



O FUTURO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – UMA ANÁLISE A PARTIR DO VIDRO ELETROCRÔMICO

Bruna Andrade Sturmer¹, Isabela Lopes Rodrigues², Marina Troyner Scoss³, Rodrigo Borcoski⁴, Andressa Maria Woytowicz Ferrari⁵

¹Acadêmica do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Ponta Grossa/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. ra-22257577-2@alunos.unicesumar.edu.br

²Acadêmica do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Ponta Grossa/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. ra-22092209-2@alunos.unicesumar.edu.br

³Acadêmica do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Ponta Grossa/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. marinasboss@alunos.unicesumar.edu.br

⁴Acadêmico do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Ponta Grossa/PR, Universidade Cesumar – UNICESUMAR. ra-22014785-2@alunos.unicesumar.edu.br

⁵ Professora orientadora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, Campus Ponta Grossa/PR, Universidade Cesumar - UNICESUMAR. andressa.ferrari@unicesumar.edu.br

RESUMO

Este artigo busca apresentar a utilização do vidro eletrocrômico como alternativa sustentável para a melhoria da eficiência energética das edificações. Inicialmente, faz-se uma análise do contexto atual da construção civil e seus embates com a sustentabilidade, posteriormente apresenta-se o vidro eletrocrômico como opção de material que pode amenizar parte dos impactos ambientais das construções. Como metodologia, foram realizadas pesquisas de caráter bibliográfico e exploratório acerca do funcionamento, eficiência e aplicação do material em edifícios. Como resultados obtidos constatou-se que o vidro eletrocrômico é de grande serventia na economia energética e conforto térmico de edificações, embora sua disseminação no mercado tenha ênfase no meio internacional. Por fim, conclui-se que o material necessita de maior difusão no cenário nacional, a fim de trazer um caráter mais sustentável para as habitações brasileiras.

PALAVRAS-CHAVE: Coloração; Conforto térmico; Construção civil; Eficiência ambiental.

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento da sociedade, contribuindo na geração de empregos e no desenvolvimento social, sendo um dos principais motores da economia. No entanto, é a área que mais utiliza os recursos naturais, sendo causadora de diversos problemas ambientais, pelo consumo em larga escala desses recursos para a construção e reparação de edifícios.

Por esse motivo, conhecer novas tecnologias e materiais construtivos ambientalmente apropriados e saber como eles se comportam, como irão ajudar o ambiente construído e qual a sua eficiência ambiental, é fundamental para esses profissionais. Sendo de extrema importância, minimizar o uso exagerado dos recursos não renováveis, com essas tecnologias e materiais, visando a melhora da sua eficiência ambiental e diminuindo a poluição.

O consumo energético e o aquecimento global são pautas recorrentes na construção civil. A implantação de fachadas de vidro se mostra um dos principais contribuintes do aumento do consumo energético. O aumento desse consumo é um dos principais responsáveis pelo aquecimento global, pois a queima dos combustíveis fósseis ainda é muito utilizada no mundo para a obtenção de energia, sendo essa queima a principal produtora de dióxido de carbono (CO₂), causador do aquecimento global. Além disso, segundo a *Global Status Report* em 2022, realizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), aproximadamente 37% desse gás origina-se de todo o ciclo de vida dos edifícios. Brugnera (2018) nos mostra que os edifícios envidraçados são os grandes responsáveis pelo impacto ambiental. A partir de um estudo comparativo entre



dois modelos de fachadas, a fachada em cortina (totalmente envidraçada) e a fachada tradicional com paredes de alvenaria e esquadrias de vidro, representadas na Figura 1, constatou-se que os edifícios com fachada cortina consomem cerca de 25% a mais de energia do que tradicionais. Isso influencia no aquecimento global que está cada vez mais acelerado em função da emissão de gases do efeito estufa produzidos na geração de energia, e conseqüentemente na alta demanda de aparelhos de climatização. Esta situação é cada vez mais visível no Brasil, pela adoção dos chamados edifícios corporativos, muito comuns nos Estados Unidos, que são totalmente envidraçados, fechados e não utilizam ventilação natural.

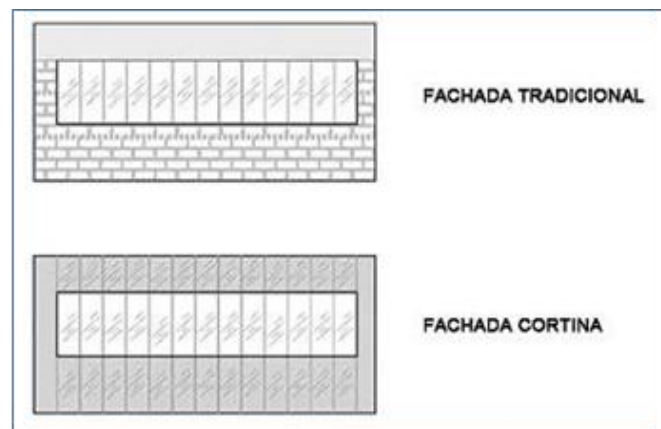


Figura 1: Fachada Tradicional X Fachada Cortina
Fonte: BRUGNERA, 2018

Para amenizar os impactos causados pelo vidro comum, estudos de novos materiais e tecnologias vêm sendo empregados no mercado da construção civil. Os estudos dos vidros eletrocromicos (Figura 2), vidros que apresentam transmitância variável, surgem como uma alternativa fundamental para a integração dos vidros nas fachadas, trazendo conforto térmico e luminoso para as edificações sem o auxílio de fontes artificiais, amenizando os impactos do aquecimento global (PORTO, 2019).



Figura 2: Janela Eletrocromica, escritório – França
Fonte: Sage Glass (2022)

O material melhora significativamente a eficiência energética, fazendo com que o uso de sistemas artificiais para proporcionar o conforto térmico não seja necessário. Este artigo visa pesquisar e analisar o material inovador na construção civil, vidro eletrocromico, por meio de uma pesquisa bibliográfica, mostrando sua sustentabilidade ambiental e a eficiência no ambiente construído, e a partir de uma pesquisa exploratória analisar os



objetivos atingidos a partir dessa escolha, com um exemplo de edificação que utiliza esse material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa é de natureza bibliográfica, documental e exploratória. Para a elaboração desta pesquisa, foi inicialmente realizado um levantamento bibliográfico e documental de todos os dados essenciais, em artigos científicos, revistas científicas, sites governamentais e documentos. Após isso, foi realizada uma pesquisa exploratória, com a análise de edificações que empregam esse material.

Com o auxílio das informações obtidas, a partir das pesquisas realizadas foi desenvolvida uma maquete ilustrando o funcionamento do material.

Para a confecção da maquete (Figura 3) foram utilizados os seguintes materiais: papel *duplex*, papel *holler*, celofane azul, papel cartão cinza, foam, acetato e uma amostra de vidro comutável ou inteligente.



Figura 3: Maquete empresa Otto Fuchs.
Fonte: Autores (2023)

A maquete é composta por dois modelos, sendo um a representação de uma janela com o vidro eletrocromico aplicado (Figura 4), e o outro modelo a representação do material aplicado em uma edificação inteira (Figura 5). A representação da janela através do uso da amostra de filme inteligente (Figura 4) foi desenvolvida com o intuito de explicar o funcionamento do vidro eletrocromico, que filtra a incidência de raios solares em ambientes de forma semelhante ao efeito opaco da maquete.

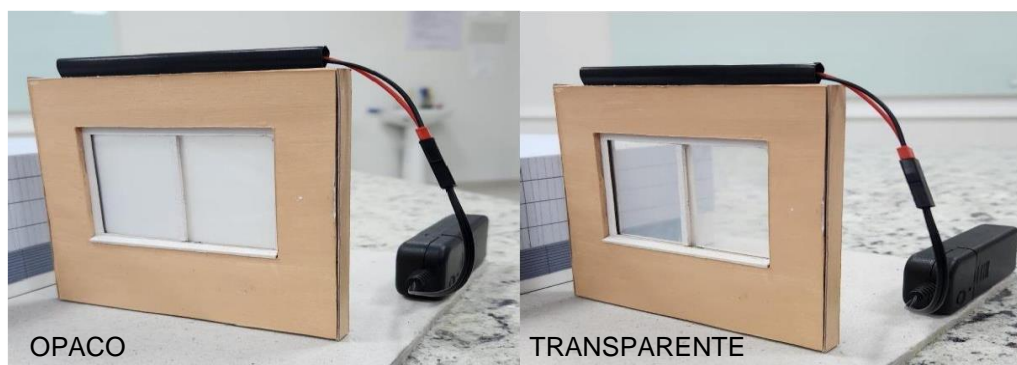


Figura 4: Maquete Vidro Eletrocromico aplicado.
Fonte: Autores (2023)



Figura 5: Maquete representação edifício Otto Fuchs.
Fonte: Autores (2023)

O segundo modelo da maquete (Figura 5) é uma representação do edifício administrativo da empresa Otto Fuchs, que possui toda sua fachada principal revestida por vidro eletrocromico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção iremos discorrer sobre os resultados obtidos, o funcionamento do vidro eletrocromico, sua sustentabilidade ambiental e eficiência do ambiente construído, análise técnica de seu desempenho em edificações, e sua disseminação no mercado.

3.1 JANELAS ELETROCRÔMICAS

Chamado também de vidro dinâmico e vidro inteligente, o vidro eletrocromico está sendo bastante discutido atualmente por conta do seu desempenho ambiental. Este vidro consegue mudar sua transmitância por meio de uma descarga elétrica, controlando assim a intensidade luminosa que entra nos ambientes. De acordo com Porto (2019, p.23):

Um dispositivo eletrocromico é constituído de dois condutores iônicos feitos de óxido de estanho dopado com índio (ITO) ou flúor (FTO), um filme eletrocromico, eletrólito transparente (condutor iônico que pode ser líquido, sólido ou gel) e um reservatório de ions de lítio ou hidrogênio, (Figura 6,7). (Porto, 2019, p.23)

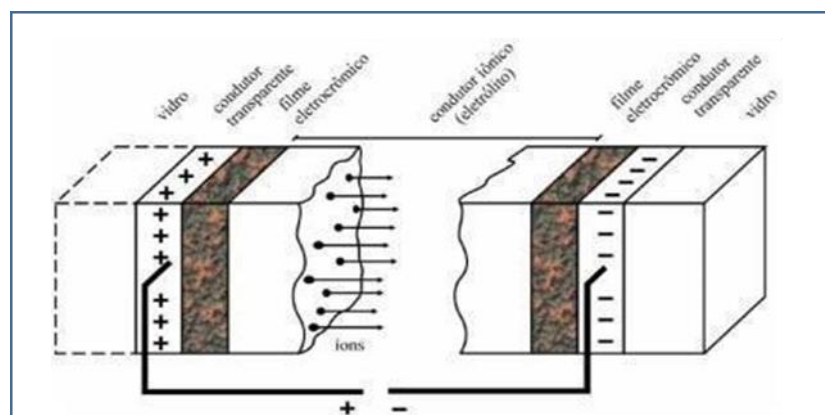


Figura 6: Partes dispositivo eletrocromico
Fonte: (GRANQVIST, 2006); adaptado PORTO 2019

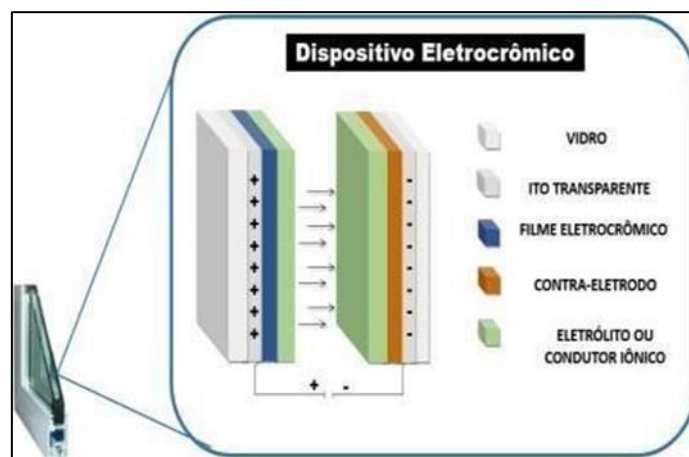


Figura 7: Disposição Janela Eletrocromática
Fonte: (GRANQVIST, 1998); adaptado PORTO 2019.

O eletrodo de trabalho (filme eletrocromático) contém camadas eletrocromáticas que mudam de cor com a intercalação de espécies iônicas como íons Li^+ , H^+ , facilitando o trabalho do eletrólito. O contra eletrodo é o material com propriedade de armazenamento de íons, o qual pode ser também um material eletrocromático, chamado de eletrodo secundário, aumentando o contraste óptico entre os estados transparente e colorido, possibilitando mais de um estado colorido ao dispositivo (PORTO, 2019).

Porto (2019) nos mostra que em seu estado natural, o vidro é totalmente transparente e ganha a propriedade de alterar sua coloração a partir da aplicação de uma diferença de potencial, um impulso elétrico. Seu fenômeno de alteração de coloração está ligado à inserção de íons de lítio (Li^+) ou hidrogênio (H^+) que migram do contra eletrodo para a camada de filme eletrocromático, colorindo o vidro. Após cessada a aplicação da voltagem de 1 a 5 volts, o vidro demora de 12 a 24 horas para ficar totalmente transparente novamente. Isso ocorre porque esse vidro possui um tipo de memória que proporciona a duração do sistema durante o dia mesmo após ser desligado. Suas alterações óticas (mudança de cor) dependem do tamanho do dispositivo e ocorrem gradualmente. Áreas menores podem escurecer em segundos, enquanto as maiores podem demorar minutos.

O vidro eletrocromático possui estados chamados de claro, resfriamento e escuro, como demonstrados na Figura 8. No estado claro o vidro apresenta o mesmo funcionamento dos vidros comuns, ou seja, a radiação infravermelha e visível atravessam o vidro. No estado, resfriamento, uma grande parte dessa radiação ainda atravessa enquanto a outra parte é refletida. E por último, no estado escuro as radiações são refletidas passando somente uma pequena parte delas. Já a radiação ultravioleta é refletida em todos os estados (COSTA; AMORIM, 2022).

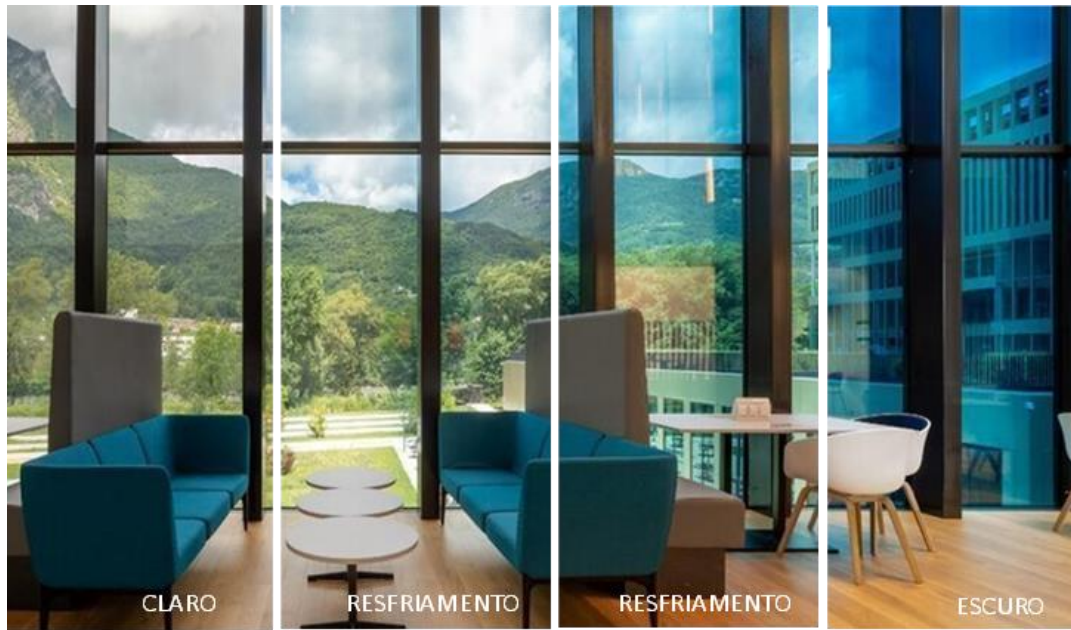


Figura 8: Estados Janela Eletrocromica
Fonte: Sage Glass (2022)

Para retomar o estado original é necessário inverter a polaridade do sistema, por meio de um interruptor ou sensores de luz, que farão com que as moléculas voltem a suas condições originais e conseqüentemente o vidro a sua transparência.

Atualmente com o avanço dos estudos, a fabricante *Sage Glass* (líder mundial no mercado de vidros eletrocromicos) traz novas formas de controlar a polaridade dos vidros, um sistema de controle inteligente, que tinge e os limpa automaticamente, tendo a opção de controlá-lo por meio de aparelhos eletrônicos. Um exemplo é o seu novo produto, *Sage Glass Harmony*. Considerada a janela inteligente mais tecnológica do mercado, a *Sage Glass Harmony*, diferente de todos os produtos do mercado, tinge os painéis de vidro em gradientes, obtendo a partir disso mais de um estado (Claro, Resfriamento e Escuro) em uma única peça, como mostrado na Figura 10. O produto auxilia na regulagem da luz local, além de elevar a beleza estética dos ambientes (*SAGE GLASS*, 2020).



Figura 10: Sammons Financial Group (Sage Glass Harmony)
Fonte: Sage Glass (2020)



3.2 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E EFICIÊNCIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Pesquisas voltadas a otimização do consumo de energia apontam o vidro um dos causadores do desconforto térmico no interior dos ambientes e sendo um dos fatores que contribuem para o gasto de energia. De acordo com Porto (2019, p.43):

O homem passa grande parte de seu tempo dentro de edificações e, portanto, cada vez mais energia elétrica é utilizada na climatização destes ambientes. A busca por novas tecnologias que possibilitem a redução do consumo de energia elétrica tem sido incessante e as janelas eletrocromicas vem se destacando nesse quesito. (PORTO, 2019, p.43)

O vidro eletrocromico, pode ser utilizado como alternativa para a redução do consumo de energia e efeitos do aquecimento global, ele filtra a incidência de raios solares que produzem calor no interior dos ambientes, reduzindo o uso de sistemas de refrigeração artificial como aparelhos de climatização, evitando o alto consumo de energia elétrica e a emissão dos gases poluentes, que por sua vez contribuem para o efeito estufa.

Mesmo considerando fatores que influenciam o conforto térmico nos ambientes como: resistência térmica da roupa utilizada pelos indivíduos; o calor gerado por metabolismo de cada um e a temperatura do ar, temperatura radiante, umidade relativa e velocidade do ar; o vidro possui capacidade de prover conforto térmico e ambiental ao meio, reduzindo o gasto energético.

De acordo com Granqvist (2014), as janelas eletrocromicas além de economizar energia nos edifícios também melhoram os ambientes internamente, aumentando a produtividade no local de trabalho, deixando assim os usuários mais satisfeitos.

A empresa *Sage Glass* disponibiliza em seu site um folheto baseado no Sistema Global De Avaliação De Sustentabilidade (GSAS), onde mostra que o vidro eletrocromico quando utilizado a noite em seu estado colorido reduz drasticamente a passagem da luz transmitida pelos edifícios, assim preservando os animais e plantas noturnos, além de promover o conforto acústico a partir da redução dos ruídos externos. Por fim, os vidros da *Sage Glass* possuem um sistema de controle automatizado que permite acompanhar a operação do sistema, podendo assim ter uma manutenção preventiva dos vidros. Em 2019 a empresa recebeu a marca de qualidade da Organização do Golfo para Pesquisa e Desenvolvimento (GORD).

3.3 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO

A empresa Otto Fuchs (Figura 11), está localizada em Meinerzhagen, Alemanha. O vidro eletrocromico valoriza a aparência leve e aberta da fachada de vidro de seu edifício, sem comprometer sua eficácia na proteção solar externa. Além disso, a posição exposta do prédio exigia uma proteção solar resistente ao vento. Para solucionar esses desafios, a empresa optou pelo vidro eletrocromico, que foi instalado nas quatro fachadas do edifício. Utilizando sensores e um sistema de gerenciamento de luz natural, a coloração dos painéis é controlada automaticamente para garantir o brilho adequado e a proteção térmica no verão, sem a necessidade de persianas. Cada funcionário pode personalizar as configurações de sombreamento das zonas de janela individuais utilizando tablets instalados nos escritórios. Com o vidro de proteção solar inteligente, o ambiente de trabalho é livre de reflexos em qualquer hora do dia e em todas as condições climáticas, proporcionando níveis otimizados de luz do dia. (SAGE GLASS, 2020)



Figura 11: Empresa Otto Fuchs (Meinerzhagen, Alemanha)

Fonte: Sage Glass (2020)

3.4 DISSEMINAÇÃO NO MERCADO

No mercado internacional a maioria dos fornecedores do vidro eletrocromico exibem um catálogo de casos já construídos nos ramos industriais, hospitalares, culturais, comerciais e residenciais, sendo eles: indústrias em geral, aeroportos, hospitais, centro culturais, universidades, hotéis, escritórios, lojas, residências e outros que abrangem diversos países como: Austrália, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Alemanha, Irlanda, Itália, Holanda, Noruega, Polônia, Suécia, Suíça, Emirados Árabes, Reino Unido e EUA. Como é o exemplo das marcas *SageGlass* (EUA) e *ChromoGenics* (SE). (OLIVEIRA, 2014)

As empresas fornecedoras de vidros eletrocromicos oferecem aos seus clientes um orçamento com base em cálculos de consumo de energia, economia, ambiente e saúde, gerando a oportunidade de avaliar quanto custa o investimento do vidro ao longo de 20, 30 ou 40 anos, criando a solução ideal para cada caso. Disponibilizando também em seus sites guias de produtos, aplicações e treinamento de sua instalação, apontando seus diferenciais, valores, princípios e destacando sua eficiência ambiental como argumentos para a disseminação do vidro eletrocromico.

De acordo com Oliveira (2014) existem diversos tipos de vidros inteligentes no mercado internacional, como exemplos os vidros polarizados e termocromicos. No Brasil, o vidro eletrocromico ainda possui pouca visibilidade no mercado, sendo o vidro polarizado o mais difundido. Isso ocorre, pois o seu alto preço dificulta sua disseminação. Seu metro quadrado equivale a aproximadamente \$540,00 a \$1.620,00 dólares (R\$ 2.732,4 a R\$ 8.197,2 reais) (MODERNIZE, 2023). Comparado ao valor do vidro polarizado (apresenta algumas semelhanças ao eletrocromico) que no mercado nacional custa em média R\$ 2.000,00 o metro quadrado, o custo acaba sendo um dos motivos pelo qual se torna inviável a aplicação da tecnologia eletrocromica no Brasil.

4 CONCLUSÃO

A construção civil é um dos setores responsáveis pela série de impactos ambientais atuais no planeta, desde a utilização de recursos naturais em larga escala até o elevado consumo energético do ciclo de vida das construções, sendo assim este setor impacta diretamente a sociedade. Desta forma, é necessário pensar em alternativas que diminuam esses impactos. O vidro eletrocromico surge como opção para a otimização energética das edificações, proporcionando economia e conforto térmico, possibilitando ainda um aspecto visual diferente nos ambientes.

No entanto, através desta pesquisa pode-se concluir que o material possui pouca visibilidade no Brasil, fator que atrelado ao seu alto preço no mercado nacional dificulta sua



disseminação. Portanto, faz-se necessário mais estudos sobre o vidro eletrocromico e suas vantagens no território nacional, possibilitando uma maior utilização no futuro. A etapa final do estudo, a maquete surge como alternativa para viabilizar a divulgação do conteúdo abordado, objetivando, uma maior tomada de conhecimento sobre o material para o público geral.

REFERÊNCIAS

BRUGNERA, Rosilene Regolão. **Análise integrada de desempenho energético, impacto ambiental e custo: estudo de soluções de fachadas para edifícios de escritório no Brasil**. 2018. 282p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo Instituto de Arquitetura e Urbanismo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-31082018-154505/publico/TeseCorrigidaRosileneRegolao.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.

CANNAVALE, Alessandro. et. al. **Smart Electrochromic Windows to Enhance Building Energy Efficiency and Visual Comfort**. 2020. 17pg. MDPI. Disponível em: [file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/energies-13-01449%20\(1\).pdf](file:///D:/DOCUMENTOS/Downloads/energies-13-01449%20(1).pdf). Acesso em: 30 mar. 2023.

CASE STUDIES. **Sage Glass**. 2023. Disponível em: <https://www.sageglass.com/case-studies>. Acesso em: 30 mar. 2023.

COSTA. João Francisco Walter. et al. **Materiais transparentes e translúcidos inovadores em fachadas e seu desempenho em iluminação natural: panorama internacional e aplicabilidade no contexto brasileiro**. 2022.198p. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ac/a/sQVX6Gz95rNQMSBS9dqgLHB/?lang=pt>. Acesso em: 30 mar. 2023.

GRANQVIST. et al. **Smart Windows glass and intelligent glass façades**. 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/248164238_Smart_windows_and_intelligent_glass_facades. Acesso em: 30 mar. 2023.

HOW MUCH DO SMART WINDOWS COST. 2023. Disponível em: <https://modernize.com/homeowner-resources/windows/smart-windows-cost>. Acesso em: 30 mar. 2023.

OLIVEIRA. Renato S. de. et al. Janelas Eletrocromicas: **Uma Nova Era em Eficiência Energética**. 2014. 21pg. Revista Virtual De Química. Disponível em: https://s3.saeast.amazonaws.com/static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v7n1a1_7.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

PORTO. Joseane da Silva. et. al. **Desempenho termoenergético e luminoso de uma edificação de escritório com a utilização de vidros eletrocromicos**. 2020. 15pg Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/zphtwHvFFxmijRgTS6crPMF/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 30 mar. 2023.



PORTO, Joseane da Silva. **Desempenho termoenergético e ótico da janela inteligente por simulação computacional**. 2019. 95p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pelotas. Disponível em:

http://guaiaca.ufpel.edu.br:8080/bitstream/prefix/4833/1/Tese_Joseane_Porto.pdf. Acesso em: 30 mar. 2023.

PRODUCT OVERVIEW. **Sage glass**, 2023. Disponível em:

<https://www.sageglass.com/products/product-overview>. Acesso em: 30 mar. 2023.

UNEP. **Global Status Report For Buildings and Construction**. UNEP 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction#:~:text=The%202022%20Buildings%20DGSR%20finds,2021%20above%20pre%2Dpandemic%20levels>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SAGE GLASS. **GSAS DESIGN & BUILD**. SAGE GLASS 2017. Disponível em:

https://www.sageglass.com/sites/default/files/2022-05/46404_gsas_brochure_lq.pdf
Acesso em: 30 mar. 2023.