

DESEMPENHO LUMÍNICO E TERMOENERGÉTICO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS E DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VIDROS

DESEMPENHO LUMÍNICO E TERMOENERGÉTICO DE FACHADAS ENVIDRAÇADAS E DIFERENTES TIPOLOGIAS DE VIDROS

Carolina de Mesquita Duarte¹

carolinademesquitaduarte@hotmail.com

Marcelo Epiphania da Rosa²

marceloerosa20@gmail.com

Maritza da Rocha Macarthy³

maritzadarochamacarthy@gmail.com

Resumo: As superfícies envidraçadas são importantes na concepção e funcionamento de diferentes edifícios. Esses edifícios são constantemente associados a projetos que compreendem aspectos de eficiência energética, térmica e lumínica. Porém, a inserção de fachadas envidraçadas ainda é controversa, em especial no que tange as condições bioclimáticas de diferentes estados, como é o caso do Brasil. Com isso, vários estudos têm sido realizados nos últimos anos, devido a relevância do tema,

¹ Mestre no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU/UFPEL). Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Atuou como bolsista de iniciação científica pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS), no Laboratório de Eficiência Energética (LABCEE). Atualmente é colaboradora do Grupo de Estudos em Simulação e Eficiência Energética em Edificações (GES3E) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAURB) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Possui experiência em Simulações Computacionais de Conforto e Eficiência Energética.

² Arquiteto e Urbanismo, Mestrando em Conforto e Sustentabilidade do Ambiente Construído pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Atualmente é colaborador do grupo de Estudos em Simulação e Eficiência Energética em Edificações (GES3E) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Tem experiência na área de Projeto de Arquitetura e Urbanismo com ênfase em conforto ambiental, sustentabilidade e simulação de desempenho lumínico.

³ Mestre em Arquitetura e Urbanismo (PROGRAU/UFPEL). Graduada em Engenharia Elétrica pela Universidade Católica de Pelotas (UCPEL). Atualmente é colaboradora do Grupo de Estudos em Simulação e Eficiência Energética em Edificações (GES3E) e Grupo de Pesquisa sobre Umidade na Edificação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAURB) da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Possui experiência em Simulações Computacionais de Conforto e Eficiência Energética. Especialista em Ciências e Tecnologias na Educação pelo Instituto Federal Sul Rio-grandense Visconde da Graça (IFSUL-CAVG), Especialista em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

com o intuito de uma melhor compreensão dos impactos e desvantagens das fachadas envidraçadas. Neste artigo, foram revisadas a evolução e importância das fachadas envidraçadas, bem como o seu desempenho térmico e lumínico e tipos de vidros. Apresentam-se os resultados de uma revisão de literatura, o estado da arte das fachadas envidraçadas em edifícios comerciais e tipos de vidros utilizados no mercado brasileiro. Os resultados mostraram que a utilização do envidraçamento de fachadas com o intuito de se conseguir um melhor desempenho energético e lumínico está relacionada às condições climáticas de localização.

Palavras-chave: Fachadas envidraçadas. Vidros. Desempenho lumínico e energético.

Abstract: Glazed surfaces play a crucial role in the design and functionality of various buildings. These buildings are often associated with projects that incorporate aspects of energy, thermal, and lighting efficiency. However, the use of glazed façades remains a controversial topic, especially concerning the bioclimatic conditions of different regions, as is the case in Brazil. Consequently, numerous studies have been conducted in recent years, given the relevance of the topic, to better understand the impacts and disadvantages of glazed façades. This article reviews the evolution and importance of glazed façades, as well as their thermal and lighting performance and the types of glass used. It presents the findings of a literature review, the state of the art of glazed façades in commercial buildings, and the types of glass available in the Brazilian market. The results indicate that the use of glazed façades to achieve better energy and lighting performance is closely linked to the climatic conditions of their location.

Keywords: Glazed facades. Glasses. Lighting and energy performance.

1. Introdução

De acordo com a Agência Internacional de Energia (AIE), a participação das energias renováveis no mundo foi de 14,1% em 2019 e no Brasil foi de 44,7% em 2021 (BEN, 2022). Considerando o segmento de serviços, a indústria e os seus subsegmentos representaram 15,0% do consumo energético. Especificamente, as edificações consomem mais de um terço do consumo final de energia, o que representa um quinto das emissões de fases poluentes na atmosfera terrestre, de acordo com a Nota Técnica da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2020).

Com a propagação dos estilos de arquitetura internacional, a partir da Segunda Guerra Mundial, o crescimento da economia no país refletiu no crescimento de grandes prédios comerciais e de escritórios que passaram a ter fortes tendências em design de fachadas envidraçadas, com o intuito de apresentar uma maior transparência, incidência de luz natural e a imagem de projetos arquitetônicos modernos (Hwang; Chen, 2022). Prédios com fachadas totalmente envidraçada, de planta livre, espaços largos, layout flexível e com alto condicionamento artificial (Brugnera et al., 2019). Esses edifícios foram chamados de “caixas de vidro”, devido a crença de que tal materialidade seria eficiente para suprir e controlar condições ambientais favoráveis de qualquer edifício (Vedovello, 2012).

Segundo descrito por Antoun, Ghaddar e Ghali (2016), superfícies envidraçadas podem ser consideradas primordiais no que tange a concepção e funcionamento dos diferentes tipos de edifícios. Além disso, relatam que os edifícios comerciais e de escritórios constantemente são associados com projetos que compreendem aspectos de eficiência energética, sustentabilidade e uma imagem “verde”. Nesse contexto, um dos materiais que mais se destaca no cenário urbano por sua estética visual, versatilidade, possibilidade de integração com o interior/exterior, transparência, é o vidro (Shameri, et al.,2011).

Aliado da iluminação natural, edificações com grandes áreas envidraçadas tem se internacionalizado na arquitetura comercial nas mais variadas condições climáticas. Contudo, no que diz respeito à eficiência energética, quanto maior a envoltória envidraçada, maior o ganho de calor por irradiação direta, por isso, o envidraçamento pode representar um problema quanto ao percentual excessivo de carga térmica de uma edificação, principalmente em regiões de climas tropicais como no Brasil (Andreis; Besen; Westphal, 2014).

Atualmente não existe nenhum tipo de norma brasileira onde seu foco esteja na concepção direta do vidro como elemento estrutural, apesar da indústria vidreira já contar com uma alta gama de produtos compatíveis com as exigências técnicas (Custódio et al, 2017). Desta forma, destacam-se as normas mais utilizadas como: ABNT NBR 7199 (Projeto Execução e Aplicações de Vidros na Construção Civil) e a ABNT NBR 11706 (Vidros na construção civil) e as norma internacionais.

De acordo com Suller et al. (2017), a NBR 15.575/2013 estabelece que uma edificação possui desempenho satisfatório superior, quando a temperatura interna do edifício se encontra à -4 °C (menos quatro graus Celsius) da temperatura externa. Porém, para edifícios comerciais não é ideal, devido aos dias quentes, e temperatura a - 4 °C pode não oferecer conforto térmico aos ocupantes.

A escolha do material da envoltória de qualquer edificação é um fator de extrema relevância, visto que é a partir do envelope que acontece as maiores trocas de temperaturas. É evidente que nos grandes centros urbanos, edifícios corporativos possuem elevada densidade de ocupação, e com isso o alto consumo de condicionamento artificial (Westphal, 2016). Entretanto, a partir da aplicação de um vidro simples em fachada cortina, sem nenhum controle solar, o consumo energético com uso de condicionamento de ar e desconforto térmico serão potencializados (Pinto, 2017). Fato é, com a variedade de vidros disponíveis no mercado

brasileiro, se faz necessário o conhecimento de critérios de desempenho por profissionais acerca desse material para elaborar soluções arquitetônicas favoráveis energeticamente e que busque um ponto de equilíbrio entre conforto lumínico e termo energético na área visível envidraçada e que possibilite controle solar, aproveitamento da luz natural sem causar desconforto visual.

Com a proliferação de edifícios representativos, envelopados inteiramente com fachada envidraçada pelo Brasil, este trabalho delineou-se por trabalhos relevantes e que trazem questões como a evolução e importância das fachadas envidraçadas e o vidro como referência importante no ambiente construído sob o ponto de vista da eficiência energética em edificações e na metodologia da escolha, visto que ainda há incertezas do uso eficiente desse material e também por medidas gerais sobre a importância do impacto do vidro em relação ao desempenho lumínico e termo energético em fachadas com pele envidraçada.

1. Método de pesquisa - Revisão de literatura

Para investigar estudos existentes sobre fachadas envidraçadas e tipos de vidros, foi realizado uma revisão Sistemática da literatura (RSL). A RSL é definida como um tipo de pesquisa bibliográfica que utiliza métodos sistemáticos, explícitos e contábeis, fornecendo uma visão robusta sobre a área analisada, sendo um mecanismo para identificar, avaliar e interpretar toda pesquisa relevante acerca do tema (Gough; Oliver; Thomas, 2017).

Com base no tema central da pesquisa, foram definidas as seguintes *strings* de busca de pesquisa:

- “glazed facades” AND “daylighting” OR “daylighting performance” AND “glasses” OR “types of glasses”

Buscou-se bases de dados mais representativas na área, incluindo: SciELO, Scopus, Google Scholar, ASCE library. Os artigos foram selecionados com base em critérios de inclusão e exclusão, no qual resultou em um total de 42 artigos ao final da RSL. Destes resultados, 27 publicações eram relevantes e 15 eram repetitivos.

Quadro 1: Critérios de seleção

| Critério de inclusão | Critério de exclusão |
|----------------------|----------------------|
|----------------------|----------------------|

| | |
|---|---|
| Área de Pesquisa: Arquitetura ou Construção | Não tratar do tema fachada envidraçada e vidros |
| Tema: Fachadas envidraçadas, vidros, desempenho lumínico e termo energético | Não ser revisado por pares |
| Tipo de publicação: artigo científico, dissertação e teses | |
| Idioma: Inglês e Português | |
| Disponibilidade de texto completo | |
| Ano de Publicação: 2010 a 2022 | |

Fonte: Os autores.

1.1 Evolução e importância das fachadas envidraçadas

As fachadas envidraçadas têm sido uma característica marcante na arquitetura moderna e sua evolução ao longo do tempo tem desempenhado um papel significativo na estética e no desempenho dos edifícios. Neste contexto, ao longo dos séculos, as fachadas envidraçadas passaram por transformações significativas, impulsionadas pelo avanço das tecnologias e das demandas estéticas e funcionais da arquitetura contemporânea. No início, o vidro era um material raro e caro, utilizado principalmente em igrejas e edifícios governamentais, porém, com o desenvolvimento da indústria do vidro e a redução dos custos de produção, o uso do vidro se popularizou e se tornou mais acessível para aplicações arquitetônicas (Martins, 2022).

No século XIX, as fachadas envidraçadas começaram a aparecer em edifícios comerciais e residenciais, proporcionando uma conexão visual entre o interior e o exterior e permitindo a entrada de luz natural nos espaços internos. Nesse azo, o advento da Revolução Industrial trouxe consigo avanços tecnológicos que impulsionaram a evolução das fachadas envidraçadas, como o desenvolvimento de técnicas de fabricação de vidro em maior escala e o uso de sistemas estruturais mais eficientes para suportar grandes áreas envidraçadas. Noutra conjuntura, as fachadas envidraçadas desempenharam um papel crucial na eficiência

energética dos edifícios como será debatido adiante (Martins, 2022) (Whestphal apud Martins, 2022).

Em análise continuada, os vidros de alta performance e sistemas de vidros duplos ou triplos podem melhorar o isolamento térmico, reduzindo a transferência de calor entre o interior e o exterior. Além disso, o uso de vidros com revestimentos especiais, como os de controle solar, pode ajudar a minimizar o ganho de calor excessivo durante os meses mais quentes, reduzindo a necessidade de uso de sistemas de climatização e, conseqüentemente, os custos energéticos.

Nesse viés, as fachadas envidraçadas permitem a entrada abundante de luz natural nos espaços internos dos edifícios. Dessa forma, a luz natural não apenas contribui para a redução do consumo de energia elétrica para iluminação artificial, mas também possui benefícios para o bem-estar e o conforto dos ocupantes, aumentando a sensação de conexão, bem-estar e aquilamento da qualidade de vida em relação ao ambiente externo e aprimorando a qualidade visual dos espaços (Scalco; Pereira; Rigatti apud Martins, 2022).

Em outra vertente, a luz natural também está associada a benefícios para a saúde, como a regulação do ritmo circadiano e o aumento da produtividade. Em outras linhas, as fachadas envidraçadas podem contribuir para o conforto dos ocupantes dos edifícios ao oferecer vistas panorâmicas do entorno, permitindo a conexão com a natureza e proporcionando uma sensação de abertura e amplitude nos espaços internos. Além disso, o controle adequado da entrada de luz solar direta e o uso de sistemas de proteção solar, como persianas ou películas, podem reduzir o ofuscamento e o superaquecimento, criando um ambiente mais confortável e agradável (Whestphal apud Martins, 2022) (Scalco; Pereira; Rigatti apud Martins, 2022).

Além de seus benefícios funcionais, as fachadas envidraçadas também desempenham um papel importante na estética arquitetônica dos edifícios. Em ato contínuo, o vidro oferece uma aparência elegante e contemporânea, conferindo leveza e transparência à fachada. A propósito, a transparência do vidro também permite a integração visual do edifício com seu entorno, criando uma harmonia entre a arquitetura e o ambiente urbano (Andreis, 2014).

Quanto a sustentabilidade dessa metodologia arquitetônica: o uso de fachadas envidraçadas pode contribuir para a ergonomia dos edifícios. Decerto, além de sua função na

eficiência energética, o vidro é um material reciclável, o que reduz o impacto ambiental. Porquanto, o uso de sistemas de fachada inteligentes, como vidros fotovoltaicos que geram energia elétrica, ou vidros que incorporam tecnologias de captação de energia solar, pode promover a geração de energia limpa e renovável (Martins, 2022) (Andreis, 2014).

Estudos têm considerado a redução do efeito da absorção solar por meio do design de sistemas de envidraçamento de múltiplas placas, os quais mostram tendências para diminuir os ganhos de calor térmico através de suas superfícies. Como exemplo, pode ser citado o trabalho de Arici, Karabay e Kan (2015), onde janelas de painel triplo e quádruplo resultaram em uma maior capacidade de resistir à transferência de calor e reduzir os ganhos térmicos de espaço quando aplicados na Turquia. Porém, os autores descrevem que essa estratégia possui um custo elevado, o que prejudica a sua viabilidade.

Estudos considerando a redução da energia de radiação transmitida por intermédio de superfícies vitrificadas foram realizados. Por exemplo, para reduzir a transmissão de energia de radiação para o ambiente, Kontoleon (2012) modificou a direção da fachada para orientações atingidas pela menor quantidade de radiação solar ao longo do ano. Todavia, modificar a orientação da superfície envidraçada para conseguir reduzir sua participação na carga do espaço é irreal em edifícios ou muitas vezes necessita de iluminação artificial dentro do espaço, o qual consome muita eletricidade o que pode contrabalançar os benefícios da economia de energia do local.

Vislumbrando mitigar este gargalo, algumas pesquisas foram realizadas buscando estabelecer ligação do consumo de energia e iluminação natural às propriedades do envidraçamento. Por exemplo, Ko (2009) estudou algumas formas de se obter uma melhor performance da iluminação natural e a economia de energia fazendo uso da seleção adequada de áreas envidraçadas, materiais e propriedades em seis condições climáticas nos Estados Unidos. Porém, os custos foram considerados elevados.

Brzezicki (2021) apresentou os resultados da análise morfológica de fachadas com sistemas de sombreamento adaptativo e a relação espacial entre o sistema de sombreamento adaptativo e a envoltória de vidro de um edifício. Os resultados forneceram informações importantes sobre o surgimento de novas tendências estéticas de arquitetura, especialmente diante das tecnologias mais recentes adotadas em fachadas. Em conclusão, foram

apresentadas evidências empíricas de que a localização do sombreamento do sistema em relação ao envelope de vidro de um edifício é a chave morfológica.

1.2 Similaridade entre a fachada envidraçada edilícia brasileira e internacional

As fachadas envidraçadas em edifícios podem apresentar algumas diferenças significativas entre os países de primeiro mundo, como os Estados Unidos, a Alemanha e o Japão, e o Brasil. Abaixo, Andreis (2014) procede com um comparativo entre essas estruturas arquitetônicas em relação a diferentes aspectos:

1. **Tecnologia e Inovação:** Países de primeiro mundo geralmente estão na vanguarda da tecnologia e da inovação arquitetônica. Eles costumam adotar tecnologias avançadas, como vidros inteligentes com controle solar automatizado, sistemas de captação e armazenamento de energia solar e sistemas integrados de automação predial. No Brasil, embora haja uma crescente adoção dessas tecnologias, a implementação em grande escala ainda está em estágios iniciais;
2. **Eficiência Energética:** A eficiência energética é uma preocupação central na arquitetura contemporânea. Nos países de primeiro mundo, as fachadas envidraçadas são projetadas para oferecer alto desempenho energético, com vidros de baixa emissividade, isolamento térmico avançado e sistemas de controle solar. No Brasil, embora a busca pela eficiência energética esteja em ascensão, ainda há uma demanda significativa por melhorias nesse aspecto, com edifícios que muitas vezes apresentam menor desempenho energético;
3. **Normas e Regulamentações:** Países de primeiro mundo costumam ter normas e regulamentações rigorosas relacionadas à segurança, sustentabilidade e desempenho das fachadas envidraçadas. Essas diretrizes visam garantir a segurança estrutural, a eficiência energética e a proteção contra riscos naturais, como terremotos e furacões. No Brasil, embora existam regulamentações, nem sempre são tão abrangentes e rigorosas quanto em alguns países de primeiro mundo;
4. **Uso de Materiais Sustentáveis:** A preocupação com a sustentabilidade também influencia a escolha dos materiais utilizados nas fachadas envidraçadas. Nos países de

primeiro mundo, há uma ênfase crescente no uso de vidros recicláveis, com baixa emissão de carbono e que contribuam para a redução do consumo energético. No Brasil, embora haja uma conscientização crescente sobre a sustentabilidade, a utilização de materiais sustentáveis ainda não é tão difundida;

5. Estética e Design: A estética e o design das fachadas envidraçadas podem variar entre países. Países de primeiro mundo muitas vezes adotam abordagens arquitetônicas arrojadas, explorando formas complexas e fachadas envidraçadas curvas ou estruturalmente desafiadoras. No Brasil, embora haja uma variedade de estilos arquitetônicos, ainda é comum encontrar fachadas mais tradicionais e menos ousadas em termos de design.

É importante ressaltar que essas diferenças não significam que o Brasil esteja atrasado em relação aos países de primeiro mundo. Apesar disso, o desenvolvimento da arquitetura e das fachadas envidraçadas é influenciado por diversos fatores, como contexto econômico, regulamentações, cultura e demanda local. Nesse âmbito, o Brasil tem suas próprias características e desafios, como o clima tropical e as questões socioeconômicas, que podem influenciar as escolhas arquitetônicas e o desenvolvimento das fachadas envidraçadas (Martins, 2022; Garcia; Andrade Junior; Oliveira, 2017).

Somando-se a exposto, é imprescindível considerar que a arquitetura é um campo em constante evolução, e o Brasil tem se destacado com projetos arquitetônicos inovadores que valorizam a sustentabilidade e a identidade cultural. Nos últimos anos, tem havido um aumento na conscientização sobre a importância da eficiência energética e do uso de materiais sustentáveis no Brasil. Dessa monta, projetos arquitetônicos estão cada vez mais incorporando soluções e tecnologias avançadas em suas fachadas envidraçadas, buscando alcançar maior desempenho energético, conforto térmico e estética contemporânea (Martins, 2022) (Garcia; Andrade Junior; Oliveira, 2017).

1.3 Vidro e desempenho de fachadas envidraçada

O envidraçamento de uma fachada impacta diretamente na estética de uma edificação, proporciona integração visual, iluminação natural, ventilação e atuam diretamente no consumo de energia. Entretanto, as propriedades dos materiais podem contribuir ou

dificultar tais variáveis, sendo que os vidros, por exemplo, podem alterar o eixo solar, operando, muitas vezes, como elemento de controle ou expandindo o ganho de calor através dos coeficientes de fator solar e da transmissão luminosa (Fernandes, 2016).

Conforme a figura 1 observa-se que a energia solar incide diretamente no vidro, e penetra para o interior da edificação por ondas curtas e converte-se em calor, outra parte dessa energia é refletida para o exterior. Outra parcela, por meio da convecção poderá ser transmitida para o interior ou refletida para o exterior na forma de onda longa dependendo da condução do material. Entretanto, essa situação é influenciada pelos coeficientes de absortividade, refletividade e transmissividade do tipo de vidro. A reflexão de energia é o calor irradiado a partir do vidro em direção ao ambiente interno e ao externo.

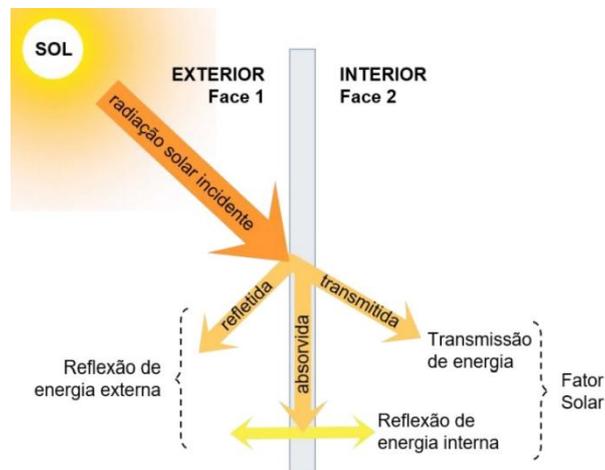


Figura 1 - Comportamento do vidro frente à radiação solar. **Fonte:** PINTO, 2017, p. 39

Os vidros impactam diretamente no desempenho lumínico e térmico, quanto maior o fator solar, maior será o ganho de calor interno, e quanto mais claro o vidro, maior o índice de transmissão luminosa.

Grande, Meseguer e Alonso (2005) estudaram a influência das propriedades do vidro no desempenho de fachadas de vidro duplo. A taxa de calor total no edifício foi calculada para dez fachadas diferentes formadas por diferentes combinações de vidro. Para introduzir esta carga térmica no edifício foi necessário resolver o campo de fluido no interior do canal formado pelas duas camadas de vidro. A vazão mássica no canal, bem como o aumento da temperatura média do ar que passa pelo canal também foram obtidos. Para reduzir as cargas térmicas no

edifício, também foi analisado o efeito de resfriamento resultante do sopro de ar pelo canal. Focando a atenção apenas no equilíbrio térmico, isto é, deixando de lado aspectos como estética ou custo, foi demonstrado que uma seleção adequada dos vidros que formam o canal pode reduzir a carga térmica no edifício em quase uma ordem de grandeza.

Também foi demonstrado que um uso adequado da corrente de ar que flui entre as superfícies de vidro pode melhorar o equilíbrio térmico global. Além disso, como o ar que circula pelo canal é aquecido, a massa de ar poderia ser utilizada para fins de aquecimento no inverno, economizando energia. O método empregado em qualquer outra combinação de vidros, constituindo uma ferramenta útil para a otimização térmica de fachadas de vidro duplo. Luther (2012), projetaram vários sistemas de envidraçamento usando as ferramentas de software VISION 3 (University of Waterloo, 1992) e WINDOW-6 (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2011), com o intuito de melhorar o ambiente térmico dos ocupantes perto da parede envidraçada de um escritório comercial. Os sistemas foram fabricados e testados experimentalmente para validar os resultados da modelagem do software. Posteriormente, os sistemas de envidraçamento foram adaptados ao escritório e testados in-situ durante um mês de verão. Os testes in-situ demonstraram que os modelos de simulação fornecem uma previsão relativamente boa de temperaturas de envidraçamento para arranjos de envidraçamento comuns e, como tal, os componentes de transferência de calor.

Uma investigação experimental e numérica do impacto da fachada de vidro de um edifício existente no microclima vizinho e na carga de resfriamento do edifício foi investigado (Mehaoued; Lartigue, 2019). A modelagem do microclima ao redor do edifício do estudo de caso foi realizada com o software ENVI-met. O impacto do microclima foi analisado calculando a carga de resfriamento do edifício do estudo de caso com três arquivos de dados meteorológicos. A carga de resfriamento foi calculada com o software de simulação de energia do edifício Ecotect para um dia típico de verão. Os arquivos de dados meteorológicos investigados consistiram nos dados experimentais da estação de referência do aeroporto de Argel, dados experimentais medidos no telhado do edifício do estudo e nos dados modelados pelo ENVI-met levando em consideração o microclima criado pelo edifício envidraçado. Verificou-se que a temperatura do ar no entorno do edifício aumentou significativamente devido às múltiplas reflexões do fluxo de calor por radiação, levando a um aumento na demanda de resfriamento.

Um estudo sobre o efeito de fatores geométricos como relação janela-parede e posicionamento da janela no consumo de energia para aquecimento, resfriamento e iluminação de uma célula de construção voltada para o sul em clima quente e úmido foi realizado (Ghosh; Neogi, 2018). Os desempenhos de diferentes dispositivos de proteção solar externos comumente usados foram comparados. O estudo também propôs o projeto de um dispositivo de sombreamento externo que, quando comparado com os projetos de sombreamento existentes, levou à redução do consumo anual de energia do edifício. As simulações foram realizadas usando o programa de simulação energética de edifícios *EnergyPlus* para o clima quente e úmido de Calcutá, na Índia. A fim de validar a aplicabilidade do novo sombreamento em outros locais com climas semelhantes, o desempenho do sombreamento proposto também foi avaliado para outros dois locais - Nápoles nos EUA e Hanói no Vietnã. Em ambos os casos, o novo sombreamento ofereceu melhor desempenho do que os outros projetos de sombreamento existentes, resultando no consumo mínimo de energia do edifício.

2.4 Tipos de Vidros

Os vidros consistem em uma variável extremamente importante para o desempenho de edificações, possuindo aspectos distintos no que diz respeito a luz, isolamento e transmissão de calor propiciados. Por isso, pode-se dizer que o conhecimento das suas características individuais e das possíveis combinações com materiais diversos, é fundamental. Diversos tipos de vidros são utilizados na construção civil, como os vidros do tipo: vidro float (ou flotado), temperado, laminado, insulado e de controle solar, de acordo com a NBR 7199:2016 (ABNT, 2016). O vidro do tipo float é o substrato para os demais de acordo com o tratamento e o sistema que estes vidros foram definidos. A seguir são apresentados os três tipos de vidro utilizados como base desta pesquisa: vidro reflexivo, Vidro baixo-emissivos (low-e) e o vidro insulado duplo com câmara de ar.

Vidro Reflexivo

As superfícies transparentes são bastante frágeis no que se refere ao ganho de calor direto, permitindo facilmente a entrada de radiação solar direta para o interior de um ambiente. A partir disso, profissionais buscam estratégias eficientes para revestimento em

fachadas, a partir da utilização de materiais refletivos, cores claras, películas espelhadas para equilibrar o conforto lumínico e termoenergético em fachada envidraçada. Dessa forma, surge o vidro reflexivo, que é bastante usado na construção civil, principalmente em projetos empresariais, como estratégia de controlar a insolação, a entrada de calor excessivo no ambiente interno e refletir outra parte da radiação para o exterior, por meio do princípio de reflexão.

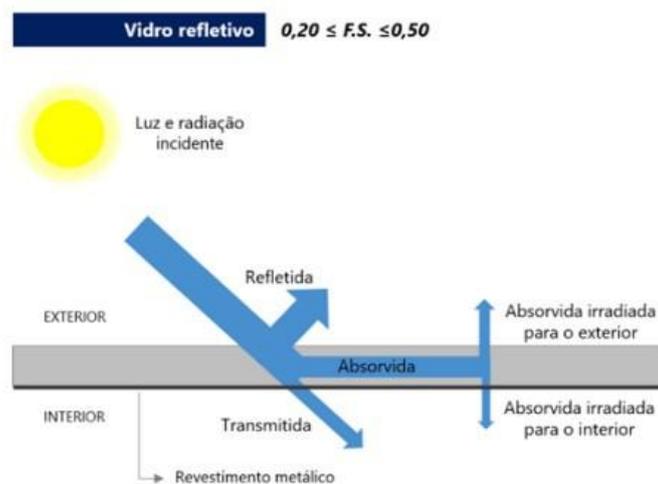


Figura 2 - Comportamento do vidro reflexivo frente à radiação incidente. **Fonte:** ZAGO, 2019, p. 17

Os vidros reflexivos passaram a integrar os envelopes de edificações nos grandes centros urbanos, devido a sua permeabilidade visual e pela conexão direta com o exterior, aliado ao seu poder de reflexão, o que auxilia aproximadamente dois terços dos ganhos de calor, quando comparados ao vidro incolor (Zago, 2019). A reflexão de calor pode favorecer o interior do ambiente, porém poderá haver desconforto alterando o microclima local, devido ao brilho excessivo. O vidro refletivo reflete para o eixo de mais iluminação natural. Isso significa que durante o dia a reflexão se dissipa externamente e a noite para o eixo interna na edificação, e se é excessiva o resultado pode ser desconfortável para o usuário.

O modelo se popularizou com a arquitetura contemporânea para projetos inovadores. São produzidos a partir do vidro *float* comum incolor ou colorido e são fundamentados a partir da inserção de uma camada metalizada, que pode ser de alumínio, cromo ou alumínio durante seu processo em uma das fases, e em seguida recebe uma camada

de tinta protetora (Westphal, 2014). São essas substâncias que conferem ao produto as características de refletividade parcial (Martins, 2022). Substancia essa que confere a visão da característica espelhada em um dos eixos. Atualmente, o mercado brasileiro dispõe de vidros espelhados de boa qualidade e para os mais diversos fins.

Vidro baixo-emissivos (low-e)

A escolha das fachadas envidraçadas garante aspecto estético moderno e contemporâneo à edificação, porém devem ter seus componentes devidamente estudados para que haja a garantia de durabilidade e bom desempenho para os ocupantes da edificação (Suller et al, 2017).

As fachadas envidraçadas são cada vez mais utilizadas nos edifícios comerciais buscando além da estética melhorar o conforto térmico, a eficiência lumínica e a energética. Em regiões de climas rigorosos, o vidro low-e possibilita a eficiência na economia de aquecedores, pois se perde menos calor através do vidro para o ambiente externo. Os vidros low-e são mais eficientes que os reflexivos comuns, capazes de selecionar ondas de radiação que irão entrar no ambiente, evitam perda de calor nos períodos frios (Luz, 2017). Ainda de acordo com a autora, geralmente esse tipo de vidro são utilizados como vidros duplos, reduz a transferência de calor por radiação em 5 a 10 vezes.

Os vidros com revestimento baixo emissivo (Low-e) reduzem a entrada direta de energia solar no edifício (Andreis 2014; Guardian, 2010). Este modelo de vidro contém uma película que reflete os raios do sol e filtra a luz natural, e a camada metalizada (óxido metálico) é aplicada na face superior do vidro. O vidro Low-e refletem menos luz visível e reduzem a entrada de energia solar, consequentemente controlar a transferência de calor por condução térmica, o que impede a troca de calor entre dois ambientes, o externo e o interno reduzindo o consumo energético para condicionamento do ar.

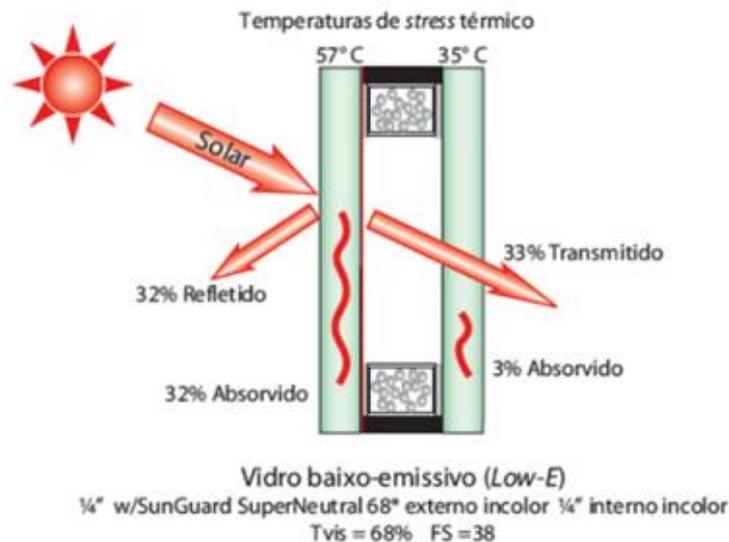


Figura 3 – Comportamento do vidro de baixa emissividade frente à radiação incidente. **Fonte:** Adaptado de Vidros de controle solar (2012)

O desempenho lumínico e termo energético do vidro low-e apresenta potencial de redução do consumo elétrico entre 25% a 35%, e essa redução pode chegar a barrar cerca de 60 a 65% dessa radiação devido suas características de oferta da luz natural reduz o uso da iluminação artificial e por controlar a temperatura do ambiente interior reduz ao uso de climatizadores de ar.

Vidro duplo com câmara de ar (insulado)

Os vidros insulados são formados basicamente por uma composição de duas ou mais placas de vidros de qualquer tipo de vidro plano (laminado, comum, temperado ou serigrafado) unidas hermeticamente e que formam uma câmara de ar, ou outro gás de baixa condutividade térmica, como o argônio, xenônio e criptônio e forma um conjunto unitário e que contribuem para o isolamento térmico.

Conhecido como “unidade insulada” e pelo termo em inglês IGU (Insulated Glass Unit), e é eficiente em diminuir a transferência de calor por condução através do vidro (Westphal, 2016). A Figura 4 apresenta um corte do perfil da composição de um vidro insulado duplo com câmara de ar.

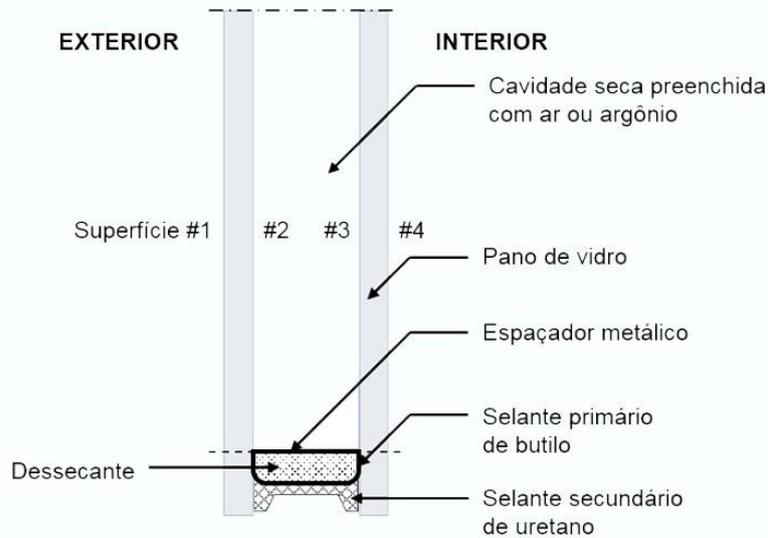


Figura 4 – Corte detalhado dos componentes do vidro duplo insulado. **Fonte:** Pinto (2017)

A partir da inserção da segunda lâmina de vidro, juntamente com a câmara de gás, favorece a elevação da resistência térmica do material, e a composição atua no fluxo exterior/interior, dificultando a entrada de calor para o interior da edificação. O sentido do fluxo de calor dependerá do eixo interno ou externo que estará com nível mais elevado de temperatura.

Segundo Pinto e Westphal (2016) para climas temperados, a câmara de ar isolante, impede a dissimilação de calor gerado pela carga interna instalada na edificação, por outro lado, aumenta o consumo para resfriamento. Por fim, essa composição disponibiliza alta performance de conforto térmico para fachadas envidraçadas, além de minimizar a transferência de calor e atenuar a propagação de ruídos entre locais distintos e por ser um vidro confeccionado por aparelhos automatizados e submetidos a rigorosos controles de qualidade.

3. Conclusões

Nesta pesquisa foi analisado o estado da arte das fachadas envidraçadas em edifícios comerciais e tipos de vidros utilizados no mercado brasileiro. Os resultados mostraram que apesar dos muitos benefícios para os edifícios, a utilização do envidraçamento de fachadas com o intuito de se conseguir um melhor desempenho energético e lumínico ainda possui algumas controversas e limitações, em especial relacionadas às condições bioclimáticas. Por isso, infere-

se que estudos mais aprofundados precisam ser realizados visando obter um melhor desempenho energético em locais com temperaturas elevadas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES (Agência Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro.

Referências

ANDREIS, C. **Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras**. Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal de Santa Catarina, 2014.

ANDREIS, C.; BESEN, P.; WESTPHAL, F. S. Desempenho energético de fachadas em climas brasileiros. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XV, 2014, Maceió. **Anais** [...]. Disponível em: http://www.researchgate.net/publication/301435454_Desempenho_energetico_de_fachadas_envidracadas_em_climas_brasileiros. Acesso em: 02 jun. 2023.

ANDREIS, Cinthia. **Influência de Fachadas Envidraçadas no Consumo de Energia de um Edifício de Escritórios em Diferentes Cidades**. Brasileiras. 198 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2014.

ANTOUN, S.; GHADDAR, N.; GHALI, K. **Coaxial personalized ventilation system and window performance for human thermal comfort in asymmetrical environment**. Energy Build, 111. p. 253–266, 2016.

ARICI, M.; KARABAY, H.; KAN, M. **Flow and heat transfer in double, triple and quadruple pane windows**. Energy Build, p. 394–402, 2015.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **Relatório Síntese 2020**: Ano base 2021, 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-631/BEN_S%C3%ADntese_2022_PT.pdf. Acesso em: 28 maio. 2023.

BRUGNERA, Rosilene Regolão. **Análise Integrada de desempenho energético, Impacto ambiental e custo: Estudo de soluções de fachada para edifícios de escritórios no Brasil**. 2018. 282 f. Tese (Doutorado) -Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-31082018-154505/pt-br.php>. Acesso em: 02 jun. 2023.

BRZEZICKI, M. **A typology of adaptive façades. An empirical study based on the morphology of glazed facades.** Cogent Arts & Humanities, p. 2-29, 2021.

CUSTÓDIO, F. C.; AGUIAR, G. S. **Aplicação estrutural do vidro na construção civil: fachadas estruturais com pilares de vidro.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina. Tubarão, 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: no caminho da transição energética,** 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Documents/NT%20DEA-SEE-007-2020.pdf>. Acesso em: 28 maio. 2023.

FERNANDES, J. T. **Qualidade da iluminação natural e o projeto arquitetônico.** 2016. Tese – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: file:///C:/Users/mloro/Downloads/2016_J%C3%BAliaTeixeiraFernandes.pdf. Acesso em: 07 de jun. 2023.

GARCIA, Rafael Silva Suller; ANDRADE JUNIOR, Luiz Velloso de; OLIVEIRA, Luciana Alves de. **Seleção de Vidros de Fachadas, Considerando o Requisito de Desempenho Térmico.** 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos TECSIC, s.l., 2017.

GHOSH, A.; NEOGI, S. **Effect of fenestration geometrical factors on building energy consumption and performance evaluation of a new external solar shading device in warm and humid climatic condition.** Solar Energy, 169, p. 94–104, 2018.

GOUGH, D.; OLIVER, S.; THOMAS, J. An Introduction to Systematic Reviews. 2. ed. London: Sage Publishing, 2017.

GRANDE, I. P.; MESEGUER, J.; ALONSO, G. **Influence of glass properties on the performance of double-glazed facades.** Applied Thermal Engineering, 25, p. 3163–3175, 2005.

GUARDIAN. **Manual Técnico: Build with light.** 2010. Disponível em: <http://www.sa.pt.sunguardglass.com/cs/groups/sunguardsouthamer>

HWANG, R. L.; CHEN, W. A. **Creating glazed facades performance map based on energy and thermal comfort perspective for office building design strategies in Asian hot-humid climate zone.** Applied Energy, 311, p. 2-17, 2022. ica/documents/web_assets/gi_002781.pdf. Acesso em 10 jun. 2023.

KO, D. H. **Fenestration Guideline for Energy and Daylight Efficiency: Evaluation and Prediction of Performance in Office Buildings,** 2009.

KONTOLEON, J. K. **Dynamic thermal circuit modelling with distribution of internal solar radiation on varying facade orientations.** Energy Build, 47, p. 139–150, 2012.

LUTHER, M. **Designing for thermal comfort near a glazed exterior wall**. Architectural Science Review, p. 2-45, 2012.

LUZ, I. B., **O Impacto das Ilhas de Calor na Escala Gregária de Brasília com Ênfase nas Fachadas Espelhadas** Dissertação de Pós-Graduação e Pesquisa pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas – FATECS Brasília-DF 2018.

MARTINS, Lívia de Oliveira. **Fachada de vidro: Reflexos da luz natural em uma cidade dos trópicos**. (Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo). Área de Concentração: Cidades. Linha de Pesquisa 2: Tecnologias. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2020. [file:///C:/Users/mloro/Downloads/Fachada%20de%20vidro%20reflexos%20da%20luz%20natural%20em%20uma%20cidade%20dos%20tr%C3%B3picos%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/mloro/Downloads/Fachada%20de%20vidro%20reflexos%20da%20luz%20natural%20em%20uma%20cidade%20dos%20tr%C3%B3picos%20(1).pdf).

MEHAOUED, K.; LARTIGUE, B. **Influence of a reflective glass façade on surrounding microclimate and building cooling load**: Case of an office building in Algiers. Sustainable Cities and Society, 46, p. 1-10, 2019.

PINTO, Mônica Martins. **Desempenho Energético de Edifícios de Escritório com Vidros Insulados em Climas Brasileiros**. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina.

SCALCO, V. A.; PEREIRA, F. O. R.; RIGATTI, D. **Impacto de novas edificações na vizinhança: proposta de método para a análise das condições de iluminação natural e de insolação**. In: MARTINS, Lívia de Oliveria. **Fachada de Vidro: reflexos da luz natural em uma cidade dos trópicos**. 148f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió, 2022.

SHAMERI, M. A. et al. Perspectives of double skin façade systems in buildings and energy saving. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 3, p. 1468–1475, abr. 2011.

SULLER, R. S. G. et al. **Seleção de vidros de fachadas, considerando o requisito de desempenho térmico**. 1º Workshop de Tecnologia de Processos e Sistemas Construtivos TECSIC – 2017 03 e 04 de agosto de 2017.

VEDOVELLO, C. A. da S. **Gestão de projetos de fachadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-06062013-163302/pt-br.php>. Acesso em: 02 de jun. 2023.

WESTPHAL, F. **Manual técnico do vidro plano para edificações**. 1. ed. São Paulo: Abividro, 2016. 183 p.

WESTPHAL, F.S. **Vidros de controle solar, ARQ5658 – Eficiência Energética e Sustentabilidade em Edificações** https://arq5658.paginas.ufsc.br/files/2012/03/a4_vidros.pdf. pág 24 Acesso em 07/06/2023.

WHESTPHAL, F. S. **Vidros de alto desempenho e eficiência energética em edificações**. In: MARTINS, Lívia de Oliveria. **Fachada de Vidro: reflexos da luz natural em uma cidade dos trópicos**. 148f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Alagoas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Maceió, 2022.

ZAGO, A. C. **FACHADAS REFLETIVAS INFLUÊNCIA SOBRE AS EDIFICAÇÕES DO ENTORNO**. Trabalho de conclusão de curso. Departamento de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal de Santa Catarina, 2020.

https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/204845/ANA%20CAROLINA_FACHADAS%20REFLETIVAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y