros sem tratamento. Segundo os autores, esse foi um dos primeiros estudos a confirmar, em condições naturais e com aves em livre voo, resultados anteriormente observados em experimentos controlados.

Além de confirmar a eficácia das películas em condições reais, parte dos estudos passou a investigar os fatores que condicionam esse desempenho. Swaddle et al. (2023) demonstraram que a posição de instalação constitui um aspecto decisivo para a efetividade da tecnologia. Em experimentos realizados com vidro duplo, tanto películas refletivas em UV quanto padrões visíveis aumentaram significativamente o comportamento de evitação apenas quando aplicados na superfície externa do vidro. Quando instalados na face interna, prática frequentemente adotada por razões de custo e facilidade de instalação, os tratamentos deixaram de apresentar efeito estatisticamente significativo na redução das colisões. Os autores atribuem esse resultado à atenuação do sinal visual provocada pela camada externa do vidro, que reduz a percepção do tratamento pelas aves.

A eficácia dos tratamentos também foi investigada em edificações em uso. De Groot et al. (2022), em um monitoramento realizado durante quatro anos em edifícios localizados em uma área protegida no Canadá, observaram que marcadores adesivos aplicados em retrofit reduziram em aproximadamente 95% o risco de colisão de aves. O estudo mostrou ainda que a distribuição das colisões não ocorre de forma homogênea entre as fachadas, indicando que características da implantação, da vegetação do entorno e da configuração arquitetônica influenciam o risco associado a cada superfície envidraçada. Esses resultados sugerem que estratégias de mitigação podem ser direcionadas prioritariamente às fachadas de maior risco, aumentando a eficiência das intervenções.

Essa ampliação da escala de análise também aparece em Ocampo-Peñuela et al. (2016). Ao investigarem padrões de colisão em um campus universitário, os autores verificaram que a frequência de impactos variava significativamente entre os edifícios, sendo influenciada por fatores como área envidraçada, cobertura vegetal e características do entorno. O estudo destaca ainda um aspecto pouco explorado na literatura: os resultados científicos foram utilizados para orientar intervenções efetivas no edifício com maior número de colisões, constituindo um exemplo de utilização direta da pesquisa como suporte ao planejamento e à gestão do ambiente construído.

No contexto latino-americano, Vilanova, Matelli e Balestieri (2022) destacam que os estudos disponíveis para o Brasil indicam diferenças importantes em relação ao padrão observado no hemisfério norte, especialmente quanto à menor influência da sazonalidade e à maior participação de espécies residentes entre as vítimas de colisões. A partir dessa análise, os autores defendem que a prevenção de colisões de aves seja incorporada às estratégias de sustentabilidade das edificações e ao planejamento urbano, argumentando que a produção de evidências em contextos tropicais é essencial para orientar intervenções mais adequadas à realidade brasileira.

De modo geral, os estudos analisados mostram que as películas para vidros podem contribuir para a mitigação das colisões de aves quando especificadas e instaladas de forma adequada. A eficácia dessas tecnologias depende, entretanto, do tipo de tratamento empregado, da posição de instalação, das características arquitetônicas da edificação e do contexto ecológico em que são aplicadas. Em conjunto, os estudos deste eixo ampliam o escopo de aplicação das películas arquitetônicas, aproximando essa tecnologia da agenda de conservação da biodiversidade e do planejamento urbano sustentável.

A análise dos estudos reunidos nesta revisão permite identificar que a pesquisa internacional sobre películas para vidros em edificações se consolidou como uma agenda própria de investigação, caracterizada pela ampliação progressiva dos temas abordados e pelo aumento da complexidade das avaliações realizadas. Embora os primeiros estudos tenham concentrado sua atenção na redução das perdas de calor e do consumo energético em edificações, os trabalhos mais recentes passaram a incorporar outras dimensões de

desempenho, incluindo iluminação natural, conforto visual, qualidade do ambiente interno, avaliação do ciclo de vida e conservação da biodiversidade.

Essa ampliação do escopo é acompanhada por uma mudança na forma como o desempenho das películas vem sendo avaliado. Os estudos analisados deixam de considerar indicadores isolados e passam a integrar simultaneamente aspectos energéticos, ambientais, econômicos e operacionais, reconhecendo que os resultados dependem da interação entre as propriedades da tecnologia, as características construtivas das edificações e as condições climáticas em que são aplicadas. Como consequência, o desempenho das películas passa a ser compreendido de forma contextual, afastando-se da busca por soluções universalmente superiores e aproximando-se de abordagens orientadas à especificação da tecnologia conforme cada situação de uso.

Outro aspecto observado refere-se à própria evolução das tecnologias investigadas. Enquanto parte dos estudos se concentra na avaliação de películas de propriedades fixas, pesquisas mais recentes passam a explorar materiais espectralmente seletivos, películas fotocrômicas e soluções capazes de responder dinamicamente às condições ambientais. Paralelamente, observa-se a ampliação das aplicações atribuídas a essas tecnologias, que deixam de ser discutidas apenas como estratégias de eficiência energética e passam a abranger também aspectos relacionados à proteção contra radiação ultravioleta, à preservação de materiais e à mitigação de colisões de aves em ambientes urbanos.

Em conjunto, os estudos analisados mostram que a agenda internacional de pesquisa sobre películas para vidros evoluiu de investigações centradas no desempenho térmico para abordagens multicritério, nas quais eficiência energética, conforto ambiental, sustentabilidade e qualidade do ambiente construído são analisados de forma integrada. Essa evolução fornece um referencial importante para interpretar o estágio atual da pesquisa brasileira e discutir como essa agenda vem sendo incorporada — ou não — ao contexto nacional.

4. Discussão dos resultados

Os estudos analisados nesta revisão mostram que as películas para vidros passaram a ser investigadas sob perspectivas progressivamente mais amplas ao longo das últimas décadas. Enquanto parte dos trabalhos iniciais concentrou-se predominantemente na redução das perdas térmicas e do consumo energético das edificações, estudos posteriores incorporaram aspectos relacionados à iluminação natural, ao conforto visual, à qualidade do ambiente interno, à avaliação do ciclo de vida e à conservação da biodiversidade. Considerados em conjunto, esses resultados sugerem que o interesse por essa tecnologia deixou de restringir-se ao desempenho energético das edificações e passou a abranger diferentes dimensões do desempenho e da sustentabilidade do ambiente construído.

Essa ampliação também pode ser observada na forma como o desempenho das películas vem sendo avaliado. Nos estudos analisados, a investigação deixa de considerar indicadores isolados e passa a integrar simultaneamente aspectos energéticos, ambientais, econômicos e operacionais. Em vez de buscar identificar uma solução universalmente superior, parte das pesquisas procura compreender como fatores como clima, orientação da fachada, características do sistema envidraçado e forma de aplicação condicionam o desempenho das diferentes tecnologias. Dessa forma, a discussão desloca-se da comparação entre produtos para a compreensão das condições em que cada solução apresenta melhor desempenho.

Quando esse conjunto de evidências é comparado aos estudos brasileiros incluídos nesta revisão, observa-se um direcionamento distinto dos objetos de investigação. Os trabalhos nacionais identificados concentram-se predominantemente em temas relacionados

ao desempenho da envoltória das edificações, incluindo sistemas de fachadas, dispositivos de sombreamento, materiais transparentes, vidros de controle solar e estratégias passivas de eficiência energética (Andreis, Besen e Westphal, 2014; Costa e Amorim, 2021; Cristino et al., 2020; Varjal e Melo, 2024; Brauwers e Alzolch, 2025; Zago, Meller e Westphal, 2022). Esses estudos mostram que existe produção científica nacional voltada ao desempenho energético das edificações, embora direcionada a tecnologias distintas daquelas que constituem o foco predominante dos estudos internacionais analisados nesta revisão.

Essa diferença também foi observada durante o processo de construção do corpus bibliográfico. Ao longo do levantamento da literatura foram empregadas diferentes estratégias de busca, utilizando combinações variadas de descritores em português e inglês especificamente direcionadas à identificação de estudos sobre películas arquitetônicas aplicadas em retrofit no contexto brasileiro. Considerando o conjunto de trabalhos recuperados por essas estratégias, não foram identificados estudos que investigassem diretamente essa tecnologia. Esse resultado deve ser interpretado à luz das estratégias metodológicas adotadas nesta revisão e, portanto, não permite afirmar a inexistência de pesquisas nacionais sobre o tema. Ainda assim, os estudos identificados sugerem que películas arquitetônicas retrofit ocupam espaço reduzido entre os trabalhos brasileiros recuperados nesta pesquisa.

Esse contraste merece ser interpretado com cautela. Os resultados desta revisão não indicam que a produção científica brasileira atribua menor importância à eficiência energética das edificações, nem permitem concluir que exista uma lacuna generalizada na pesquisa nacional sobre o tema. Pelo contrário, os estudos analisados evidenciam diferentes linhas de investigação dedicadas ao desempenho térmico das edificações e à melhoria da eficiência energética da envoltória. O contraste observado refere-se especificamente ao conjunto de estudos identificado nesta revisão, no qual películas arquitetônicas retrofit aparecem de forma significativamente menos frequente do que nos estudos internacionais analisados.

Nesse sentido, uma possível interpretação dos resultados é que os estudos nacionais e internacionais incluídos nesta revisão seguiram trajetórias distintas de investigação para responder a desafios semelhantes relacionados ao desempenho das edificações. Enquanto os trabalhos internacionais analisam películas arquitetônicas como objeto central de estudo, os estudos brasileiros identificados direcionam sua atenção para outras estratégias de intervenção sobre a envoltória. Essa diferença não representa, necessariamente, uma oposição entre as duas produções científicas, mas evidencia enfoques distintos para abordar questões relacionadas à eficiência energética, ao conforto ambiental e à sustentabilidade das edificações.

Essa interpretação deve ser considerada juntamente com as limitações da presente revisão. Como em qualquer estudo dessa natureza, os resultados dependem das estratégias de busca empregadas, das bases de dados consultadas, dos critérios de inclusão e exclusão adotados e do corpus bibliográfico selecionado para análise. Assim, as interpretações apresentadas referem-se exclusivamente aos estudos incluídos nesta revisão e não devem ser entendidas como uma caracterização exaustiva da produção científica internacional ou brasileira sobre películas para vidros em edificações.

5. Conclusão

Este estudo analisou evidências científicas internacionais sobre películas para vidros em edificações, buscando compreender como esse conhecimento pode contribuir para o fortalecimento da pesquisa sobre essa tecnologia no Brasil. A análise dos estudos mostrou que películas arquitetônicas vêm sendo investigadas em diferentes contextos climáticos e

aplicações, abordando dimensões que incluem eficiência energética, conforto ambiental, qualidade do ambiente interno e sustentabilidade. Dessa forma, a revisão permitiu responder à pergunta de pesquisa ao reunir e discutir evidências que demonstram a diversidade de funções atualmente atribuídas a essa tecnologia e sua evolução ao longo do tempo.

Entre os principais achados, observou-se que as películas para vidros deixaram de ser investigadas apenas como uma estratégia para redução do consumo energético e passaram a ser avaliadas sob uma perspectiva progressivamente mais integrada. Os estudos analisados mostram que o desempenho dessas tecnologias depende da interação entre fatores climáticos, características construtivas das edificações, propriedades ópticas dos materiais e forma de aplicação, evidenciando que sua especificação deve considerar o contexto em que serão utilizadas. Além disso, verificou-se que as aplicações discutidas na literatura internacional foram gradualmente ampliadas, incorporando temas relacionados ao conforto visual, à proteção contra radiação ultravioleta, à preservação de materiais, à avaliação do ciclo de vida e à mitigação de impactos sobre a biodiversidade urbana.

No conjunto de estudos brasileiros identificados nesta revisão, observou-se uma produção científica voltada ao desempenho energético das edificações, porém concentrada predominantemente em temas relacionados à envoltória, aos sistemas de fachadas, aos vidros de controle solar, aos dispositivos de sombreamento e a outras estratégias passivas de eficiência energética. Assim, a principal contribuição deste artigo consiste em aproximar as produções científicas, reunindo evidências internacionais sobre películas arquitetônicas e discutindo sua possível inserção no contexto da pesquisa brasileira sobre eficiência energética em edificações.

Como toda revisão de literatura, este estudo apresenta limitações relacionadas ao corpus bibliográfico selecionado, às bases de dados consultadas, aos idiomas considerados e às estratégias de busca adotadas. Assim, as interpretações apresentadas referem-se aos estudos incluídos nesta revisão e não devem ser entendidas como uma caracterização exaustiva da produção científica sobre películas para vidros em edificações. Ainda assim, os resultados obtidos permitem identificar oportunidades para futuras pesquisas, especialmente estudos experimentais conduzidos em diferentes zonas bioclimáticas brasileiras, avaliações de desempenho em edificações submetidas a retrofit, análises de ciclo de vida e de retorno econômico, bem como investigações que integrem simultaneamente aspectos energéticos, ambientais, econômicos e de conforto ambiental. O desenvolvimento de estudos nessa direção poderá contribuir para ampliar o conhecimento disponível sobre essa tecnologia e subsidiar sua aplicação em edificações brasileiras.

6. Referências

Almutawa, F., Vandal, R., Wang, S. Q., & Lim, H. W. (2013). Current status of photoprotection by window glass, automobile glass, window films, and sunglasses. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine, 29*(2), 65–72. https://doi.org/10.1111/phpp.12022

Alzarooni, M., Olabi, A. G., Mahmoud, M., Alzubaidi, S., & Abdelkareem, M. A. (2023). Study on improving the energy efficiency of a building: Utilization of daylight through solar film sheets. *Energies, 16*(21), 7370. https://doi.org/10.3390/en16217370

Amirkhani, S., Bahadori-Jahromi, A., Mylona, A., Godfrey, P., & Cook, D. (2019). Impact of low-E window films on energy consumption and CO_2 emissions of an existing UK hotel building. *Sustainability, 11*(16), 4265. https://doi.org/10.3390/su11164265

Andreis, C., Besen, P., & Westphal, F. S. (2014). Desempenho energético de fachadas envidraçadas em climas brasileiros. *Anais do Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. https://doi.org/10.17012/entac2014.628

Bernstein, E. F., Schwartz, M., Viehmeyer, R., Arocena, M. S., Sambuco, C. P., & Ksenzenko, S. M. (2006). Measurement of protection afforded by ultraviolet-absorbing window film using an in vitro model of photodamage. *Lasers in Surgery and Medicine, 38*(4), 337–342. https://doi.org/10.1002/lsm.20329

Brauwers, L. P., & Alzolch, R. (2025). O impacto dos brise-soleils na incidência solar e no consumo energético de uma edificação universitária. *Anais do XVIII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído*. https://doi.org/10.46421/encacelacac.v18i1.7144

Cabeza, L. F., Bai, Q., Bertoldi, P., Kihila, J. M., Lucena, A. F. P., Mata, É., Mirasgedis, S., Novikova, A., & Saheb, Y. (2022). Buildings. In P. R. Shukla et al. (Eds.), *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157926.011

Chen, X., Zhu, S., & Chen, T. (2022). Thermal parameters calibration and energy-saving evaluation of spectral selective absorption film coated glazing system based on heat transfer simulation. *Energies, 15*(8), 2780. https://doi.org/10.3390/en15082780

Costa, J. F. W., & Amorim, C. N. D. (2021). *Transparent and translucent materials on facades and their performance in natural lighting: An overview of the international context and applicability in Brazil*. Figshare. https://doi.org/10.6084/m9.figshare.21076204

Cristino, T. M., Lotufo, F. A., Delinchant, B., Wurtz, F., Faria Neto, A., & Gama, P. H. R. P. (2020). A comprehensive review of obstacles and drivers to building energy-saving technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 131*, 110191. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110191

De Groot, K. L., Wilson, A. G., McKibbin, R., Hudson, S. A., Dohms, K. M., Norris, A. R., Huang, A. C., Whitehorne, I. B. J., Fort, K. T., Roy, C., Bourque, J., & Wilson, S. (2022). Bird protection treatments reduce bird-window collision risk at low-rise buildings within a Pacific coastal protected area. *PeerJ, 10*, e13142. https://doi.org/10.7717/peerj.13142

Duan, Q., Zhao, Y., & Wang, J. (2020). Thermal performance and condensation risk of single-pane glazing with low emissivity coatings. *MRS Advances, 5*(50), 2555–2564. https://doi.org/10.1557/adv.2020.160

Duarte, I., Rotter, A., Malvestiti, A., & Silva, M. (2009). The role of glass as a barrier against the transmission of ultraviolet radiation: An experimental study. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine, 25*(4), 181–184. https://doi.org/10.1111/j.1600-0781.2009.00434.x

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: An analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal, 26*(2), 91–108. https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x

Hui, S. C. M., & Kwok, M. K. (2006). *Study of thin films to enhance window performance in buildings*. Sichuan-Hong Kong Joint Symposium 2006, Chengdu, China.

International Energy Agency. (2023). *Tracking clean energy progress 2023*. IEA. Tracking Clean Energy Progress 2023

Khaled, K., & Berardi, U. (2023). A cross-climate assessment of the visual and energy performance of flexible photochromic films for in-situ window retrofits. *Energy and Buildings, 300*, 113664. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113664

Kim, G., & Kim, J. T. (2010). UV-ray filtering capability of transparent glazing materials for built environments. *Indoor and Built Environment, 19*(1), 94–101. https://doi.org/10.1177/1420326X09358020

Klem, D., Jr. (2009). Preventing bird–window collisions. *The Wilson Journal of Ornithology*. https://doi.org/10.1676/08-118.1

Maduru, V. R., & Shaik, S. (2022). Laminated glazing for buildings: Energy saving, natural daylighting, and CO_2 emission mitigation prospective. *Environmental Science and Pollution Research, 29*(10), 14299–14315. https://doi.org/10.1007/s11356-021-16565-9

Moghaddam, S. A., Mattsson, M., Ameen, A., Akander, J., Gameiro Da Silva, M., & Simões, N. (2021). Low-emissivity window films as an energy retrofit option for a historical stone building in cold climate. *Energies, 14*(22), 7584. https://doi.org/10.3390/en14227584

Moretti, E., & Belloni, E. (2015). Evaluation of energy, thermal, and daylighting performance of solar control films for a case study in moderate climate. *Building and Environment, 94*, 183–195. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.07.031

Ocampo-Peñuela, N., Winton, R. S., Wu, C. J., Zambello, E., Wittig, T. W., & Cagle, N. L. (2016). Patterns of bird-window collisions inform mitigation on a university campus. *PeerJ, 4*, e1652. https://doi.org/10.7717/peerj.1652

Pereira, J., Gomes, M. G., Rodrigues, A. M., Teixeira, H., & Almeida, M. (2020). Small-scale field study of window films' impact on daylight availability under clear sky conditions. *Journal of Facade Design and Engineering, 8*(1), 65–84. https://doi.org/10.7480/jfde.2020.1.4785

Pereira, J., Rivero, C. C., Gomes, M. G., Rodrigues, A. M., & Marrero, M. (2021). Energy, environmental and economic analysis of windows' retrofit with solar control films: A case study in Mediterranean climate. *Energy, 233*, 121083. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121083

Pereira, J., Teixeira, H., Gomes, M. G., & Rodrigues, A. M. (2022). Performance of solar control films on building glazing: A literature review. *Applied Sciences, 12*(12), 5923. https://doi.org/10.3390/app12125923

Prameswari, S., & Pranowo, G. (2025). Synergistic impact of external shading and solar control films on thermal comfort and natural lighting in high-rise office buildings in Jakarta. *Studies in Art and Architecture, 4*(2), 11–18. https://doi.org/10.56397/saa.2025.04.02

Swaddle, J. P., Brewster, B., Schuyler, M., & Su, A. (2023). Window films increase avoidance of collisions by birds but only when applied to external compared with internal surfaces of windows. *PeerJ, 11*, e14676. https://doi.org/10.7717/peerj.14676

Teixeira, H., Gomes, M. G., Rodrigues, A. M., & Pereira, J. (2021). In-service thermal and luminous performance monitoring of a refurbished building with solar control films on the glazing system. *Energies, 14*(5), 1388. https://doi.org/10.3390/en14051388

United Nations Environment Programme, & Global Alliance for Buildings and Construction. (2023). *2023 global status report for buildings and construction: Beyond foundations*. United Nations Environment Programme. 2023 Global Status Report for Buildings and Construction

Ürge-Vorsatz, D., Cabeza, L. F., Serrano, S., Barreneche, C., & Petrichenko, K. (2015). Heating and cooling energy trends and drivers in buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41*, 85–98. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.039

Varjal, M. B., & Melo, A. B. de. (2024). Desempenho térmico de HIS: Estudo comparativo com composições de materiais da envoltória. *Anais do XX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, 1–18. https://doi.org/10.46421/entac.v20i1.6058

Vilanova, M. R. N., Matelli, J. A., Balestieri, J. A. P., & Soares, P. V. (2022). Conservación de la fauna urbana: El problema de las colisiones de aves en vidrio. *Revista Latino-Americana de Ambiente Construído & Sustentabilidade, 3*(11). https://doi.org/10.17271/rlass.v3i11.3387

Wang, J., Li, Z., Zhou, T., Deng, W., Liang, R., Lun, I. Y.-F., Li, Y., & Bao, R. (2024). Global assessment of radiative cooling and low-emissivity coatings for energy efficiency in buildings across all climate zones. *Energy and Buildings, 317*, 114402. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114402

Winckler, L. (2012). *Low-emissivity, energy-control, retrofit window film: Final report*. U.S. Department of Energy. https://doi.org/10.2172/1089147

Zago, A. C., Meller, B. J., & Westphal, F. S. (2022). Influência da absorção de vidros de controle solar no consumo de energia para climatização de um edifício de escritórios. *Anais do XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. https://doi.org/10.46421/entac.v19i1.2140

Zhu, J., Zhu, P., Sun, H., et al. (2025). Dynamically adaptive wrinkle-structured light-regulating films for energy-efficient buildings. *Advanced Functional Materials*. https://doi.org/10.1002/adfm.202510262

Zyśk-Gorczyńska, E., & Żmihorski, M. (2022). Ultraviolet film reduces bird–glass collision risk. *Ornis Fennica*. https://doi.org/10.51812/of.115995