

**INOVAÇÃO NA ARQUITETURA: O POTENCIAL DO VIDRO TERMOCRÔMICO
E SUAS ESPECIFICIDADES NAS FACHADAS ENVIDRAÇADAS**
*INNOVATION IN ARCHITECTURE: THE POTENTIAL OF THERMOCHROMIC GLASS
AND ITS SPECIFICITIES IN GLAZED FACADES*

*Hilma de Oliveira Santos Ferreira*¹
Universidade Federal de Pernambuco

*Maria Izabel Rego Cabral*²
Universidade Federal de Pernambuco

Resumo

Nos últimos anos, a arquitetura tem experimentado avanços significativos com a integração de novas tecnologias para melhorar o desempenho térmico e eficiência energética dos edifícios. Uma das inovações mais promissoras nesse campo é o uso do vidro com filme termocrômico como uma solução versátil para controle solar e lumínico em edifícios envidraçados. O objetivo principal deste trabalho é analisar como o uso dos vidros dinâmicos que mudam de cor devido à mudança de temperatura podem aprimorar o uso de energia e o conforto térmico em edificações, especialmente em projetos com fachadas envidraçadas. Portanto, o artigo oferece um processo metodológico qualitativo, descritivo e de natureza teórica sistemática em literatura recente e tecnologias que tornam as fachadas mais sustentáveis no controle de calor e luz, avaliando os benefícios tanto para a eficiência quanto para o conforto dos usuários. Além disso, o texto propõe inovações para integrar essa tecnologia em projetos atuais, contribuindo para o avanço das práticas arquitetônicas e criando soluções funcionais que estabeleçam normas para o futuro da sustentabilidade na construção civil.

Palavras-chave: arquitetura e fachadas; vidro dinâmico; película térmica.

Abstract

In recent years, architecture has seen significant advancements through the integration of new technologies aimed at enhancing buildings' thermal performance and energy efficiency. One of the most promising innovations in this area is the use of thermochromic glass, a versatile solution for solar and light control in glass-clad buildings. This study primarily seeks to analyze how dynamic glass, which changes color in response to temperature variations, can improve energy use and thermal comfort in buildings, particularly those with glazed facades. Thus, the article presents a qualitative, descriptive, and theoretically systematic methodological approach, focusing on recent literature and technologies that enhance facade sustainability in heat and light control, assessing benefits for both efficiency and user comfort. Additionally, it proposes innovations to integrate this technology into contemporary designs, contributing to the advancement of architectural practices and creating functional solutions that set standards for the future of sustainability in construction.

Keywords: architecture and facades; dynamic glass; thermal film.

¹ Arquitetura e Design; Doutoranda; Universidade Federal de Pernambuco; hilma.santos@ufpe.br

² Design; Doutora; Universidade Federal de Pernambuco; belrcabral@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A arquitetura contemporânea busca constantemente soluções inovadoras que aliem estética, funcionalidade e sustentabilidade. Entre os avanços mais promissores, destacam-se os materiais inteligentes, como o filme termocrômico, que têm potencial para transformar o desempenho das edificações. Aplicado em fachadas envidraçadas, este elemento responde à variação de temperatura, alterando sua transparência e reduzindo a incidência de calor, sem comprometer a luminosidade natural, e ajusta suas propriedades ópticas de acordo com as condições ambientais.

Além de melhorar a eficiência energética³, essa tecnologia pode oferecer vantagens estéticas e de conforto térmico⁴, contribuindo para o desenvolvimento de construções mais eficientes e sustentáveis. Dada a crescente preocupação com o consumo energético nas edificações, o estudo do uso de filmes termocrômicos em envoltórias de vidro ganha relevância, oferecendo uma alternativa promissora para equilibrar eficiência e design.

De acordo com Ferreira *et al* (2023), o filme termocrômico apresenta uma solução viável para a redução do consumo energético em edificações, proporcionando controle passivo da temperatura interna. Isso não apenas possibilita um ambiente mais confortável para os ocupantes, minimizando o brilho excessivo e o superaquecimento, mas também contribui para a redução do consumo de energia, diminuindo a necessidade de ar-condicionado, conforme aponta Dias (2021, p. 8).

Por outro lado, em condições de baixa luminosidade ou dias nublados, o vidro com aplicação da película Termocromia pode permanecer claro, permitindo a máxima entrada de luz natural. Isso não só promove uma sensação de espaço aberto e conectado com o ambiente exterior, mas também pode reduzir a necessidade de iluminação artificial durante o dia, economizando energia e promovendo um ambiente mais sustentável (Ferreira *et al.*, 2024).

Como todo avanço tecnológico, o uso do vidro com filme termocromático em projetos arquitetônicos requer pesquisa cuidadosa, planejamento detalhado e consideração das necessidades específicas do edifício e de seus usuários. Segundo Cardoso (2019), seu potencial para transformar edifícios envidraçados em estruturas mais eficientes e confortáveis faz dele uma opção factível para arquitetos, designers e desenvolvedores interessados em criar espaços que não apenas respondam às demandas contemporâneas, mas também abracem o futuro sustentável da construção urbana.

Este artigo, portanto, propõe um processo metodológico para desenvolver formas de coleta em base de dados recentes e aplicar tecnologias que tornam as fachadas mais sustentáveis no controle de calor e iluminação natural, avaliando os benefícios tanto para a eficiência energética quanto para o conforto térmico dos ocupantes. Além disso, o texto sugere inovações para a integração dessa tecnologia em projetos contemporâneos, contribuindo para o avanço das práticas arquitetônicas e desenvolvendo soluções funcionais que possam estabelecer padrões para o futuro da sustentabilidade na construção civil.

Em resumo, o uso do vidro termocrômico em invólucros⁵ representa não apenas um avanço técnico, mas também uma oportunidade significativa para repensar a interação entre a arquitetura e o ambiente. Por outro lado, a aplicabilidade do material oferece a possibilidade de adaptar os espaços à variação das condições climáticas, promovendo um uso mais racional e sustentável dos recursos naturais e estabelecendo novos parâmetros para edificações, abrindo caminho para um futuro onde design, tecnologia e sustentabilidade estejam cada vez mais integrados.

³ Refere ao uso de menos energia para realizar a mesma função ou obter o mesmo resultado, minimizando desperdícios e maximizando o aproveitamento dos recursos energéticos disponíveis. Isso pode ser alcançado por meio de tecnologias, práticas e comportamentos que otimizam o consumo de energia, com benefícios econômicos e ambientais.

⁴ Sensação de bem-estar em relação à temperatura de um ambiente. Fundamental em edifícios, residências, e locais de trabalho, pois influencia diretamente a produtividade, a saúde e o conforto geral dos ocupantes.

⁵ Tudo aquilo que envolve, cobre ou reveste. Revestimento para envolver uma edificação.

2 EVOLUÇÃO DA ARQUITETURA A PARTIR DAS FACHADAS

A incorporação de grandes áreas de vidro nas edificações, especialmente no início do século XXI, tem se tornado cada vez mais comum na arquitetura contemporânea. Essa prática envolve uma série de desafios funcionais, alterando a percepção do edifício e impactando a maneira como a luz solar interage com o espaço interno e externo. Segundo Cardoso (2019), essa nova abordagem transformou o conceito de construção e revolucionou as técnicas aplicadas em fachadas. Assim, a evolução das fachadas ao longo da história reflete mudanças nas tendências arquitetônicas, tecnológicas, culturais e sociais de diferentes períodos. As envoltórias desempenham um papel fundamental na identidade visual dos edifícios, criando uma primeira impressão marcante e comunicando tanto a estética quanto a função da estrutura.

Com o aumento do desconforto visual causado pelos contrastes de iluminação, surgiram novos conceitos de design, que incorporam fatores como as propriedades dos materiais utilizados para controlar as condições térmicas e luminosas, as técnicas de construção e a composição das superfícies exteriores. Nesse contexto, a evolução das edificações, acompanhada pela criatividade arquitetônica tem explorado diferentes composições de materiais nas fachadas, alinhando-se com as inovações e o espírito de cada época. Essa trajetória pode ser visualizada através de uma linha do tempo, que ilustra e sintetiza o desenvolvimento das técnicas e materiais aplicados nas construções ao longo dos anos (Quadro 1).

Quadro 1 – Expressão do desenvolvimento das fachadas dos edifícios de acordo com os materiais



Décadas de 1920 e 1930 - Estação Ferroviária de Goiânia



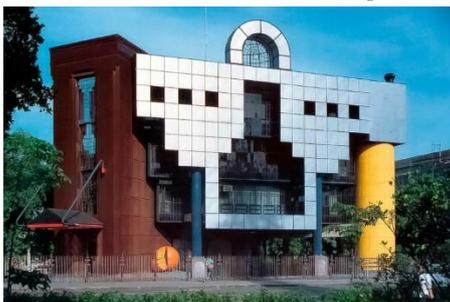
Décadas de 1920 e 1930 – Casa Modernista da Rua Santa Cruz



Década de 1950 – Edifício Copan



Décadas de 1960 e 1970



Década de 1990 – Museu de Mineralogia



Década de 2000 – Museu Oscar Niemeyer

Fonte: Editado pelas autoras, 2024.

Segundo Segawa (1999), a evolução da arquitetura no Brasil foi marcada por uma diversidade de estilos que refletem as transformações sociais, políticas e tecnológicas do país. Em especial, a análise dos edifícios multipavimentos e suas fachadas revela as influências de diferentes movimentos arquitetônicos e a adaptação desses conceitos às particularidades do contexto brasileiro. Entre as décadas de 1920 e 2020, as fachadas dos edifícios passaram por significativas transformações que acompanharam tanto as tendências internacionais quanto as demandas locais de urbanização e inovação.

Entre as décadas de 1920 e 1930, o estilo Art Déco chegou no Brasil, em especial nas grandes cidades como São Paulo e Rio de Janeiro. Como principais características, apresentava uma geometrização da ornamentação e uma ênfase nas linhas verticais, conferindo aos edifícios um aspecto monumental. Essas fachadas eram marcadas por detalhes decorativos simplificados, em oposição à ornamentação excessiva do ecletismo do final do século XIX, mas ainda mantinham um certo rigor estético com materiais nobres, como o uso de mármore e granito. Como exemplo, citam-se edificações da cidade de Goiânia, em Goiás, que possui um dos acervos mais significativos de Art Déco do país. Contemporâneo a este movimento, o Modernismo dava seus primeiros passos, impulsionado pela Semana de Arte Moderna de 1922, e com a construção da primeira obra neste estilo no país, a Casa Modernista de Gregori Warchavchik, em 1928.

A partir dos anos 1940 e, especialmente, nas décadas de 1950 e 1960, o estilo consolidou-se no Brasil, com forte influência da arquitetura racionalista de Le Corbusier e da Escola Carioca, liderada por arquitetos como Oscar Niemeyer e Lúcio Costa. A estética modernista valorizava a funcionalidade e a simplicidade das formas, resultando em fachadas mais limpas, com grandes vãos livres e uso extensivo de *brises-soleils* para controle solar, elemento importante nas fachadas dos edifícios em climas tropicais. Segundo Segawa (1999), os edifícios multipavimentos modernistas, especialmente no eixo Rio-São Paulo, passaram a privilegiar o uso do concreto armado, que permitiu novas possibilidades formais nas fachadas, como a criação de volumes mais leves e formas orgânicas. Exemplos notáveis dessa época incluem o Edifício Copan (1957) de Oscar Niemeyer, em São Paulo, cuja fachada ondulada é representativa da adaptação do modernismo ao contexto urbano, social e cultural brasileiro.

Nos anos 1960 e 1970, como já havia ocorrido com o Copan e outros edifícios, o Brutalismo fortaleceu-se enquanto estilo arquitetônico de edifícios multipavimentos, com sua ênfase na materialidade do concreto aparente e expressividade das estruturas. Para Segawa (1999), o brutalismo brasileiro destacou-se por sua adoção em edifícios institucionais e habitacionais, nos quais as fachadas consistiam em grandes volumes sólidos e uma estética que valorizava a honestidade dos materiais. As fachadas brutalistas são marcadas pela rigidez geométrica e pela exposição das estruturas de concreto, sem revestimentos, buscando uma linguagem arquitetônica austera. O edifício da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (1969), de autoria de João Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, em São Paulo, é um exemplo paradigmático do Brutalismo no Brasil, com suas formas geométricas robustas e ênfase na funcionalidade e honestidade construtiva do edifício. Além do Brutalismo, destaca-se, a partir da década de 1970, um aumento no uso de esquadrias de alumínio e vidro em fachadas, impulsionado pela criação da Associação Brasileira de Alumínio (ABAL) em 1970, que trouxe mais organização ao setor, destacando a versatilidade, durabilidade e baixo custo desses materiais em um país de clima predominantemente tropical (Reis, 2011).

Já nas décadas de 1980 e 1990, o Pós-modernismo introduziu uma nova complexidade formal nas fachadas dos edifícios multipavimentos. Esse movimento se caracteriza pelo resgate de elementos históricos e decorativos, em contraste com a austeridade modernista. De acordo com Segawa (1999), no Brasil, o pós-modernismo encontrou expressão principalmente em edifícios corporativos e residenciais de alto padrão, cujas fachadas passaram a incorporar cores mais vivas, materiais diversos (como mármore e pastilhas) e formas que misturavam referências históricas e contemporâneas. A multiplicidade de estilos e a busca por uma individualidade arquitetônica, muitas vezes com referências clássicas ou ecléticas, marcaram a diversidade das

fachadas desse período. Como exemplar paradigmático no Brasil, pode-se citar o Museu de Mineralogia (1992), de Éolo Maia e Sylvio de Podestá, localizado em Belo Horizonte, Minas Gerais. A composição ousada do edifício é composta por materiais diversos, desde chapas de aço das indústrias metalúrgicas até pedras como o quartzito, ardósia e pedra-sabão.

Na década de 2000, novas abordagens arquitetônicas foram incorporadas, com a introdução novas formas, possibilitadas pela inovação tecnológica dos materiais de construção. Materiais como vidro e alumínio continuaram a ser usados, em combinação a outros, resultando em composições que tinham como ênfase a individualidade dos projetos e a liberdade de expressão arquitetônica, o que resultou em edifícios com identidades visuais singulares. Como exemplo, cita-se o Museu Oscar Niemeyer (2002), de autoria do arquiteto, localizado em Curitiba, no Paraná.

Com o avanço do século XXI, a arquitetura passou por uma evolução significativa, caracterizada pela busca de uma integração mais harmoniosa entre funcionalidade e estética. Essa convergência resultou no emprego de formas desconstruídas e inovadoras, rompendo com a uniformidade das fachadas tradicionais e introduzindo novas possibilidades formais e plásticas (Figura 1). De acordo com Cardoso (2022), as fachadas dos edifícios contemporâneos frequentemente incorporam tecnologias voltadas à sustentabilidade, como sistemas de controle climático passivo, além do uso de materiais de alta eficiência energética. Essas soluções tecnológicas não apenas ampliam o papel das fachadas como elementos funcionais, mas também reforçam sua importância como componentes de expressão arquitetônica.

Figura 1 - O fenômeno da verticalização em Recife



Fonte: Ferreira, 2018.

De modo geral, a construção civil entrou na era da tecnologia de ponta. Novos materiais e sistemas reduzem a um novo cenário que passa a ser montado. Pode-se dizer que um dos itens que começa a ser percebido na leitura das edificações é o sistema de envidraçamento dos edifícios, onde, assume função de fechamento e ganha status de revestimento, passando a cobrir toda a fachada. Este sistema permite atender a uma série de exigências e requisitos tanto do ponto de vista estético como funcional, técnico e racional. Portanto a aplicabilidade desses materiais pelo que Cardoso (2022) define como fachadas cósmicas⁶, frequentemente com padrões lineares com elementos abstratos e simétricos.

Como cada projeto tem as suas especificidades, a predominância do sistema adequa-se ao clima local, dependente da latitude, vegetação, estação do ano e orientação da fachada. Sendo assim, com o avanço da tecnologia, os arquitetos criam soluções para melhoria da performance

⁶ Conceitos futuristas, inovadores, que utilizam formas e materiais modernos, como superfícies reflexivas, vidro e metais, criando uma sensação de "tecnologia avançada" ou estética espacial.

do ambiente interno, através de técnicas construtivas e escolha de materiais a favor do isolamento térmico.

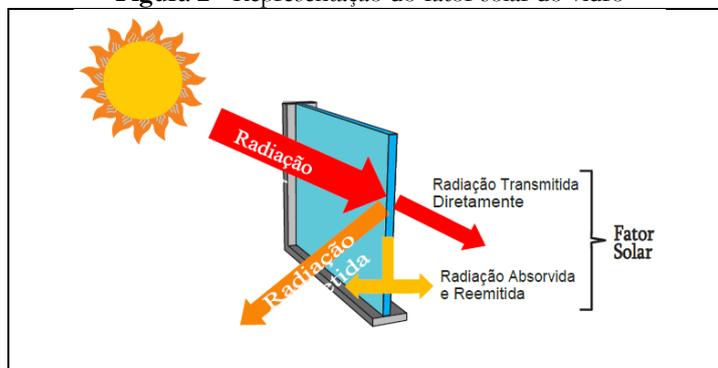
Para atender as edificações e exigências do mercado, os requisitos de estética, de funcionalidade e de eficiência são utilizados de modo que possam garantir e incluir a integração de tecnologias de economia de energia, como painéis solares, sistemas de sombreamento e isolamento térmico avançado. Por outro lado, em algumas regiões, a entrada de radiação solar é bem-vinda, reduzindo o consumo energético de aquecimento e ganho de calor para o interior da edificação, independente do conjunto de considerações dos elementos que compõem a envoltória.

2.1 Vidros de controle solar – elemento fundamental

Com o conceito de sustentabilidade e tecnologia, o vidro como revestimento externo se encaixa nos termos do que se considera ecológico e possui desempenho térmico, especialmente projetado para reduzir a entrada de calor e a intensidade da luz solar em edifícios. De acordo com Westphal (2016), o vidro de controle solar tem uma capacidade de reflexão mais alta em comparação com vidros comuns. Isso significa que reflete uma penalidade maior da luz solar incidente, atendendo a quantidade de luz que entra nos ambientes internos da edificação, mas também desempenha um papel importante na proteção contra os raios ultravioleta (UV).

As propriedades de controle solar representam uma parcela da radiação solar que atravessa o vidro na forma de calor (Figura 2). Podem corresponder aos vidros que possuem componentes metálicos, aumentam a reflexão ou absorve determinada onda de calor. São assim chamados, por receberem óxidos metálicos os quais possuem a propriedade de refletir os raios solares e conseqüentemente a entrada de calor nos ambientes internos (Westphal, 2016).

Figura 2 - Representação do fator solar do vidro



Fonte: Westphal, 2016.

Portanto, além dos benefícios de controle solar e eficiência energética, Queiroz (2023) explica que a escolha equivocada do vidro a ser utilizado no fechamento das envoltórias pode gerar edifícios com grande desconforto térmico e alto consumo. Esse fato ocorre caso não sejam utilizados vidros especiais que minimizem o efeito térmico causado pela radiação solar.

A tecnologia atualmente empregada na fabricação de vidros para fachadas, associada a um projeto arquitetônico eficiente e a materiais de qualidade e desempenho comprovados, pode representar ganhos significativos quanto ao conforto de uma edificação. Os vidros mais modernos são capazes de refletir o calor sem prejudicar a luminosidade transmitida para o interior dos ambientes. (Westphal, 2016).

Isso fez com que o processo de laboração industrial se moldasse e criasse uma grande variedade de tipos de vidros que podem ter propriedades e características distintas. Segundo a

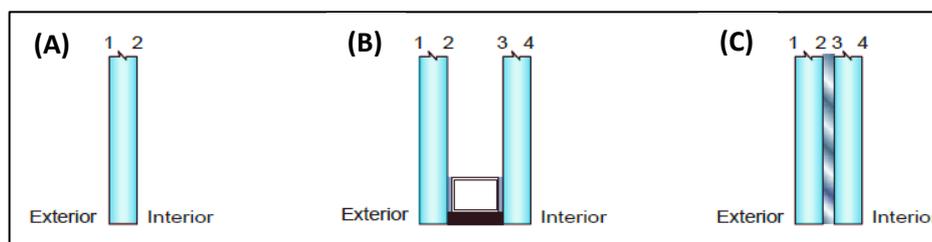
NBR 7199 (ABNT, 2016), que estabelece as regras gerais para a utilização na construção civil, os vidros são classificados quanto ao tipo, transparência, planicidade, coloração e colocação.

2.1.1 Tipos de vidros convencionais utilizados nas fachadas

O vidro é considerado uma parte fundamental das fachadas envidraçadas, exercendo forte influência na economia, conforto e segurança de qualquer edifício. Assim, deve atender a características específicas definidas pelo projetista do empreendimento.

O princípio básico para a composição do vidro e sua descrição mais usual na aplicação das envoltórias envidraçadas relaciona-se entre os monolíticos, insulados ou laminados, sendo que o monolítico (A) tem a composição de uma lâmina simples, que corresponde a uma única camada; o insulado (B) é composto de duas ou mais lâminas de vidro *float* seladas nas bordas separadas por uma câmara de ar seco, vedada, livres de umidade e vapor d'água, podendo ser composta por duas ou mais camadas de vidro. O laminado (C) é formado por duas ou mais lâminas de vidro permanentemente coladas, com uma ou mais películas de polivinil butíral (PVB); as lâminas e as camadas podem variar em cor e espessura (Figura 3).

Figura 3 – Especificação de vidro convencionais



Fonte: Westphal, 2016.

Com a inovação e a evolução tecnológica na indústria vidreira, novas demandas têm sido incorporadas aos vidros para promover melhorias e garantir a sustentabilidade.

Estudos estão continuamente aprimorando o desempenho térmico e óptico dos vidros. Com as transformações e mudanças de paradigmas nas edificações, surge uma nova perspectiva para a evolução da Arquitetura, além das ideias contemporâneas que vêm inspirando alternativas inovadoras em design.

2.2 Condições de conforto térmico

As fachadas de vidro são frequentemente utilizadas em projetos arquitetônicos por sua estética moderna e a possibilidade de maximizar a entrada de luz natural. No entanto, elas apresentam desafios em relação ao conforto térmico, uma vez que o vidro, por si só, não possui um bom desempenho térmico.

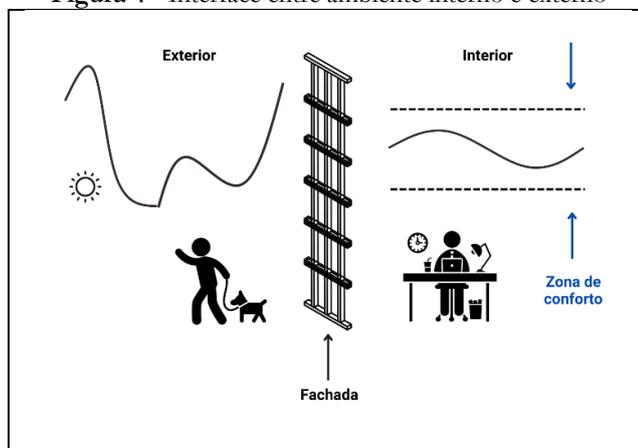
2.2.1 Fatores que influenciam o conforto térmico no ambiente

O envelope que faz a conexão do edifício com o meio externo e interno acaba por integrar diversas funções, com informações essenciais técnicas que devem ser exploradas ao máximo para garantir a satisfação do usuário. Esses aspectos podem ser explorados na norma técnica ANSI/ASHRAE 55 (2024) - Condições Ambientais Térmicas para Ocupação Humana - determinação de ambiente térmico satisfatório em espaços ocupados e documentação de conformidade⁷.

⁷ A ANSI/ASHRAE 55-2023 estabelece critérios para criar ambientes térmicos confortáveis e satisfatórios ocupantes em espaços fechados, por períodos de pelo menos 15 minutos. É direcionada ao design, operação e manutenção de ambientes internos

O ganho de calor solar é uma questão importante em fachadas de vidro, já que o material permite a passagem da radiação solar. Isso pode resultar no aquecimento dos ambientes internos, especialmente em climas quentes ou em fachadas voltadas para o sol (poente), gerando desconforto e aumentando a necessidade de sistemas de resfriamento. (Figura 4).

Figura 4 - Interface entre ambiente interno e externo



Fonte: Ferreira *et al*, 2023, p. 7.

Por outro lado, há também o problema da perda de calor em climas frios. O vidro, por si só, não é um isolante eficiente, o que dificulta a retenção do calor gerado dentro do edifício. Isso pode resultar em ambientes internos mais frios e em maiores custos com aquecimento.

Além disso, a radiação térmica também merece atenção. O vidro pode emitir radiação de volta para o exterior, o que, em áreas próximas a grandes superfícies envidraçadas, pode provocar uma sensação de desconforto térmico. Esse efeito é particularmente perceptível em locais onde há pouca proteção ou isolamento nas fachadas de vidro.

Assim como a pele humana, a fachada é o elemento que compõe os envoltórios da edificação, que funcionam como filtro, e estão diretamente sujeitas às intempéries, destacando-se calor ou frio externos, vento, chuva, granizo e radiação solar. Enfim, de acordo com o guia orientativo para projetos de edificações eficientes, o ganho de calor para o interior da edificação depende do conjunto de considerações dos elementos que compõem a envoltória (Queiroz, 2023).

A envoltória é composta por planos que separam o ambiente interno do ambiente externo, como por exemplo, fachadas e coberturas. E as características térmicas dos materiais da envoltória contribuem ou não para um bom desempenho térmico e eficiência energética de um edifício. Neste contexto, caso não sejam consideradas as corretas especificações diante da Norma de Desempenho, podem corresponder ao elemento de maior ganho térmico da envoltória, assim sua escolha deve ser feita a partir de critérios que considerem sua eficácia. (Queiroz, 2023, p.26).

É interessante salientar que as NBRs não fazem nenhuma menção ao nível de sofisticação da obra. O desempenho mínimo é exigido de todas as esquadrias, colocadas em qualquer tipo de edificação. Segundo Ferreira (2018), o arquiteto pode exigir um desempenho melhor do que aquele estabelecido pelas normas em uma obra sofisticada, mas não pode renunciar a exigências das NBRs para as chamadas obras sustentáveis.

ocupados, e considera fatores ambientais – como temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do ar – e pessoais – como nível de atividade e vestuário. O objetivo é criar condições térmicas que sejam adequadas para adultos saudáveis em altitudes de até 3000 metros. Para garantir a conformidade com a norma, todas as variáveis de conforto devem ser avaliadas em conjunto, devido à complexidade do conforto térmico, que é influenciado pela interação desses fatores. A norma também fornece métodos para documentar e medir a conformidade dos ambientes com esses parâmetros, como o uso de índices de conforto térmico ajustados às atividades e roupas dos ocupantes (ANSI/ASHRAE 55, 2024).

2.2.2 Eficiência nos fatores projetuais no interior nos edifícios

Como as demais decisões em Arquitetura diariamente, às vezes a sua influência na escolha do tipo de envoltória deve ser conduzida em conjunto com outros fatores projetuais – implantação, orientação solar, sistema construtivo, partido arquitetônico, cores da fachada, dimensões do ambiente, acesso visual, estética. A escolha destas condições deve considerar o clima e o entorno onde a edificação está inserida.

De forma simplificada, uma sequência de análise de condições projetual para a escolha da fachada adequada pode ser transcrita em tópico essencial para a escolha do seu design final.

Primeiramente deve-se a necessidade de ventilação e iluminação natural para um determinado tipo de ambiente, sistema construtivo e padrão estético de fachada. A área de abertura definida irá provocar um ganho de calor ao longo do dia e do ano, pode ser benéfico ou prejudicial, dependendo da estação, podendo diminuir o consumo de energia com aquecimento artificial, mas aumentar o consumo com resfriamento artificial. Para controlar os ganhos de calor devem-se prever elementos de proteção solar. Estes serão escolhidos conforme o tipo de ambiente construído, estética e sistema construtivo. Na escolha dos elementos de proteção solar deve-se levar em conta o acesso visual com o exterior e a disponibilidade de luz natural no ambiente. Por fim, elementos de sombreamento poderão ser dispositivos móveis que permitem redução do ganho de calor solar, considerando que cada elemento possui um diferente nível de proteção solar.

De acordo com Ferreira (2024), cada vez mais é usual recorrer a soluções tecnológicas de modo a aumentar o conforto interior e diminuir o consumo energético. O objetivo destas soluções é conseguir um maior conforto ambiental interior, ao mesmo tempo maximiza as vantagens das grandes áreas envidraçadas.

Como estratégias, as soluções podem ser adquiridas através da escolha de técnicas construtivas e de materiais de isolamento térmico. Para as áreas de envidraçamento que consta em envoltórias atuais, é relevante considerar a orientação dos compartimentos e respectiva exposição e proteção solar.

3 USO DO VIDRO TERMOCRÔNICO EM FACHADAS

O vidro termocrômico é uma solução inovadora que interage de forma natural com a luz solar, alterando sua tonalidade de acordo com a exposição ao calor. À medida que a incidência dos raios UV aumenta, os vidros escurecem, proporcionando proteção contra o excesso de luz e calor. Segundo Chohfi (2017), o diferencial desse material é que essa mudança de cor ocorre sem a necessidade de energia elétrica ou intervenção humana, sendo um processo completamente autônomo e mecânico (Figura 5).

Figura 5 – Tecnologia do vidro termocrômico



Fonte: Chohfi, 2017.

Esses vidros estão ganhando popularidade entre os modelos com características similares. Embora essa tecnologia ainda seja relativamente recente, algumas empresas do setor vidreiro

internacional já investiram na sua produção, e com uma pesquisa rápida, é possível encontrar uma diversidade de modelos de vidro termocrômico em diferentes cores e tamanhos.

Estudos recentes têm se concentrado em explorar o fenômeno do termocromismo em diversos setores, gerando avanços significativos. Pesquisas científicas vêm destacando propriedades ópticas e térmicas promissoras para o desenvolvimento de vidros mais sustentáveis, voltados para o conforto energético e térmico. Esse progresso é viabilizado pelo uso de tecnologias de termocromismo e materiais sensoriais aplicados em janelas e fachadas (Costa, Amorim, 2022).

Os vidros termocrômicos, por sua vez, ganham destaque por proporcionar proteção solar passiva, reduzindo a necessidade de sistemas de climatização, o que resulta em economia de energia e maior conforto térmico. Além disso, conforme destacado por Chohfi (2017), os vidros dinâmicos amigáveis às aves foram testados pela American Bird Conservancy⁸ e demonstraram eficácia significativa, com uma taxa de evasão de aves de 72% em seu estado transparente, ajudando a evitar colisões.

Esse sistema também apresenta um baixo fator de ameaça para a fauna, atendendo aos requisitos do LEED⁹ Crédito Piloto 55: Prevenção à Colisão de Aves, que reconhece edificações projetadas de maneira inovadora para evitar esses impactos.

Uma das principais características desse filme é a capacidade de ajustar sua transmissão térmica conforme a temperatura ambiente. Isso significa que, à medida que a temperatura externa aumenta, a película termocrômica se torna menos translúcida, bloqueando mais radiação solar e reduzindo a entrada de calor nos espaços internos. Por outro lado, quando a temperatura externa diminui, o filme se torna mais translúcido, permitindo uma maior entrada de luz natural no ambiente (Figura 6). Segundo Cui (*apud* Ferreira *et al.*, 2024, p. 3), essa tecnologia aplicada ao vidro tem se expandido globalmente devido aos seus benefícios em termos de desempenho térmico e economia de energia.

Figura 6 – Fachada com aplicação do vidro dinâmico



Fonte: Chohfi, 2017.

Em se tratando de um modelo industrializado, a aplicação de vidro termocrômico em fachadas deve considerar alguns fatores essenciais para o sucesso da construção: o estilo arquitetônico predominante na região, a incidência de luz solar sobre a fachada, a eficiência energética para controlar e reduzir o consumo de energia, a harmonização visual com o entorno, e o impacto ambiental, priorizando alternativas sustentáveis e materiais de baixo impacto, especialmente no contexto urbano.

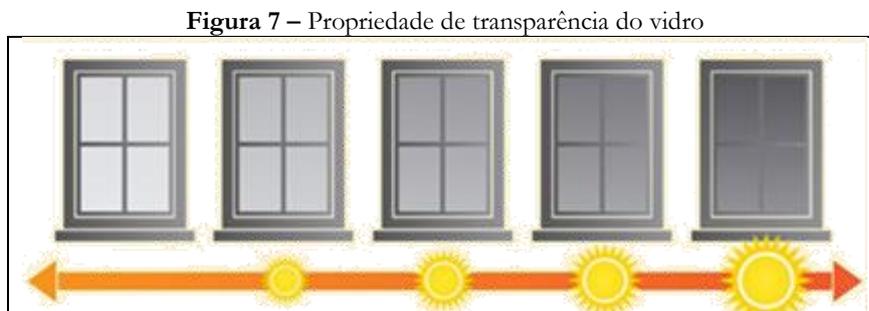
3.1 Tecnologia do vidro dinâmico termocrômico

O vidro termocrômico é fabricado com a aplicação de uma película especial na superfície do vidro, composta por óxido de vanádio (VO₂). Esse elemento é responsável pela mudança de coloração da película, que passa de transparente a translúcida conforme a temperatura aumenta

⁸ Organização sem fins lucrativos com a missão de conservar as aves selvagens e seus habitats nas Américas.

⁹ LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) é utilizado em mais de 160 países e consiste em um sistema internacional de certificação para construções sustentáveis.

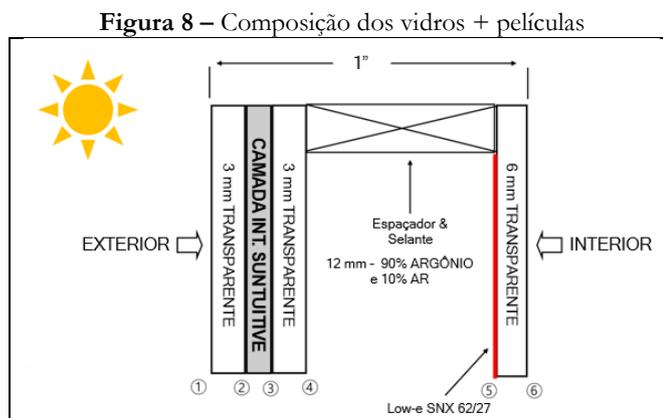
devido à incidência do espectro solar. Quando os raios infravermelhos atingem o vidro, a película de vanádio absorve o calor, escurecendo à medida que a temperatura aumenta (Figura 7). Quanto mais quente estiver o ambiente externo, mais escuro o vidro se tornará.



Fonte: Archglass, 2019.

Disponível em: <https://archglassbrasil.com.br/artigos/vidro-termocromico/>

Além disso, a composição do vidro termocrômico, que envolve laminação¹⁰ e a utilização de películas PVB¹¹, oferece barreiras parciais contra a transmissão de calor. A quantidade de iluminação no ambiente também dependerá das cores dos vidros utilizados. Essa película pode ser aplicada em praticamente todos os tipos de vidro, incluindo vidros laminados e temperados (Figura 8), transformando-os em vidros termocrômicos, o que é uma das grandes apostas do setor vidreiro para a popularização dessa tecnologia em um futuro próximo.



Fonte: Chohfi, 2017.

Ademais, a possibilidade de combinar a tecnologia de termocromia com outros tipos de vidro especial, como o Low-e ou vidro duplo, é uma solução eficaz para superar uma leve limitação do vanádio (VO_2), que apresenta índices medianos de isolamento térmico. A integração com esses vidros especiais ajudaria a melhorar o desempenho geral e compensaria essa deficiência, tornando o vidro termocrômico ainda mais eficiente.

3.2 Especificidades adequadas ao uso dos vidros

O vidro termocrômico possui diversas especificidades que o diferenciam de outros tipos de vidro, sendo amplamente reconhecido por suas propriedades de controle térmico e eficiência energética. Ele é projetado para adaptar suas características técnicas e funcionais de transparência

¹⁰ Processo utilizado para unir diferentes camadas de materiais, com o objetivo de melhorar suas propriedades mecânicas, estéticas ou de proteção.

¹¹ PVB (Polivinil Butiral) matéria prima utilizadas na fabricação de vidro laminado, é uma resina plástica e elástica aplicada entre as chapas de vidro.

em resposta às variações de temperatura, proporcionando maior conforto e economia de energia em construções. O Quadro 2 especifica melhor as características de cada tipo de especificidade e benefícios, que possam proporcionar esclarecimento técnicos.

Para proporcionar o estudo, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para identificar estudos que tratam do tema investigado. Este tipo de pesquisa é elaborado por meio de trabalhos já executados por outros autores, cujos interesses conferidos eram os mesmos.

Para a produção do conhecimento acerca das especificidades, foi realizado um levantamento bibliográfico nas bases de dados eletrônicas Scopus, em outro momento, foi efetuada a revisão nas bases Web of Science e Research Rabbit. Muitos resultados positivos foram encontrados, incluindo os estudos publicados entre 2014 a 2024.

Quadro 2 – Especificidades e benefícios

CARACTERÍSTICAS	BENEFÍCIOS
Contribuição para a economia de energia	Está ganhando popularidade por reduzir os custos operacionais das edificações. Adaptando-se ao calor, ele diminui o consumo de energia com ar-condicionado e iluminação artificial, bloqueando a radiação solar e mantendo a temperatura interna mais agradável. Em temperaturas baixas, otimiza a luz natural, reduzindo a necessidade de iluminação elétrica.
Durabilidade e baixa manutenção	Apesar de sua tecnologia avançada, é altamente resistente e exige pouca manutenção. A película protegida entre as camadas de vidro, resiste a arranhões e impactos. Sua durabilidade é semelhante à dos vidros convencionais, com longa vida útil mesmo em condições climáticas adversas. A manutenção se resume a limpezas regulares com produtos neutros e não abrasivos, preservando suas propriedades ópticas e térmicas.
Aplicabilidade e versatilidade	Pode ser amplamente utilizado em diversos contextos arquitetônicos, como edifícios residenciais, comerciais, fachadas, coberturas e janelas de veículos. Sua versatilidade o torna ideal para construções onde o controle de luz e calor é essencial ao conforto dos ocupantes. Além disso, pode ser combinado com outras tecnologias, como vidro de baixa emissividade (Low-e), vidros acústicos e sistemas de controle inteligente, criando soluções arquitetônicas de alto desempenho.
Sustentabilidade e impacto ambiental	Contribui diretamente para a sustentabilidade das edificações, ao reduzir o consumo de energia em sistemas de climatização e iluminação. Essa tecnologia é uma escolha ecológica para projetos modernos e pode ajudar edifícios a obter certificações ambientais, como o LEED, por reduzir emissões de carbono e aumentar a eficiência energética. Além disso, promove o aproveitamento de luz e calor naturais, diminuindo a dependência de recursos não renováveis.
Benefícios estéticos e funcionais	Além dos benefícios técnicos, agrega valor estético aos projetos arquitetônicos. Sua capacidade de alterar cor e tonalidade conforme a temperatura externa cria fachadas dinâmicas e impactantes, que se adaptam ao design do edifício e ao ambiente. Essa estética moderna e funcional não só melhora o desempenho térmico, como também oferece uma solução inovadora para criar edificações mais atraentes e eficientes. As variações de tonalidade harmonizam com o entorno, proporcionando uma integração visual suave com a paisagem urbana.
Limitações e soluções complementares	O desempenho térmico da película de vanádio (VO ₂), por si só, não garante isolamento térmico máximo. Por isso, o vidro é frequentemente combinado com outras tecnologias, como o vidro Low-e ou o vidro duplo, para aumentar a eficiência térmica. Além disso, o custo inicial de instalação tende a ser mais alto que o de vidros convencionais, mas a economia de energia a longo prazo pode compensar o investimento.
Inovações e futuro da tecnologia	Com os avanços contínuos na ciência dos materiais, a tecnologia está em constante evolução. Pesquisas buscam aprimorar o desempenho, aumentando sua durabilidade, otimizando sua resposta a diferentes faixas de temperatura e reduzindo os custos de produção. No futuro, espera-se que se torne uma opção padrão em construções sustentáveis, à medida que mais arquitetos e engenheiros adotam soluções inteligentes para melhorar o conforto térmico e reduzir o consumo de energia.

Fonte: Editado pelas autoras, 2024.

Autores como Tavitil *et al* (2015) discute extensivamente as especificidades e benefícios do vidro termocrômico, ressaltando sua capacidade de ajustar a transmissão de luz conforme a temperatura ambiente, permitindo o controle da entrada de calor e luz natural. Destacam que a eficiência depende das condições climáticas e da orientação da edificação. Em regiões mais quentes, reduz a carga de resfriamento, enquanto em climas temperados, pode ajudar a equilibrar o ganho solar. Fang *et al* (2022), explicam que a opacidade do vidro muda devido a materiais

termocrômicos que, em altas temperaturas, bloqueiam mais luz, contribuindo para o conforto térmico e a eficiência energética em edifícios. Salamati *et al* (2019) e Zhao *et al* (2020), destaca que materiais inorgânicos, como o óxido de vanádio, são mais utilizados na construção civil por sua durabilidade e capacidade de modulação térmica, enquanto materiais orgânicos são mais comuns em aplicações temporárias ou de baixo custo. Esses autores também enfatizam que o vidro termocrômico elimina a necessidade de sensores e mecanismos de controle, pois sua mudança é intrínseca ao material, promovendo uma abordagem sustentável e reduzindo a necessidade de sistemas mecânicos.

Essas especificidades tornam o vidro termocrômico uma escolha altamente eficaz para projetos arquitetônicos que buscam combinar conforto, eficiência energética e estética. Com sua capacidade de adaptação térmica e seu impacto positivo na sustentabilidade, ele está se posicionando como uma tecnologia fundamental no setor da construção civil.

Em alguns casos, pesquisadores da Universidade na China, liderada pelo Prof. Kang Liu (2023) e Sol *et al* (2024), exploram janelas inteligentes com design de vidro de hidrogel com temperaturas de resposta ajustáveis, e, discutem materiais termocrômicos emergentes e seus potenciais de economia de energia, como abrangem aplicações de materiais termorresponsivos.

4 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

Apesar dos benefícios significativos do vidro termocrômico, ainda existem desafios a serem superados para que essa tecnologia se torne amplamente adotada. Um dos principais obstáculos é o custo inicial elevado de produção e instalação, que pode ser um fator limitante em projetos com orçamento restrito. Além disso, a eficiência do material em diferentes climas e condições ambientais ainda requer ajustes e aprimoramentos, especialmente para garantir um desempenho ideal em diversas regiões (Figura 9).

Figura 9 – Região Metropolitana Recife

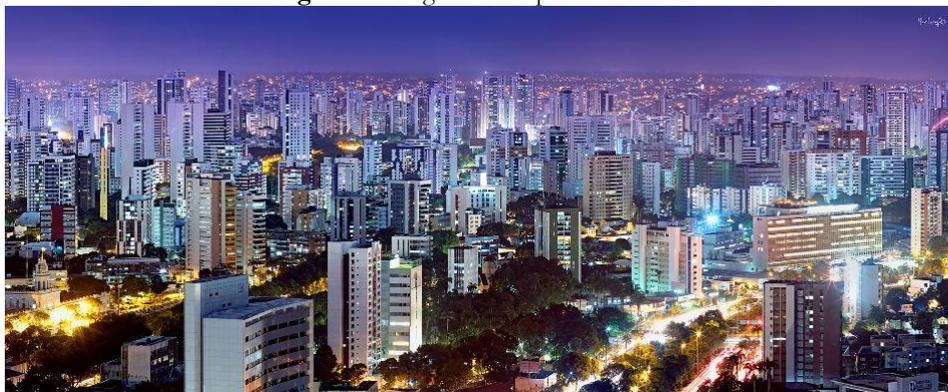


Foto: Panorama Recife. Por Max Levay, 2016.

Disponível em: <https://www.flickr.com/photos/maxlevay/27931076691>

Outro desafio é melhorar a velocidade e a sensibilidade da resposta termocrômica a variações de temperatura, garantindo que a transição de tonalidade ocorra de forma rápida e eficiente. Também há uma necessidade crescente de tornar o vidro mais adaptável a projetos customizados, sem comprometer suas propriedades térmicas e ópticas.

Por outro lado, as perspectivas futuras são promissoras. Com o avanço das pesquisas em materiais e nanotecnologia, espera-se que os custos de produção sejam reduzidos, tornando o vidro mais acessível. Além disso, a integração com outras tecnologias sustentáveis, como sistemas de automação predial e controle inteligente de energia, pode aumentar ainda mais a demanda por essa solução.

A longo prazo, o vidro termocrômico tem o potencial de se tornar uma escolha comum em edificações sustentáveis, ajudando a melhorar o conforto térmico e a eficiência energética,

enquanto contribui para a redução de emissões de carbono e a promoção de construções ambientalmente responsáveis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O vidro termocrômico representa uma inovação significativa na arquitetura contemporânea, unindo tecnologia, sustentabilidade e estética. Sua capacidade de se adaptar às condições climáticas, proporcionando conforto térmico e eficiência energética, torna-o uma opção valiosa em projetos arquitetônicos modernos.

A técnica de aplicação das fachadas com vidro, funciona graças a lâminas fora da edificação, paralelas entre si, onde fazem parte da identidade arquitetônica e com design diversificado e posições diferentes.

Simultaneamente, as discussões a respeito das características ambientais e climáticas nas fachadas de vidro vêm trazendo abordagens mais complexas, passando a ser mais criteriosas e observacionais. Nesta perspectiva, a inovação dos invólucros das edificações deve ser um catalisador que proporcione um salto significativo de ideias com implantação de sistemas nas envoltórias tradicionais.

A integração dessa tecnologia com outros sistemas, como vidros de baixa emissividade e soluções de automação, potencializa ainda mais seus benefícios, contribuindo para edificações mais inteligentes e sustentáveis. Embora desafios, como o custo de instalação e a otimização do desempenho, ainda precisem ser enfrentados, as pesquisas em andamento prometem avanços que tornarão o vidro termocrômico mais acessível e eficiente.

Com a crescente conscientização sobre a importância da sustentabilidade na construção civil, o vidro termocrômico tem o potencial de se tornar um elemento padrão em projetos arquitetônicos, ajudando a reduzir o consumo de energia e as emissões de carbono. À medida que mais arquitetos e engenheiros adotam essa tecnologia, espera-se que suas aplicações se expandam, contribuindo para um futuro mais sustentável e harmonioso entre a arquitetura e o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ANSI/ASHRAE 55, **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**, Edição de 2023. Disponível em: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy> Acesso em: 01 out. 2024.

CARDOSO, A. B. **Esquadria de alumínio no Brasil** – Histórico, tecnologia, linhas atuais, gráficos de desempenho. São Paulo, 2019. Disponível em: <https://fesqua.com.br/category/pdf>>. Acesso em: 05 out. 2021.

CARDOSO, A. B. **Esquadria de alumínio no Brasil** – Esquadrias de alumínio: a conquista do desempenho. São Paulo: All Print, 2022.

CHOHFI, R. E. **Alcance Iluminação Natural, Eficiência Energética, Geração de Eletricidade e Certificação LEED com Duas Tecnologias Avançadas de Vidro: 1. Vidro Termocrômico e 2. Vidro Fotovoltaico**. Greenbuilding Brasil, 2017.

COSTA, J. F. W.; AMORIM, C. N. D. **Materiais transparentes e translúcidos inovadores em fachadas e seu desempenho em iluminação natural: panorama internacional e aplicabilidade no contexto brasileiro**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 22, n. 4, p. 179-198, out./dez. 2022.

CUI, Y., KE, Y., LIU, C., CHEN, C., WANG, N., ZHANG, L., ZHOU, Y., WANG, S., GAO, Y., LONG, Y. **Thermochromic VO₂ for Energy-Efficient Smart Windows**, Joule, Volume 2, Issue 9, 2018.

DIAS, L. S. **Desempenho termoenergético e lumínico de fachadas envidraçadas com brise-soleil em edificações multipavimentos climatizadas: tipos de vidros e tipologias de brises.** / Luma de Souza. 2021.

FENG, Y.-Q.; LV, M.-L.; YANG, M.; MA, W.-X.; ZHANG, G.; YU, Y.-Z.; WU, Y.-Q.; LI, H.-B.; LIU, D.-Z.; YANG, Y.-S. **Application of New Energy Thermochromic Composite Thermosensitive Materials of SmartWindows in Recent Years**, 2022.

FERREIRA, Hilma de Oliveira Santos *et al.* **A importância do gerenciamento de projetos na execução em fachadas de vidro: estudo de caso de três torres na cidade do Recife.** 2018.

FERREIRA, Hilma; MOREIRA, Fernanda; ARRUDA, Amilton. **Uma abordagem sobre modelos e técnicas projetuais de design e arquitetura nas fachadas biointeligentes.** Revista Jatobá, v. 5, 2023.

FERREIRA, Hilma *et al.* **Conforto térmico e lumínico nos invólucros envidraçados: estudo empírico com filme de polímeros termocrômicos integrados no vidro.** 2024.

_____. **NBR 7199 -Vidros na Construção Civil - Projeto, execução e aplicações:** Rio de Janeiro. 2. ed. 2016.

REIS, Magda Netto dos. **Esquadrias de Alumínio: análise dos critérios de escolha destes componentes em edifícios de apartamentos, padrão médio-alto, na cidade de São Paulo.** Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

SALAMATI, M., KAMYABJOU, G., MOHAMADI, M., TAGHIZADE, K., KOWSARI, E. **Preparation of TiO₂@W-VO₂ thermochromic thin film for the application of energy efficient smart windows and energy modeling studies of the produced glass.** Construction and Building Materials, Volume 218, 2019.

SEGAWA, Hugo. **Arquiteturas no Brasil 1900 - 1990.** 2ª edição, São Paulo, Edusp, 1999.

SOL, M.; SOL, H.; WEI, R.; LI, W.; OLIVEIRA, J.; TIAN, Y.; LI, M. **Energy-Efficient Smart Window Based on a Thermochromic Hydrogel with Adjustable Critical Response Temperature and High Solar Modulation Ability**, 2024.

WESTPHAL, Fernando Simon. **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificação.** São Paulo: Abividro, 2016.

TAVIL, A., ARICI, M. **Thermochromic glazing for energy efficiency in buildings: Performance of various thermochromic materials and application in smart windows.** Energy and Buildings, 93, 1-10. 2015.

ZHAO, X., MOFID, S.A., GAO, T., TAN, G., JELLE, B.P., YIN, X.B., YANG, R.G. **Durability-enhanced vanadium dioxide thermochromic film for smart windows**, Materials Today Physics, Volume 13, 2020.