



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



**Núlia Carinele Dias**

# **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFÍCIOS COM FACHADAS DE VIDRO: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Ouro Preto

2022

Eficiência energética em edifícios com fachadas de vidro: Uma revisão de literatura

Núlia Carinele Dias

Trabalho Final de Curso apresentado  
como parte dos requisitos para obtenção  
do Grau de Engenheiro Civil na  
Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 13 de janeiro de 2022.

Área de concentração: Materiais e Componentes da Construção

Orientador: Prof. D.Sc. Guilherme Jorge Brigolini Silva – UFOP

Co-orientador: Prof<sup>a</sup>. M.Sc. Vanessa Pereira Santana – UFOP

Ouro Preto

2022

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D541e Dias, Nulia Carinele.  
Eficiência energética em edifícios com fachadas de vidro  
[manuscrito]: uma revisão de literatura. / Nulia Carinele Dias. - 2022.  
68 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Jorge Brigolini Silva.  
Coorientadora: Ma. Vanessa Pereira Santana.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola  
de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Fachadas (Arquitetura). 2. Vidro - Vidros planos. 3. Construção civil.  
4. Eficiência energética. 5. Vidro - Vidros de Controle solar. I. Santana,  
Vanessa Pereira. II. Silva, Guilherme Jorge Brigolini. III. Universidade  
Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 621

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Núlia Carinele Dias**

Eficiência energética em edifícios com  
fachadas  
de vidro: Uma revisão de literatura

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal  
de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil

Aprovada em 13 de janeiro de 2022

### Membros da banca

D.Sc. Guilherme Jorge Brigolini Silva - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto  
M.Sc. Vanessa Pereira Santana – Co-orientador Universidade Federal de Ouro Preto  
M.Sc. José Carlos Borba Júnior - Universidade Federal de São João Del Rei  
M.Sc. Fernanda Pereira da Fonseca Elói- Universidade Federal de Ouro Preto

Guilherme Jorge Brigolini Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de  
Conclusão de Curso da UFOP em 22 de julho e 2022.



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Jorge Brigolini Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em  
02/08/2022, às 09:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro  
de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?  
acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0371661** e o código CRC **B2F1741A**.

*“Você é o comandante de sua alma (a mente subconsciente) e senhor de seu destino. Lembre-se, você tem a capacidade de escolher. Escolha a vida! Escolha a saúde! Escolha a felicidade!”*

*Joseph Murphy, livro O Poder do Subconsciente.*

## **AGRADECIMENTOS**

Chegar até aqui tem um significado além de um diploma de graduação de uma das melhores universidades do país, para mim, foi a prova de que posso me superar dia após dia. Fazer um curso superior não nos torna apenas proficientes naquilo que estudamos nas salas de aula, também nos prepara para os desafios que hão de surgir ao longo da vida. Este trabalho que aqui apresento, representa uma grande vitória para mim, além de todo o conhecimento adquirido ao fazê-lo. E só foi possível com a orientação, apoio e compreensão de várias pessoas.

Agradeço, primeiramente à Deus, por ouvir as minhas orações. A fé é responsável por todas as minhas conquistas!

Ao professor Doutor Guilherme Brigolini e à professora Mestra Vanessa Santana pela orientação, disponibilidade e apoio durante todo o desenvolvimento desse trabalho.

À UFOP e ao departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, em especial a todos os professores por compartilharem seus conhecimentos. À Fundação Gorceix pelo apoio e por todos os cursos ofertados de forma gratuita. Ao departamento de convênios da Prefeitura Municipal de Ouro Preto pelos aprendizados e experiências vividas. Todos os ensinamentos foram essenciais à minha formação.

Aos meus pais por terem acreditado em mim e me apoiado durante toda essa jornada.

Ao Ronan, meu amigo e companheiro, por estar comigo em todos os momentos e por sempre me fazer acreditar que é possível.

Aos meus amigos da República Bico Doce, da Civil e de Ouro Preto pelo companheirismo e por todos os belos momentos vividos.

A todos o mais sincero obrigado!

## RESUMO

O vidro vem ganhando cada vez mais espaço no setor da construção civil, seja residencial ou comercial. Essa crescente utilização dos vidros em fachadas fez aumentar o desenvolvimento de novas tecnologias envolvendo os sistemas construtivos e o vidro em si a fim de torna-lo mais eficiente energeticamente. A escolha do sistema de fachadas e a especificação correta dos vidros a serem utilizados são de suma importância para aliar um consumo eficiente de energia e boas soluções arquitetônicas. Esse trabalho tem como objetivo apresentar, por meio de uma revisão de literatura sobre as novas tecnologias envolvendo os vários sistemas de construção de fachadas assim como os vidros planos para aplicações em fachadas com ênfase na eficiência energética, ressaltando a importância de se conhecer as propriedades de cada vidro e qual se adequa melhor a cada projeto. Considerando que os vidros de controle solar contribuem para promover a redução do consumo energético, melhorando o desempenho térmico e tornando a edificação mais sustentável, como é possível verificar em todos os trabalhos analisados.

Palavras-chaves: Construção civil, Fachadas em pele de vidro, Eficiência energética, Vidros de controle solar, Vidros planos.

## **ABSTRACT**

Glass has been gaining more and more space in the civil construction sector, whether residential or commercial. This increasing use of glass in façades has increased the development of new technologies involving building systems and glass itself in order to make it more energy efficient. The choice of the façade system and the correct specification of the glass to be used are of utmost importance to combine an efficient consumption of energy and good architectural solutions. This work aims to present, through a literature review on new technologies involving the various systems of facade construction as well as the flat glasses for applications in facades with emphasis on energy efficiency, highlighting the importance of knowing the properties of each glass and which one best suits each project. Considering that solar control glass contributes to promote the reduction of energy consumption, improving thermal performance and making the building more sustainable, as it is possible to verify in all the analyzed works.

Keywords: Building construction, Glass facades, Energy efficiency, Solar control glass, Float glass.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema ilustrativo elaborado, considerando parâmetros e aspectos que devem ser considerados durante a concepção de uma fachada. (SACHT , BRAGANÇA, <i>et al.</i> , 2012) .....	5
Figura 2 - Visual externo da fachada Grid (cortina) (Alquali, 2021). .....	6
Figura 3 - Detalhe da fixação do vidro na estrutura metálica. (Selta Metais, 2014) .....	7
Figura 4 – Detalhe da fixação no sistema de fachadas Grid (Alquali, 2021).....	8
Figura 5 – Fachada da obra Blue Mall no Rio de Janeiro que ousou combinar Fachada <i>Spider</i> com vidros triangulares temperados-laminados e refletivos (PKO, 2018) .....	9
Figura 6 – Detalhe da montagem e fixação dos vidros no sistema <i>Spider</i> , é deixado um espaço entre os vidros para dilatação e contração (br Glass, 2021).....	10
Figura 7 – Exterior de um edifício com fachada construída no sistema <i>Stick</i> (Fachada Stick, 2021). .....	11
Figura 8 – Instalação de uma folha no sistema de fachada <i>Stick</i> . As folhas são instaladas uma a uma pelo lado externo (PKO, 2021). .....	11
Figura 9 – Sistema de fixação da fachada <i>Stick</i> encaixilhado (Alquali, 2021). ...	12
Figura 10 - Sistema de fixação da fachada <i>Stick</i> estrutural <i>glazing</i> (Alquali, 2021). .....	12
Figura 11 – Fachada de edifício construída com sistema unitizado (Abravidro, 2018). .....	13
Figura 12 – Sistema de fixação estrutural <i>glazing</i> no painel unitizado (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013).....	14
Figura 13 – Processo de içamento de um painel unitizado para sua fixação na fachada do prédio (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013).....	15

Figura 14 – Fachada da Torre de Matarazzo, em São Paulo, executada com vidros de controle solar e projetada por Aflalo e Gasperini Arquitetos (WESTPHAL, 2016). .....	19
Figura 15 – Lado interno de uma edificação com fachada utilizando vidros de controle solar (Guardian Glass, 2021).....	19
Figura 16 – Padrões de quebra de diferentes tipos de vidros (WESTPHAL, 2016). .....	21
Figura 17 – Composição de um vidro laminado (WESTPHAL, 2016).....	23
Figura 18 – Amostra de vidro laminado com PVB de 1,52mm (Próprio autor, 2022). .....	23
Figura 19 – Escada e guarda corpo executados com vidro laminado, projeto: <i>Apple Store</i> em Nova Iorque (WESTPHAL, 2016). ....	24
Figura 20 – Algumas disposições de vidros insulados: simples, insulado laminado e triplo insulado (GLASSEC VIRACON, 2018).....	25
Figura 21 – Fachada do edifício <i>7 World Trade Center</i> com vidro insulado de controle solar (WESTPHAL, 2016).....	26
Figura 22 – Vidro refletivo em prédio localizado na Faria Lima em São Paulo (CONDOMÍNIOS, 2021).....	27
Figura 23 – Aparência do vidro aramado utilizado em uma divisória (Arch Glass, 2021). ....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferentes tipos de vidro fabricados e processados. Adaptado de (WESTPHAL, 2016) .....	16
Tabela 2 - Quadro com as principais normas nacionais relacionadas à aplicação dos vidros planos na construção civil. Atualizado e adaptado de (WESTPHAL, 2016). .....	30
Tabela 3 – Algumas propriedades dos vidros de controle solar e suas definições. Adaptado de (WESTPHAL, 2016). .....	34
Tabela 4 – Propriedades termofísicas de alguns vidros disponíveis no mercado (WESTPHAL, 2016). .....	34
Tabela 5 – Quadro resumo com sete estudos analisados. ....	40
Tabela 6 - Propriedades dos vidros utilizados nos estudos (ANDREIS, BASEN e WESTPHAL, 2014) e (BRUGNERA, MATEUS, <i>et al.</i> , 2019). .....	47

## SUMÁRIO

1	Introdução .....	1
1.1	Objetivo .....	2
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Sistemas de fachadas de vidro.....	4
2.1.1	<i>Grid</i> (cortina) .....	6
2.1.2	<i>Spider</i> (Aranha).....	8
2.1.3	<i>Stick</i> (Bastões).....	10
2.1.4	Unitizada .....	13
2.2	Processo de fabricação dos vidros .....	15
2.3	Vidros mais utilizados em fachadas e suas especificações técnicas.....	17
2.3.1	Vidros de controle solar.....	18
2.3.2	Vidros de segurança .....	20
2.3.3	Vidro temperado.....	21
2.3.4	Vidro Laminado .....	22
2.3.5	Vidro Insulado .....	24
2.3.6	Vidro Refletivo.....	26
2.3.7	Vidro <i>Low-E</i> .....	28
2.3.8	Vidro Aramado .....	28
2.4	Normas relacionadas à segurança e à eficiência energética dos vidros planos para construção civil.....	29
2.5	Desempenho térmico: O que é? Qual sua importância? .....	31
2.6	Fatores que interferem na eficiência energética das fachadas envidraçadas.....	32

2.7	Softwares para estudo da eficiência energética em edificações e certificações para edificações sustentáveis .....	35
3	Metodologia.....	39
4	Resultados .....	40
5	Conclusão .....	48
	Referências.....	49

# 1 INTRODUÇÃO

Por ser um material sustentável, estético, versátil e impermeável o uso do vidro é recorrente na construção civil. Inicialmente o vidro era usado somente para fins decorativos, mas com o passar do tempo descobriram-se outras aplicações e hoje se tornou sinônimo de elegância e sofisticação, podendo também garantir à edificação não só luz natural, mas também conforto térmico e ambientes mais integrados.

O vidro plano é a base para todos os vidros utilizados na construção civil, desde os espelhos até os que são utilizados nas janelas e divisórias. Segundo a Associação Brasileira dos Processadores e Distribuidores de Vidros Planos (Abravidro, 2021) são oferecidos ao mercado diversos tipos de vidros planos como laminados, temperados, insulados, refletivos, baixo emissivos, autolimpante e até vidros capazes de combater o vírus da COVID19.

Com a tendência das fachadas em pele de vidro nos edifícios comerciais brasileiros, surgiram diversas tecnologias para produção de vidros especiais. As novas tecnologias visam atender um mercado crescente e cada vez mais exigente. As normas que regulamentam o uso do vidro na construção civil têm sofrido modificações, se tornando mais específicas para cada aplicação e buscando aumentar a segurança dos usuários e eficiência das edificações. Esse crescimento é justificado em parte pelo avanço tecnológico da indústria vidreira no país, que hoje produz os mesmos vidros de controle solar existentes no mercado internacional, e parte pelas vantagens econômicas proporcionadas pelo sistema de fechamento em vidro (WESTPHAL, 2021).

A fachada, considerada o maior componente construtivo dos edifícios de escritório, exerce significativa influência no consumo de energia da edificação (AZARI, 2014). Elas funcionam como uma barreira seletiva em relação às condições climáticas, permitindo manter condições de conforto interiores, sem recurso a sistemas mecânicos de climatização, ou pelo menos, reduzindo ao mínimo a necessidade de recorrer a este tipo de sistemas (SACHT , BRAGANÇA, *et al.*, 2012).

Globalmente, as edificações consomem mais de um terço do consumo final de energia e respondem por aproximadamente um quinto das emissões totais de gases de efeito estufa (WBCSD, 2021). No Brasil, o setor de edificações responde por parte expressiva do consumo de energia elétrica no país: em 2019, cerca de 50% do consumo desse energético ocorreram em edificações comerciais, residenciais e do setor público (EPE, 2020). Ainda segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2020) os aparelhos de condicionamento de ar têm grande importância no gasto energético dessas edificações.

Nesse cenário, o surgimento dos vidros de controle solar ganha cada vez mais espaço nas fachadas. Os vidros de controle solar são aqueles que recebem um tratamento superficial, onde é colocado um revestimento metálico, imperceptível a olho nu, e que pode dar um aspecto mais refletivo ou mais escurecido ao vidro (WESTPHAL, 2016). Eles são capazes de controlar a energia solar que entra no ambiente e tornam o interior da edificação mais confortável, refletindo uma grande parte do calor do sol resultando na redução do uso de aparelhos de condicionamento de ar (WESTPHAL, 2016).

No Brasil, o uso de vidros de controle solar torna-se indispensável devido ao clima tropical e também para se ter um consumo mais eficiente. Para isso, é essencial que se faça a especificação correta para cada tipo de edificação tendo em vista a grande oferta de vidros com características variadas no mercado. Este trabalho busca enfatizar a importância da especificação correta do vidro para cada uso, considerando que o desempenho térmico de cada tipo de vidro será de extrema importância para que a edificação tenha um bom desempenho energético.

## **1.1 Objetivo**

O objetivo do presente trabalho é avaliar, por meio de uma análise de literatura, a eficiência energética dos principais vidros indicados para aplicação em fachadas, conhecendo suas propriedades e indicações para cada tipo de edificação bem como o impacto da escolha correta dos materiais para fachadas no uso de acondicionamento de ar e iluminação artificial.

Para atender ao objetivo geral deste trabalho, tem-se como objetivos específicos:

- Investigar os tipos de vidros mais utilizados no Brasil e suas características;
- Apresentar pesquisas e inovações na produção de vidros para fachadas abordando soluções para garantir maior eficiência energética;
- Investigar as vantagens de um estudo de eficiência energética ainda na fase de projeto;
- Realizar a análise de normas relacionadas à segurança e à eficiência energética dos vidros planos para construção civil;
- Identificar os fatores que influenciam na eficiência energética das fachadas envidraçadas.

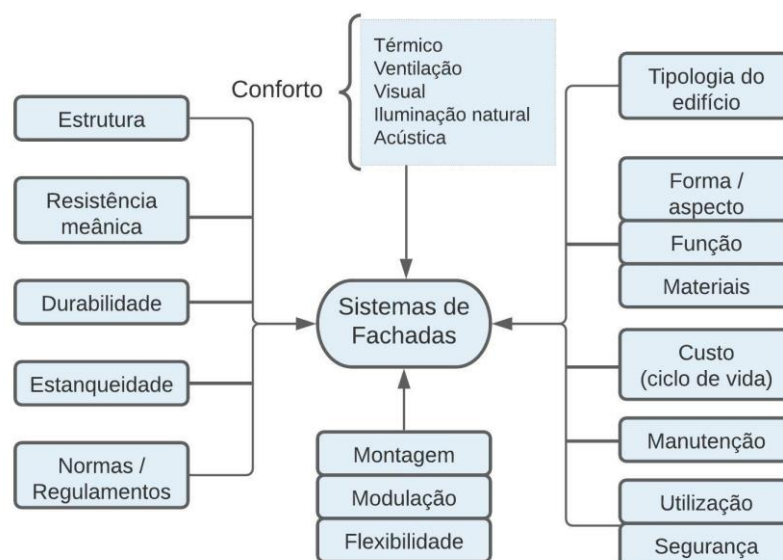


## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Sistemas de fachadas de vidro**

A função principal da fachada é criar condições de habitabilidade para o edifício, protegendo o ambiente interior contra a ação indesejável dos diversos agentes atuantes (calor, frio, sol, chuva, vento, humidade, ruídos, etc.) controlando-os (SACHT, 2013). Para assegurar que os sistemas de fachadas cumpram seu papel na edificação é de extrema importância que todos os elementos trabalhem de forma a aumentar a eficiência energética, conforto ambiental e estética. Atualmente existe uma tendência para a industrialização desse tipo de sistema e a coordenação modular começa a ser utilizada na busca pela racionalização e diminuição do desperdício (SACHT, 2013).

A complexidade do projeto de fachadas tem alcançado um nível de aperfeiçoamento no qual se pode citar a chamada “fachada inteligente”, termo que se refere às fachadas que respondem dinamicamente às exigências do ambiente exterior e da ocupação interior, seguindo princípios de consumo consciente de energia e mantendo o conforto do utilizador (SACHT, 2013). Segundo Ochoa e Capeluto (2008), existe um número variado de elementos e configurações que podem ser escolhidas, e para isso deve-se considerar prioritariamente alguns parâmetros, tais como: custo, estética, orientação, tamanho das aberturas (janelas), tipo de envidraçado etc. O esquema da Figura 1 representa alguns dos requisitos e aspectos que devem ser considerados durante a concepção de uma fachada.



**Figura 1 - Esquema ilustrativo elaborado, considerando parâmetros e aspectos que devem ser considerados durante a concepção de uma fachada. (SACHT , BRAGANÇA, *et al.*, 2012)**

Nas últimas décadas a tecnologia na área de fachadas sofreu avanços significativos, integrando elementos específicos para se adaptarem às condições externas e às exigências do usuário (SACHT , BRAGANÇA, *et al.*, 2012). Esses avanços foram tanto em termos de qualidade de materiais e componentes como na concepção global e design do sistema (SACHT , BRAGANÇA, *et al.*, 2012).

Os sistemas que antes eram construídos de forma artesanal atualmente estão mais industrializados e modernos. Os sistemas de fachadas atuais permitem uma construção mais rápida, eficiente e geram poucos resíduos. A aparência das fachadas envidraçadas também sofreu evolução. As estruturas de alumínio que ficavam aparentes foram embutidas do lado de dentro das edificações, deixando aparente somente os vidros. Daí o nome Pele de Vidro, conhecida por deixar a fachada mais lisa, sem muitos detalhes aparentes da fixação.

Existem diferentes sistemas para construção das fachadas, cada um indicado para um tipo de projeto específico, com base nas dimensões da estrutura, ancoragem do vidro e aspecto estético pretendido pelo arquiteto. No Brasil, os sistemas de

fachadas mais utilizados são: *Grid* (cortina), *Spider*, *Stick* (pele de vidro) e unitizada (Abravidro, 2018).

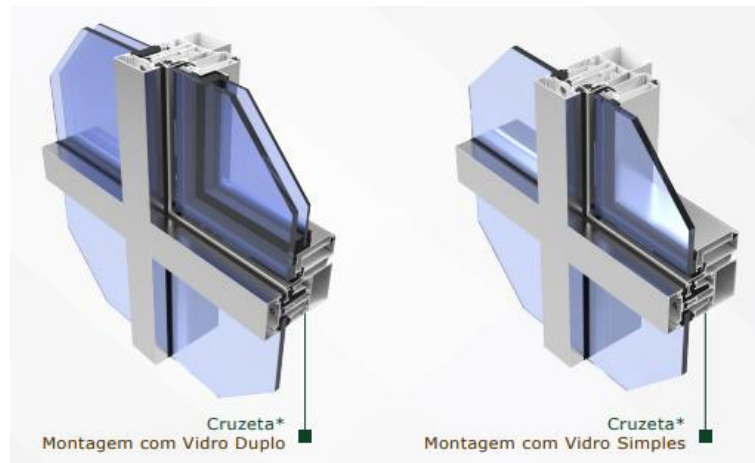
### 2.1.1 *Grid* (cortina)

O Sistema de fachadas *Grid* ou cortina é conhecida por deixar à mostra toda a estrutura metálica utilizada para a fixação dos vidros. Do lado de fora da edificação é possível ver as barras verticais e horizontais que se apoiam na estrutura da edificação, como visto na Figura 2. Esse sistema não se limita a apenas ser fixo, pode ser integrado a portas e janelas e é posicionado de forma totalmente externa à estrutura do edifício.



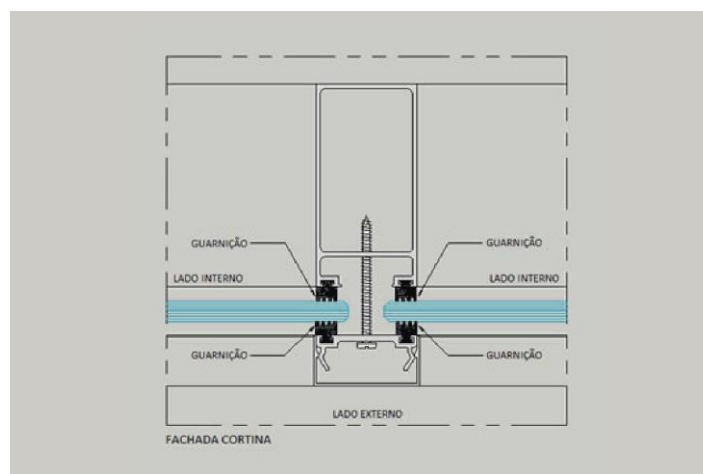
**Figura 2 - Visual externo da fachada *Grid* (cortina) (Alquali, 2021).**

O sistema de fachada cortina é fabricado a partir de perfis extrudados de alumínio, que resulta em perfis com seções transversais muito complexas, o que permite o desenvolvimento de esquadrias e fachadas (VEDOVELLO, 2012). Segundo Reis (2006), a extrusão possibilita a otimização de perfis e conjuntos de perfis sob diversos aspectos, tais como: comportamento estrutural, facilidade de fabricação e montagem, vedação, boa aparência e funcionamento. A Figura 3 mostra como o vidro é fixado na estrutura metálica, tendo a opção de montagem com vidro duplo e simples, além de mostrar como são os perfis de alumínio extrudados.



**Figura 3 - Detalhe da fixação do vidro na estrutura metálica. (Selta Metais, 2014)**

As fachadas tipo cortinas são esquadrias interligadas e estruturadas com função de vedação que formam um sistema contínuo, desenvolvendo-se no sentido da altura e/ou largura na fachada da edificação, sem interrupção em pelo menos dois pavimentos (ABNT NBR 10821-3 - Esquadrias para edificações - Parte 3: Esquadrias externas e internas - Métodos de ensaio, 2017). Tem-se que os principais componentes do sistema de fachada cortina são o vidro e o alumínio, além dos parafusos de fixação, borracha de vedação, silicone estrutural (*glazing*) e as fitas dupla face de alta performance, responsáveis pela aderência e fixação entre os perfis metálicos e o vidro (POTIGUARA, 2017). Na Figura 4 está detalhado o sistema de fixação da fachada *Grid* (cortina).



#### **Figura 4 – Detalhe da fixação no sistema de fachadas Grid (Alquali, 2021).**

A fixação da fachada cortina no edifício é feita por meio de ancoragens de alumínio, fixadas nas vigas por chumbadores químicos ou de expansão, e devem ser calculadas e dimensionadas para resistir aos esforços de ação dos ventos, peso próprio e cargas acidentais (VEDOVELLO, 2012). O modelo de fachada de vidro grid também proporciona uma alta performance de isolamento acústico e pode ser utilizado diversos tipos de vidros, podendo trazer assim outros benefícios como: conforto térmico e menor incidência de luz (Sev Exclusivv, 2021).

#### **2.1.2 Spider (Aranha)**

As fachadas *Spider* (aranha) são compostas por garras de inox articuladas para sustentar os painéis envidraçados, dispensando caixilhos de alumínio e permitindo que as estruturas de vidro fiquem muito mais limpas (Fachada Spider Glass, 2019). A fachada fica com um aspecto leve e com nenhuma aparência de perfis do lado externo à edificação como na Figura 5. Nesse sistema, os vidros são furados e fixados através de pequenas peças em aço ou alumínio estrutural (Fachadas e Esquadrias, 2018). As rótulas e parafusos são previamente fixadas sobre uma estrutura que dependendo do projeto pode ser em vidro, cabos de aço, perfis de aço, etc (Fachadas e Esquadrias, 2018).



**Figura 5 – Fachada da obra Blue Mall no Rio de Janeiro que ousou combinar Fachada *Spider* com vidros triangulares temperados-laminados e refletivos (PKO, 2018) .**

O sistema *Spider* permite a dilatação e contração do material de forma independente o que praticamente acaba como risco de quebra, mesmo em locais com muito vento, além de permitir maior precisão no encaixe das peças (PKO, 2018). Na Figura 6, observa-se que o espaçamento é deixado entre um vidro e outro para garantir que os vidros não se quebrem no movimento de dilatação e contração. O fixador *Spider* pode ser usado em vidros temperados, porém é mais indicado o uso do temperado-laminado para fachadas estruturais, aliando assim os benefícios da segurança contra a quebra e o devassamento do vão em caso de incidentes (PKO, 2018).



**Figura 6 – Detalhe da montagem e fixação dos vidros no sistema *Spider*, é deixado um espaço entre os vidros para dilatação e contração (br Glass, 2021).**

Segundo a PKO (2018), a tecnologia *Spider* permite fachadas com curvas e diferentes ângulos, além de opções para colunas, paredes ou ferragem para duas chapas de vidro. A estrutura é leve e suporta até 200 quilogramas por haste e permite a utilização de vidros de diferentes tamanhos, espessuras e tecnologias no beneficiamento (PKO, 2018).

### **2.1.3 *Stick* (Bastões)**

Conhecida também como Pele de vidro, na fachada *Stick* o vidro pode ser colado sobre os perfis de alumínio, por um processo chamado estrutural *glazing* que utiliza silicone estrutural ou fita estrutural *glazing* (fitas VHB) para fazer essa fixação ou encaixilhado no perfil de alumínio. A Figura 7 mostra como fica a aparência exterior de um edifício com fachadas no sistema *Stick* estrutural *glazing*. De acordo com Tigre (2016), esse sistema foi muito usado nas primeiras fachadas e continua sendo empregado com versões melhoradas e de alto desempenho.





**Figura 7 – Exterior de um edifício com fachada construída no sistema *Stick* (Fachada *Stick*, 2021).**

Na Fachada *Stick*, as peças são instaladas uma a uma com ajuda de um andaime ou balancim pelo lado externo da obra sendo colocadas primeiro, as colunas, em seguida as travessas, painéis compostos (se existirem) e finalmente as folhas de vidros móveis ou fixas (Gratao, 2021), como ilustrado na Figura 8.

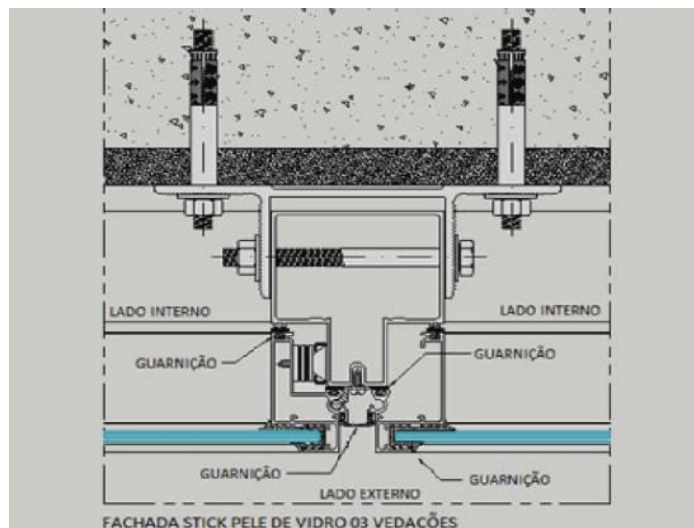


**Figura 8 – Instalação de uma folha no sistema de fachada *Stick*. As folhas são instaladas uma a uma pelo lado externo (PKO, 2021).**

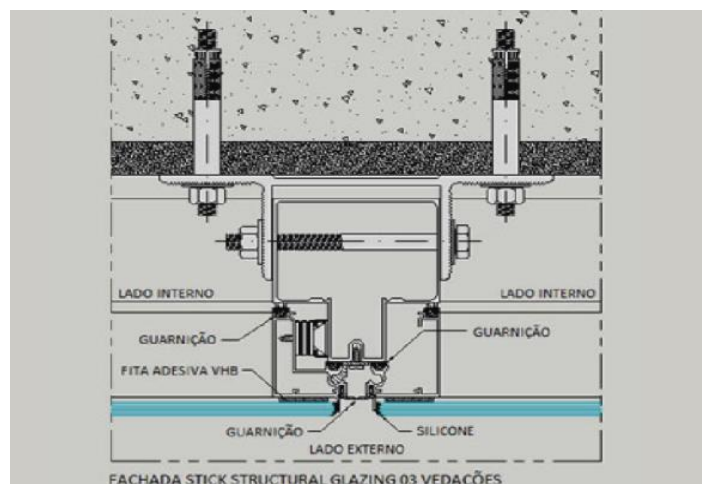
Algumas empresas fabricantes de fachadas aprimoraram o conceito e instalam as peças já pré-montadas, formando uma grelha de colunas e travessas que podem formar até dois pavimentos de altura, de modo que as folhas são instaladas



posteriormente (ARRUDA, 2010). A Figura 9 ilustra o sistema de fixação encaixilhado e a Figura 10 o sistema *stick* estrutural *glazing*.



**Figura 9 – Sistema de fixação da fachada *Stick* encaixilhado (Alquali, 2021).**



**Figura 10 - Sistema de fixação da fachada *Stick* estrutural *glazing* (Alquali, 2021).**

Segundo Arruda (2010), uma das vantagens oferecidas por este sistema é a possibilidade de a estrutura ser executada permitindo ajustes. Também facilita a manutenção já que as peças são colocadas uma a uma. Caso precise fazer a troca ou manutenção de alguma peça não é necessário mexer nas outras.

#### **2.1.4 Unitizada**

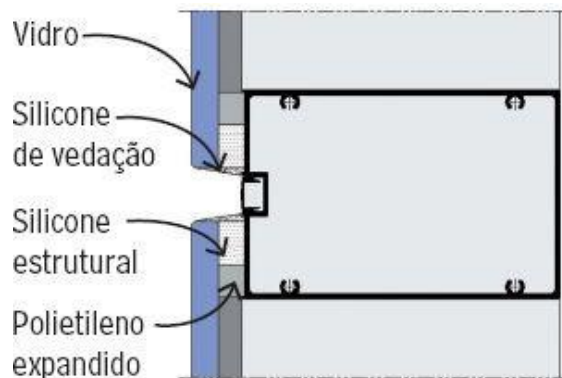
Segundo Arruda (2010) o sistema de fachadas unitizadas chegou ao Brasil no final da década de 1990. O conceito foi desenvolvido por projetistas norte-americanos, consistindo basicamente em unir os vários elementos (gaxetas, borrachas, acessórios e vidros) em um módulo produzido na indústria. Esse conceito de esquadria garante, com segurança, extrema rapidez na instalação e facilidade na montagem, já que os perfis são fixados praticamente por encaixes, tendo como resultado final excelente relação custo x benefício (ARRUDA, 2010). Na Figura 11 é possível visualizar a aparência externa de um edifício construído utilizando o sistema de fachadas unitizadas.



**Figura 11 – Fachada de edifício construída com sistema unitizado (Abravidro, 2018).**

Esse sistema de construção de fachadas proporciona redução de mão de obra e do volume de alumínio utilizado, segurança e eficiência no processo de instalação, uma vez que a montagem é feita do lado interno do edifício (TIGRE, 2016). Além de permitirem maior liberdade arquitetônica pois é possível com os módulos separados, criar ângulos e curvas (TIGRE, 2016). O sistema unitizado consiste em um módulo estrutural, as travessas e as colunas são condensadas em um único elemento, formando quadros estruturados robustos para vencer grandes dimensões e cobrir a altura do pavimento (Gratao, 2021). Normalmente a modulação tem poucas divisões

e as folhas são fixas nos painéis como na Figura 12.



**Figura 12 – Sistema de fixação estrutural *glazing* no painel unitizado (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013).**

De acordo com Corsini (2013) na montagem, os painéis são içados a partir do nível do terreno e transportados até o vão, onde são posicionados e instalados até completarem o perímetro do pavimento ou a área destinada a receber a fachada. Chegando à posição final, os ganchos localizados na parte interna de cada módulo são encaixados nas ancoragens posicionadas e niveladas na estrutura (CORSINI, 2013). Na Figura 13 é possível visualizar como é feito a colocação do painel industrializado na obra, os módulos são instalados de baixo para cima, sustentados em ancoragem por pontos estratégicos da laje.



**Figura 13 – Processo de içamento de um painel unitizado para sua fixação na fachada do prédio (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013).**

O sistema unitizado é mais indicado para uso em edifícios grandes, pois o custo para industrialização desses painéis é elevado e são feitos na altura do pé direito do edifício. De acordo com Arruda (2010) o sistema unitizado é reconhecido por engenheiros e arquitetos como o mais importante avanço na produção de fachadas cortina, esse sistema garante velocidade na execução da obra e elevada eficiência na vedação de toda a estrutura.

## **2.2 Processo de fabricação dos vidros**

A cadeia produtiva do vidro começa na extração dos minerais que abastecem as usinas de base com matérias-primas (WESTPHAL, 2016). A composição do vidro resulta de uma mistura de aproximadamente 70% de sílica, ou areia, que consiste no agente vitrificador e 30% de sódio, magnésio, alumina, potássio e cálcio fundidos e transformados em massa homogênea a 1600°C (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013). A massa viscosa, derivada da mistura desses materiais, é despejada sobre uma piscina de estanho líquido, com maior densidade, de modo que a massa flutua sobre o estanho formando a lâmina de vidro (WESTPHAL, 2016). Por fim, a lâmina de vidro contínua é inspecionada contra defeitos, cortada em chapas e empilhadas

(WESTPHAL, 2016). As chapas de vidro são produzidas em dimensões padronizadas pelas fábricas, e são mais facilmente encontradas nas tonalidades incolor, verde, bronze e cinza e em espessuras que variam de 2 a 19 mm, podendo também produzir chapas de 25 mm (WESTPHAL, 2016).

Os fabricantes de vidros planos comercializam as chapas de vidro *float* e impresso, mais utilizados na construção civil, às distribuidoras e processadoras para beneficiamento dos produtos destinados ao consumidor final. Nas empresas processadoras o vidro recebe tratamento necessário para adquirir novas e melhores características a fim de torná-lo mais adequado a cada finalidade. Na Tabela 1 estão relacionados os diferentes tipos de vidros fabricados e processados.

**Tabela 1 - Diferentes tipos de vidro fabricados e processados. Adaptado de (WESTPHAL, 2016)**

Produzidos nas fábricas	Processados nas distribuidoras		Vidros especiais
	Tratamento superficial	Beneficiamento	
Aramado	Acidado	Curvo	Antibactéria
Controle solar	Jateado	Insulado	Antifogo
Espelho	Pintado a frio	Laminado	Antirrisco
Extra clear	Serigrafado	Temperado	Autolimpante
Float colorido			Blindado
Float incolor			Fotovoltaico
Impresso			
Laminado			

Os vidros mais utilizados na construção civil passam por processos de beneficiamento para que fiquem mais resistentes e ganhem características que atendem à vários padrões de estética (WESTPHAL, 2016). Para um vidro ser

considerado vidro de segurança, é necessário que ele passe por processos que vão deixá-lo mais resistente à quebra (WESTPHAL, 2016). Já os vidros de controle solar, quando são produzidos ainda nas fábricas pelo modelo online (pirolítico), recebem uma fina camada de metais e óxidos metálicos que funcionam como um filtro à radiação solar permitindo maior passagem de luz e menos calor no ambiente (WESTPHAL, 2016). Segundo Bogas (2011), estas soluções para o vidro evoluíram segundo duas preocupações, que configuram duas estratégias diferentes: reduzir os riscos estatísticos de quebra por sobreposição de peças e obter maiores resistências.

### **2.3 Vidros mais utilizados em fachadas e suas especificações técnicas**

De acordo com NBR 7199 (2016), os vidros recomendados para instalação de fachadas são os vidros de segurança: laminados, aramados ou insulado composto com vidro laminado ou aramado. A partir desses tipos de vidros podem ser produzidos dezenas de outros, através da combinação de duas ou mais chapas, com várias funcionalidades diferentes (WESTPHAL, 2016). Devido à qualidade e à variedade estes materiais estão se tornando uma opção requintada e funcional nos projetos que vêm surgindo, oferecendo versatilidade e praticidade e ao mesmo tempo certa privacidade ao ambiente; reduz a transmissão luminosa e diminui o ofuscamento no ambiente interno (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013).

Segundo Westphal (2021), com a tecnologia atual, mesmo no clima brasileiro, que é quente e úmido em grande parte de sua extensão, é possível produzir um prédio revestido inteiramente de vidro e com alta eficiência energética. Para isso é necessário definir a combinação correta entre desenho arquitetônico, especificação do vidro, definição de área transparente em cada fachada e elemento construtivo a ser aplicado por trás do vidro de revestimento. Atualmente o Brasil conta com 4 grandes fabricantes de vidros planos: AGC, CEBRACE, GUARDIAN e VIVIX, além de processadoras e importadoras de outras marcas internacionais (WESTPHAL, 2021).

O vidro se destaca como uma boa opção para revestimento de fachadas por vários fatores, entre eles a fácil manutenção. De acordo com Westphal (2016) por ser um material inerte, ele mantém suas características ao longo do tempo, basta que seja feita a limpeza de forma adequada. A velocidade de execução com processos cada

vez mais industrializados é um fator determinante na escolha por fachadas envidraçadas. O fator estético também tem grande peso, já que fachadas envidraçadas têm uma presença marcante, transmitindo um caráter de inovação, sofisticação e tecnologia. A integração do ambiente interno com ambiente externo, mesmo nos grandes centros, faz com que as pessoas se sintam melhores por ter uma visão mais ampla do ambiente externo (WESTPHAL, 2016). Trata-se de uma necessidade biológica do ser humano, ter o contato permanente com o ambiente externo, acompanhar a evolução do dia para a noite, os acontecimentos externos e, claro, ter o contato com a luz natural (WESTPHAL, 2021).

Com o avanço das tecnologias envolvendo o vidro, hoje em dia é possível ter conforto térmico em edificações com pele de vidro. De acordo com Westphal (2021), a indústria do vidro tem desenvolvido produtos que permitem a execução de peles de vidro com alto nível de eficiência energética, de forma que se possa ter grande contribuição de luz natural no ambiente interno, com baixa transmissão de calor, integração com o exterior, boa estética, baixo custo de execução e manutenção. Abaixo estão descritos os tipos de vidros mais utilizados e exigidos por norma para aplicação em fachadas: Vidros de controle solar; Vidros de segurança; Vidro temperado; Vidro Laminado; Vidro insulado; Vidro refletivo; Vidro *low-e*; Vidro aramado.

### **2.3.1 Vidros de controle solar**

Os vidros de controle solar, também conhecidos como refletivos, são os mais usados para aplicações em fachadas atualmente. Essa tecnologia se tornou uma forte aliada dos engenheiros e arquitetos para conseguir edificações com maior eficiência energética. Os vidros de controle solar são aqueles revestidos com uma superfície metalizada (*coating*), invisível a olho nu, com partículas de diâmetro em escala nanométrica (milionésimo de milímetro), que permite a filtragem da radiação solar, transmitindo mais luz e menos calor, ou o contrário, dependendo da necessidade do projeto (WESTPHAL, 2016). Esse processo pode ser feito sobre o vidro incolor, cinza, verde ou azul. A Figura 14 é um exemplo de edifício construído com fachadas utilizando vidros de controle solar.





**Figura 14 – Fachada da Torre de Matarazzo, em São Paulo, executada com vidros de controle solar e projetada por Aflalo e Gasperini Arquitetos (WESTPHAL, 2016).**

De acordo com estudo realizado por Basen e Westphal (2014) o uso do vidro de controle solar em fachadas representou uma economia de até 37% do consumo de energia com condicionamento de ar, em relação ao vidro incolor. A Figura 15 mostra o interior de uma edificação com fachada utilizando vidros de controle solar.



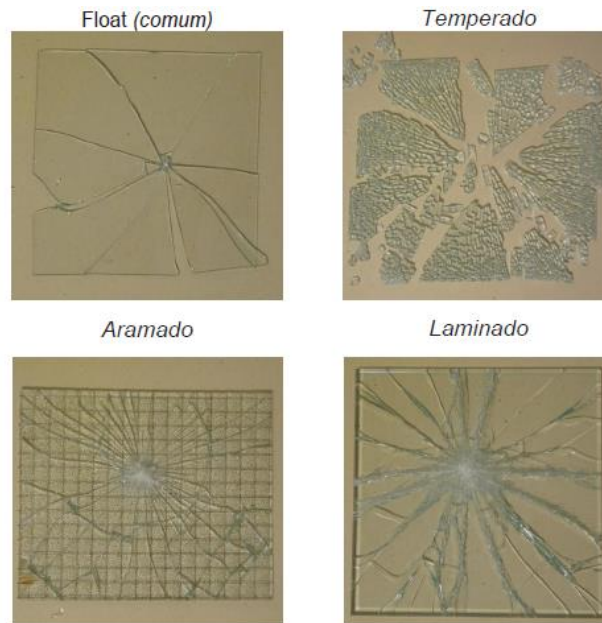
**Figura 15 – Lado interno de uma edificação com fachada utilizando vidros de controle solar (Guardian Glass, 2021).**



No processo *on-line* a metalização ocorre durante o processo de fabricação do vidro, mais precisamente durante seu recozimento na linha de produção. Já no processo *off-line* ou processo *sputtered* a deposição de metais ocorre após a fabricação do vidro *float*, onde este é colocado numa câmara a vácuo e recebe metais uniformemente em sua superfície (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013). Dependendo do tipo de revestimento e sua resistência às intempéries, o vidro de controle solar deve ser laminado ou insulado para proteger a camada de metalização no interior da composição (WESTPHAL, 2016). Ou seja, os vidros de controle solar, podem receber outros tratamentos de beneficiamento como a têmpera para aumento de resistência, podem ser curvados, laminados e insulados.

### **2.3.2 Vidros de segurança**

Vidro de segurança é definido como aquele aprovado por testes de impacto e que não deve quebrar ou deve quebrar com segurança (WESTPHAL, 2016). São considerados vidros de segurança: os laminados, pois quando se quebram os fragmentos ficam presos à camada intermediária; os temperados que se fragmentam em pequenos pedaços e os aramados em que os fragmentos ficam presos à tela metálica. Na Figura 16 estão os padrões de quebra dos vidros temperado, laminado e aramado em comparação com o vidro comum.



**Figura 16 – Padrões de quebra de diferentes tipos de vidros (WESTPHAL, 2016).**

A NBR 7199 (2016) determina que devem ser utilizados vidros de segurança em peitoris, portas, divisórias, claraboias, guarda-corpos e janelas projetantes para o exterior do edifício, pois são locais que oferecem risco caso o vidro se quebre e deixe o vão aberto ou ainda quedas de vidros, podendo causar ferimentos. Ainda de acordo com a NBR 7199 (2016) é colocado como requisitos o uso de vidros de segurança a partir do primeiro pavimento, abaixo da cota de 1,10m em relação ao piso e no pavimento térreo que dividam ambiente com mais de 1,5m de desnível. Nesses casos, devem ser utilizados os vidros laminados de segurança, aramado e insulado.

### **2.3.3 Vidro temperado**

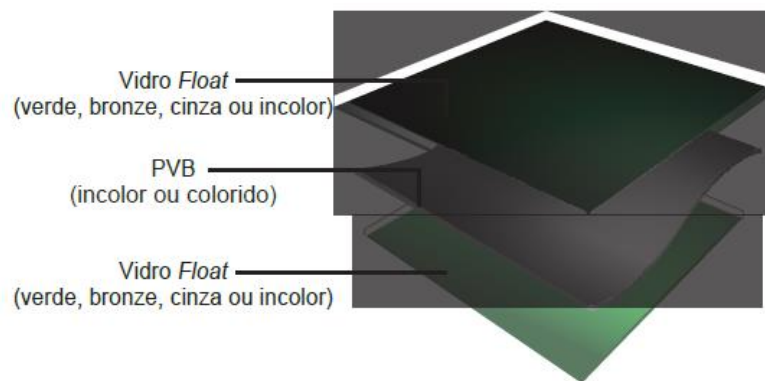
De acordo com Vanessa Garanito (2018) a técnica de têmpera consiste no aquecimento do vidro float a uma temperatura entre os 600 a 650 °C até tornar-se novamente flexível, seguindo-se de um rápido resfriamento, que permitirá obter o vidro temperado termicamente. Esse processo confere ao vidro uma resistência cerca de 4 a 5 vezes maior do que o vidro *float* comum segundo Westphal (2016). Além do aumento da resistência mecânica, o vidro temperado se torna mais resistente ao choque térmico (GARANITO, 2018). Segundo Westphal (2016) todos os furos e as

dimensões do vidro temperado devem ser feitos antes do processo de têmpera, após esse processo qualquer modificação física pode estilhaçar o vidro.

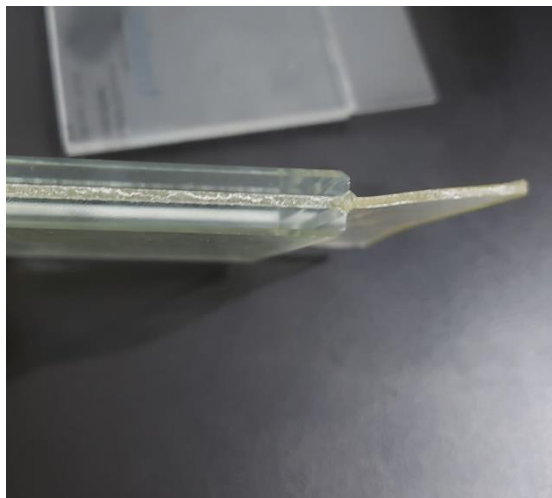
O vidro temperado pode ser aplicado sem a utilização de caixilhos, como é feito em vitrines e portas de lojas e requer cuidados especiais em seu manuseio a fim de evitar o estilhaçamento (WESTPHAL, 2016). O vidro temperado, sem a combinação com outros beneficiamentos, não é indicado para uso em fachadas. Seja em janela ou em fachada, esse vidro só deve ser instalado acima do peitoril, porque o temperado é passível de quebra espontânea, deixando o vão sem guarnição e levando risco aos ocupantes do imóvel. Nessas áreas, a norma técnica obriga o uso de vidros laminados que, se eventualmente quebrarem, permanecem unidos à película de laminação (DUARTE, 2021). Quando o vidro temperado é produzido a partir do vidro de controle solar, tem um desempenho térmico muito bom e ainda pode ser combinado com outros beneficiamentos como o laminado e insulado, muito utilizados em fachadas.

#### **2.3.4 Vidro Laminado**

O processo de fabricação de um vidro laminado se dá através da colocação de película, normalmente de PVB (polivinilbutiral), entre as lâminas de vidro já preparadas e posicionadas em uma estufa (GARANITO, 2018). Em seguida, o conjunto é aquecido e comprimido a fim de eliminar todo o ar entre as lâminas e por fim, o vidro passa pela autoclave a uma temperatura de aproximadamente 140°C para garantir a aderência entre as lâminas de vidro e a película de PVB (GARANITO, 2018). De acordo com Westphal (2016), existem diferentes composições de vidros laminados, sendo que o mais amplamente utilizado na construção civil é o laminado composto com uma camada de PVB e duas lâminas de vidros float. A Figura 17 ilustra como é feita a composição de um vidro laminado e a Figura 18 é uma amostra de vidro extra claro laminado com PVB de 1,52mm.



**Figura 17 – Composição de um vidro laminado (WESTPHAL, 2016).**



**Figura 18 – Amostra de vidro laminado com PVB de 1,52mm. Fonte: A autora.**

De acordo com a NBR 14697 (2001), a camada de PVB é um material que atua como um adesivo entre as chapas de vidro, que pode atribuir à composição laminada melhor desempenho quanto a resistência ao impacto, resistência ao fogo, controle da luz solar e isolamento acústico. Segundo Westphal (2016), a principal aplicação dos vidros laminados ocorre em situações onde a abertura não pode permanecer desprotegida ou onde os estilhaços não podem se soltar em caso de quebras, como em guarda corpos e fachadas. A Figura 19 apresenta a escada da Apple Store em que o guarda corpo é feito de vidro curvo e laminado e os degraus da escada são compostos por vidro impresso laminado.

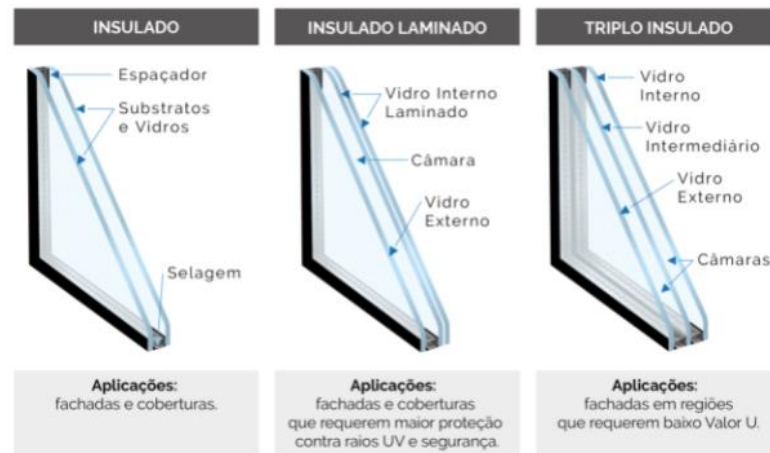


**Figura 19 – Escada e guarda corpo executados com vidro laminado, projeto: *Apple Store* em Nova Iorque (WESTPHAL, 2016).**

Para aplicações em fachadas, segundo Westphal (2016), a camada de PVB pode garantir a redução da transmitância sonora, particularmente nas altas frequências, e a redução da radiação ultravioleta em até 99%. O vidro laminado é considerado um vidro de segurança, porém, para garantir sua eficiência, ele deve ser submetido ao ensaio de resistência ao impacto, estabelecido na NBR 14697 (2001) que também especifica os requisitos gerais, métodos de ensaio de durabilidade e cuidados necessários para garantir a segurança desse vidro em todas as suas aplicações.

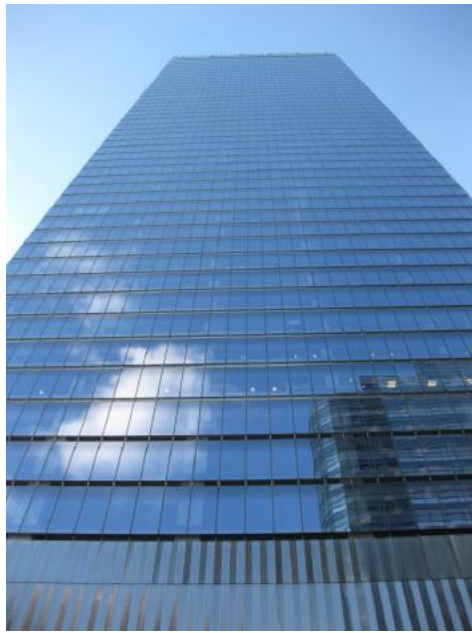
### **2.3.5 Vidro Insulado**

O vidro insulado é a composição de duas ou mais chapas de vidros, unidas pelas bordas de maneira que entre elas se forme uma câmara de ar ou outro gás, como o argônio. (WESTPHAL, 2016). A unidade insulada pode se tornar mais eficiente, garantindo níveis de isolamento térmico mais elevados, quando utilizado em conjunto com vidros de controle solar e com acabamento *Low-e* (baixa emissividade) (WESTPHAL, 2016). Na Figura 20 está ilustrado alguns esquemas de montagem do vidro insulado.



**Figura 20 – Algumas disposições de vidros insulados: simples, insulado laminado e triplo insulado (GLASSEC VIRACON, 2018).**

Composto por duas peças unidas por um perfil de alumínio, o vidro insulado pode ser montado com várias combinações de vidros a fim de agregar as propriedades de cada um deles (WESTPHAL, 2016). Podem ser associados vidro comum e temperado, comum e laminado ou dois laminados para uma maior resistência, e ainda incluir vidros de controle solar ou vidros coloridos (WESTPHAL, 2016). Dependendo da necessidade da utilização é estudada a melhor composição de vidros e câmaras, conferindo redução na propagação de som e funcionando também como isolante térmico (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013). Isso torna o vidro insulado, um dos vidros mais buscados por arquitetos quando se trata de aplicação em fachadas, ambientes residenciais, comerciais, industriais e para casos mais específicos como em hotéis e hospitais. Na Figura 21 está a fachada do edifício *World Trade Center* com vidro insulado de controle solar.



**Figura 21 – Fachada do edifício 7 *World Trade Center* com vidro insulado de controle solar (WESTPHAL, 2016).**

Em se tratando de eficiência energética, o vidro insulado pode conseguir ótimos resultados pois há mais barreiras entre o ambiente externo e o interno, dificultando a troca de calor entre eles (WESTPHAL, 2021). Ainda de acordo com Westphal (2021) o vidro duplo é bastante eficaz para equilibrar a temperatura porque a câmara de ar forma um vácuo e o calor se propaga com mais dificuldade nessa condição, eliminando a condensação de umidade sobre o vidro e aumentando o conforto térmico, além do conforto acústico.

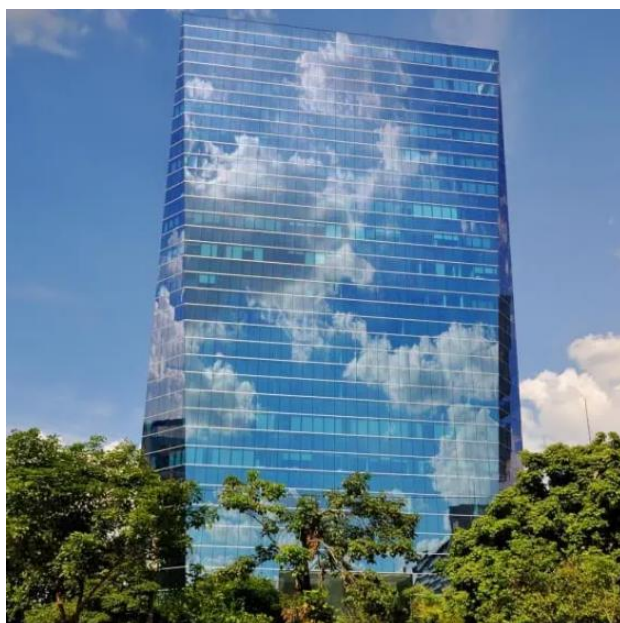
### **2.3.6 Vidro Refletivo**

Desenvolvido com tecnologia que garante o controle eficiente da intensidade de luz e do calor transmitidos para os ambientes internos, os vidros refletivos, chamados popularmente de espelhados, são grandes aliados do conforto ambiental e da eficiência energética nas edificações (Abravidro, 2021). Ainda segundo a Abravidro (2021), o vidro refletivo tem desempenho diferenciado para controle solar em relação à transmissão e à reflexão de luz e calor. Além disso, possuem baixos coeficientes de sombreamento, redução em até 80% da passagem de calor por radiação solar para o interior do ambiente, garantindo excelente isolamento térmico, barreira contra raios



UV quando laminado, economia de consumo de energia elétrica pela diminuição do uso do ar condicionado e controle da luminosidade incidente no vidro (WESTPHAL, 2016). Uma desvantagem desse vidro é que pode causar acidentes com pássaros, por ser muito refletivo, parecer um espelho, as aves não conseguem diferenciar o que é real e o que é a imagem refletida no vidro, com isso, acabam colidindo com a fachada (WESTPHAL, 2016).

Segundo Westphal (2016) para transformar o vidro *float* (comum) em refletivo é necessário a aplicação de uma camada metalizada em uma de suas faces, pelo processo pirolítico ou de câmara a vácuo. O vidro pirolítico tem desempenho como filtro solar baixo ou intermediário, mas por possuir uma camada mais resistente, pode ser curvado ou termoendurecido e serigrafado após a pirólise, já o processo de câmara a vácuo resulta em vidros refletivos com melhor desempenho de proteção solar, porém com camada refletiva mais superficial (WESTPHAL, 2016). Não admite, portanto, a maioria dos beneficiamentos que utilizem calor como a têmpera ou o processo de serigrafia, que devem ser feitos antes do depósito dos óxidos (ACERVO FINESTRA, 2005). A Figura 22 apresenta a fachada do edifício localizado na Faria Lima em São Paulo construída com vidro refletivo.



**Figura 22 – Vidro refletivo em prédio localizado na Faria Lima em São Paulo (CONDOMÍNIOS, 2021).**



De acordo com Abravidro (2021) o vidro refletivo pode ser laminado, insulado, serigrafado ou temperado, porém, são necessários alguns cuidados em situações especiais: os vidros que passam pelo processo a vácuo não podem ser temperados e o processo de serigrafia deve ser feito antes do depósito dos óxidos. Já os refletivos pirolíticos podem ser temperados e serigrafados após o processo de pirólise (decomposição pelo calor). As cores mais utilizadas do vidro refletivo em fachadas são: natural (prata), bronze, cinza (fumê), champanhe, verde e azul.

### **2.3.7 Vidro Low-E**

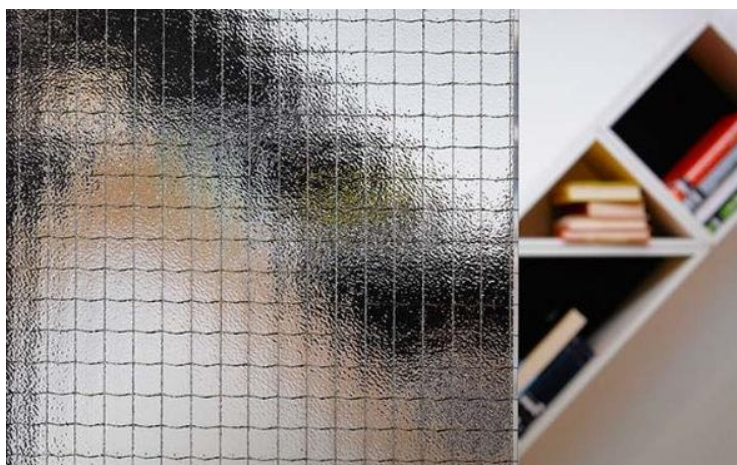
Desenvolvido para utilização em edifícios de países de clima frio, que precisam manter o interior do edifício aquecido, os vidros *low-e*, (*low emissivity glass*) ou baixo emissivos, impedem a transferência de calor, melhorando a eficiência energética do envidraçamento (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013). Os materiais com baixa emissividade têm maior dificuldade para emissão de calor, mantendo sua temperatura alta, ou baixa, por mais tempo. Materiais com baixa emissividade provocam menos desconforto térmico por radiação nas suas proximidades (WESTPHAL, 2016). Este desempenho vem de uma fina camada de óxido metálico aplicada em uma das faces do vidro, que filtra os raios solares, intensificando o controle de transferência de temperatura entre ambientes, sem impedir a transmissão luminosa (MARTINS, AROUCA e AROUCA, 2013).

Segundo Martins, Arouca e Arouca (2013), como o vidro Low-e tem uma excelente performance de isolamento térmico, seu desempenho é sempre melhor quando pretende-se manter um ambiente interno com uma temperatura muito diferente da externa. Em locais de clima mais quente, o vidro *Low-e* é constituído por uma câmara de controle solar, resultando em uma solução que, além de permitir a passagem de luz, possui características refletivas. O vidro *low-e* também pode ser beneficiado para intensificar suas propriedades energéticas e até conferir características de segurança.

### **2.3.8 Vidro Aramado**

O vidro aramado é aquele que é produzido com uma malha de aço em seu interior, introduzida durante o processo de fabricação do vidro e tem a função de manter os

estilhaços em conjunto quando ocorre a quebra (WESTPHAL, 2016). Os maiores benefícios do vidro aramado são o baixo valor de mercado em comparação com outros vidros de segurança e a capacidade de promover privacidade sem perda de luminosidade, Figura 23. Como é considerado um vidro de segurança, pode ser usado em guarda corpos e fachadas além de ser seguro contra a propagação de chamas. Por ter aparência singular, pode ser inserido como uma peça de design diferenciado no projeto arquitetônico.



**Figura 23 – Aparência do vidro aramado utilizado em uma divisória (Arch Glass, 2021).**

Westphal (2016) ressalta que os vidros aramados não podem ficar com suas bordas expostas, principalmente em ambientes suscetíveis a intempéries pois a malha de aço pode oxidar e comprometer a integridade do vidro. A NBR NM 295 (2004) é a responsável por especificar as dimensões e requisitos de qualidade mínimos referentes ao aspecto, aos defeitos óticos e ao arame que compõe a malha metálica do vidro de aramado, além de apresentar os limites de tolerância para a espessura nominal do vidro aramado que são: 6mm, 6,5mm, 7mm, 8mm e 9mm.

#### **2.4 Normas relacionadas à segurança e à eficiência energética dos vidros planos para construção civil**

A grande oferta de vidros planos para construção civil tornou necessária a criação de normas técnicas que promovam o emprego correto em cada situação, com o intuito de deixar a edificação mais segura e dentro de padrões estéticos e sustentáveis. As

normas que tratam de critérios relacionados à segurança, desde a especificação até a instalação do vidro estão relacionadas na Tabela 2.

**Tabela 2 - Quadro com as principais normas nacionais relacionadas à aplicação dos vidros planos na construção civil. Atualizado e adaptado de (WESTPHAL, 2016).**

Norma	Última atualização	Assunto
ABNT NBR NM 293	2004	Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios à sua aplicação, a definição de vidro de segurança.
ABNT NBR NM 294	2004	Vidro Float
ABNT NBR NM 295	2004	Vidro Aramado
ABNT NBR NM 297	2004	Vidro Impresso
ABNT NBR NM 298	2006	Classificação do vidro plano quanto ao impacto
ABNT NBR 7199	2016	Projeto, execução e aplicação do vidro na construção civil
ABNT NBR 7334	2011	Vidros de segurança - Determinação dos afastamentos quando submetidos à verificação dimensional e suas tolerâncias - método de ensaio
ABNT NBR 10821	2001	Esquadrias externas para edificações
ABNT NBR 12067	2017	Vidro plano - Determinação da resistência à tração na flexão
ABNT NBR 14207	2009	Boxes de banheiro fabricados com vidros de segurança
ABNT NBR 14488	2010	Tampos de vidro para móveis - Requisitos e métodos de ensaio
ABNT NBR 14564	2017	Vidros para sistemas de prateleiras - Requisitos e métodos de ensaio

ABNT NBR 14696	2015	Espelhos de prata - Requisitos e métodos de ensaio
ABNT NBR 14697	2001	Vidro Laminado
ABNT NBR 14698	2001	Vidro Temperado
ABNT NBR 14718	2019	Esquadrias - Guarda-corpos para edificação - Requisitos, procedimentos e métodos de ensaio
ABNT NBR 15198	2005	Espelhos de prata - Beneficiamento e instalação
ABNT NBR 16015	2012	Vidro Insulado - características, requisitos e métodos de ensaio
ABNT NBR 16023	2020	Vidros revestidos para controle solar - Requisitos, classificação e métodos de ensaio

## 2.5 Desempenho térmico: O que é? Qual sua importância?

O desempenho térmico de uma edificação decorre de uma série de fatores como a quantidade de pessoas que ocupam, a localização geográfica e microclima da região, os materiais de que são feitas a estrutura e a vedação lateral, entre outros. A avaliação do desempenho térmico de uma edificação engloba a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, onde a caracterização das condições climáticas locais é uma das etapas mais importantes (SIQUEIRA, AKUTSU, *et al.*, 2005).

Além da caracterização das condições típicas de exposição ao clima, a avaliação do comportamento térmico de edificações engloba, ainda, as seguintes etapas: caracterização das exigências humanas de conforto térmico; caracterização da edificação, que inclui a caracterização das condições de ocupação e dos materiais e componentes da edificação, como elementos de fechamento e cobertura e também a caracterização do projeto arquitetônico, além do perfil de equipamentos existentes e também do perfil de iluminação (PINTO, FREITAS e SOUZA, 2001).

O conforto térmico num determinado ambiente pode ser definido como a sensação de bem-estar experimentada por uma pessoa, como resultado da combinação

satisfatória, nesse ambiente, da temperatura radiante média, umidade relativa, temperatura do ambiente e velocidade relativa do ar com a atividade lá desenvolvida e com a vestimenta usada pelas pessoas (RUAS, 1999). O desempenho térmico da edificação está diretamente ligado a escolha de materiais mais eficientes para, com isso, ter um desempenho térmico satisfatório sem aumento no gasto de energia elétrica.

A NBR 15575 (2013) tem o objetivo de estabelecer os requisitos dos usuários para os ambientes habitacionais, considerando o desempenho como o comportamento em uso de uma edificação e de seus sistemas. Dentre os requisitos que a norma exige, está o desempenho térmico, que visa garantir ao usuário condições térmicas adequadas para o desenvolvimento de suas atividades na edificação. Um dos principais pontos apontados pela norma para um desempenho térmico eficiente são os requisitos para os sistemas de vedações internas e externas. Há também a NBR 15220 (2005) que trata do desempenho térmico das edificações. Indicada para verificar uma série de propriedades térmicas, como transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico e fator solar dos elementos e componentes da edificação. A NBR 15220 (2005) prevê ainda se o sistema construtivo escolhido para as vedações verticais e cobertura atendem aos requisitos mínimos de acordo com o local de implantação do projeto e sua zona bioclimática correspondente.

As fachadas envidraçadas são alvo de atenção quando se trata da eficiência energética de um edifício. A busca por soluções inovadoras e mais sustentáveis é constante, principalmente se tratando dos vidros que é o maior componente das fachadas. De acordo com Westphal (2016) deve-se analisar a área total das fachadas, a orientação solar e a localidade do projeto, a fim de escolher as propriedades térmicas e lumínicas do vidro a ser utilizado, bem como os elementos de proteção e sombreamento adicionais. Todas essas etapas pensadas em fase de projeto contribuem para que o edifício tenha um bom desempenho energético.

## **2.6 Fatores que interferem na eficiência energética das fachadas envidraçadas**

De acordo com Joana Bogas (2011) atualmente, a elevada utilização do vidro está relacionada com o desenvolvimento tecnológico, através do qual, tornou-se mais

sofisticado, com elevados padrões de qualidade. As novas tecnologias permitem a fabricação de vidros mais eficientes, com maior conforto térmico e acústico. Permitindo otimizar o desempenho energético-ambiental dos edifícios, ao ponto de existirem sistemas envidraçados que atingem um grau de desempenho energético similar ao de uma parede maciça (BOGAS, 2011).

Para a especificação correta do vidro deve ser levado em consideração as características climáticas da região onde o projeto será executado. A incidência de radiação solar e a temperatura do ar externo são fatores determinantes no desempenho energético das fachadas (ANDREIS, BASEN e WESTPHAL, 2014). A escolha e especificação do vidro deve ser criteriosa, no sentido em que, deve ser feita com base em uma análise de todas as suas propriedades, características, vantagens e desvantagens, de modo a tirar o máximo proveito das suas possibilidades (ANDREIS, BASEN e WESTPHAL, 2014).

Também deve ser levado em consideração o percentual de abertura da fachada (PAF) que representa a parte da fachada que é envolta somente por vidros e assim, permite a passagem de luz para o ambiente interno (ANDREIS, BASEN e WESTPHAL, 2014). Os elementos opacos por trás do vidro, necessários para a construção da envoltória, tais como pilares, vigas, lajes e peitoris são desconsideradas da abertura das fachadas, por isso, em um prédio revestido de vidro, dificilmente a fachada terá 100% de PAF (ANDREIS, BASEN e WESTPHAL, 2014).

A escolha do vidro mais adequado, de acordo com as peculiaridades do projeto, oferece maior desempenho energético que a alvenaria convencional, tanto no uso de ar condicionado quanto na iluminação artificial, pois as fachadas de vidro proporcionam a iluminação natural, o que torna o ambiente mais agradável aos usuários (REIS, 2006). De acordo com Westphal (2016) algumas propriedades relacionadas pela norma NBR 16023 (2020) devem ser levadas em consideração no momento da escolha do vidro ideal para cada edificação. Tais propriedades estão relacionadas na Tabela 3. A Tabela 4 apresenta algumas propriedades termofísicas de vidros disponíveis no mercado.

**Tabela 3 – Algumas propriedades dos vidros de controle solar e suas definições. Adaptado de (WESTPHAL, 2016).**

<b>Propriedades dos vidros de controle solar</b>	
<b>Fator Solar</b>	Indica o ganho de calor que será proporcionado pelo vidro quando exposto à radiação do sol.
<b>Transmissão Luminosa</b>	Representa o quão transparente é o vidro.
<b>Reflexão Luminosa Externa</b>	Indica o quão espelhado é o vidro durante o dia, quando visto de fora da edificação.
<b>Reflexão Luminosa Interna</b>	Indica o quão espelhado é o vidro durante a noite, quando visto de dentro da edificação.

**Tabela 4 – Propriedades termofísicas de alguns vidros disponíveis no mercado (WESTPHAL, 2016).**

<b>Propriedades termofísicas de alguns vidros disponíveis no mercado</b>						
<b>Tipo de vidro</b>		<b>Espessura (mm)</b>	<b>Fator solar (%)</b>	<b>Transmissão luminosa (%)</b>	<b>Reflexão luminosa externa (%)</b>	<b>Reflexão luminosa interna (%)</b>
<b>Vidro incolor</b>		6	84	88	8	8
<b>Vidro verde</b>		6	62	75	7	7
<b>Vidro de controle solar</b>		12	33	30	17	12
<b>Insulado (câmara de 12mm)</b>	<b>Vidro externo</b>	6	35	44	12	3
	<b>Vidro interno</b>	6	84	88	8	8
	<b>Composição</b>	24	28	39	13	10

Geralmente os vidros mais escuros têm o fator solar mais baixo devido a menor transmissão de radiação solar para o interior do ambiente, em contrapartida, tende a ficar mais quente quando exposto ao sol, o que pode causar desconforto aos usuários da edificação, pois o vidro aquecido irradia muito calor para o interior do ambiente, que na maioria das vezes está climatizado a temperaturas bem mais baixas do que o vidro (WESTPHAL, 2016). Já os vidros de controle solar, de acordo com Felipe (2016), apresentam um comportamento espectralmente seletivo, reduzindo a radiação transmitida em determinadas frequências de onda, porém, sem alterar significativamente a distribuição da iluminação, ou seja, permite passagem de luz sem aquecer tanto o ambiente interno.

Os fabricantes e as processadoras disponibilizam relatórios que contêm todas as características ópticas, tanto para o espectro do calor (infravermelho), quanto para o espectro da radiação visível (luz) além de outras informações importantes que devem ser levadas em consideração no momento da escolha do vidro. Segundo Westphal (2016) a propriedade óptica do vidro define o quanto que um fechamento de vidro permite a passagem de calor para o ambiente interno, já a radiação visível determina a quantidade de luz que o atravessa e a sua aparência, podendo ser mais refletivo ou transparente. Outro fator que deve ser analisado é a transmitância térmica (U), medida dada em  $W/m^2.K$  (watt por metro quadrado kelvin) e indica quantos watts de calor atravessam  $1 m^2$  de um componente construtivo qualquer quando este está submetido à uma diferença de temperatura (WESTPHAL, 2016).

## **2.7 Softwares para estudo da eficiência energética em edificações e certificações para edificações sustentáveis**

O uso de simulação computacional para análise de desempenho energético tem se tornado prática comum no projeto de edifícios de alta eficiência no Brasil. Apesar de muitas ferramentas já virem sendo utilizadas em simulações de desempenho térmico, e algumas delas caminham para se tornarem ferramentas BIM, o seu uso ainda requer uma evolução para superar algumas limitações. Existem aspectos de ordem prática a serem trabalhados e melhorados para que essas simulações de



desempenho sejam introduzidas no processo projetual com maior eficiência (TIGRE, 2016).

A simulação de edificações em fase de projeto, consegue prever o consumo de energia em função das condições climáticas e com isso pode-se estudar estratégias para torna-la mais eficiente (WESTPHAL, 2016). Segundo Westphal (2016) existem diversos *softwares* para esse tipo de estudo, sendo que no Brasil o mais utilizado é o *EnergyPlus*, que foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e disponibilizado gratuitamente.

O *EnergyPlus* é um programa computacional, criado e distribuído pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, desenvolvido para simulação de carga térmica e análise energética de edificações e seus sistemas. Esse programa apresenta algumas características que o destacam dos diversos programas de simulações termo energéticas do mercado:

- Modelo de céu anisotrópico para cálculos mais complexos da radiação difusa sobre superfícies inclinadas;
- Cálculo de balanço de calor de janelas que permite o controle eletrônico de persianas, possibilitando a identificação do comprimento de onda da energia solar absorvida pelo vidro da janela;
- Possui uma biblioteca versátil com diversos modelos comerciais de janela;
- Controle da luz do dia, incluindo cálculos da iluminância interior, controle dos brilhos das luminárias e do efeito da iluminação artificial (MELO, WESTPHAL e MATOS, 2009).

Ainda de acordo com Melo, Westphal e Matos (2009) o programa *EnergyPlus* integra vários módulos que calculam a energia requerida para aquecer ou resfriar um edifício usando uma variedade de sistemas e fontes de energia, simulando o edifício e os sistemas associados em diferentes condições ambientais e operacionais. A essência da simulação está no modelo do edifício que utiliza princípios fundamentais de balanço energético.

Além do *Energyplus*, há outros *softwares* para análise da eficiência energética em edificações como o *Design Builder*, *Ecotect*, *Green Build Studio*, *Graphisoft Ecodesigner*, *Autodesk Project Vasari*, entre outros. O *Design Builder* é um *software* criado como interface gráfica para o *EnergyPlus*, que oferece uma plataforma para modelagem geométrica da edificação visando a simulação do desempenho termoenergético, análise de sombreamento, cargas de aquecimento e resfriamento, conforto e transmitância térmica, emissão de CO<sub>2</sub>, entre outras funções de simulações termodinâmicas (TIGRE, 2016).

Quando começaram a vigorar no Brasil as ferramentas de certificação ambiental e etiquetagem, o uso de simulação computacional para análise energética de edificações tornou-se mais comum nas construtoras e deixou de ser uma atividade com finalidade exclusivamente para pesquisas (WESTPHAL, 2016). Essa conscientização sobre a eficiência energética dos edifícios passou a ocorrer principalmente a partir do ano de 2007, quando foi concedido o primeiro certificado LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) a um empreendimento brasileiro (WESTPHAL, 2016). A certificação LEED foi criada por uma entidade não governamental norte-americana, o USGBC (*United States Green Building Council*) e é dada a edifícios que se destacam com estratégias de projeto e construção sustentáveis (GBC Brasil, 2022).

Em 2008, passou a ser aplicado no Brasil o processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) que tem a mesma finalidade da certificação LEED e consiste na avaliação do sistema de gestão do empreendimento (SGE) que tem, dentre as suas exigências, o planejamento, operacionalização e o controle da qualidade ambiental do seu edifício, com um padrão de desempenho já definido por diretrizes da Qualidade Ambiental do Edifício (QAE) (MARTINS, 2022).

Há também o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica), coordenado pela Eletrobrás, desenvolveu a etiquetagem do nível de eficiência energética de edificações, denominada PBE-Edifica, que foi integrado ao Programa Brasileiro de Etiquetagem, conduzido pelo Inmetro (Instituto Nacional de Metrologia) (PBE Edifica, 2020). O PBE-Edifica (2020) é um programa voluntário, em que é

possível obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) que indica o nível de eficiência da edificação levando-se em consideração seus três principais sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. As edificações são classificadas de A a E, sendo o A o mais eficiente e E menos eficiente (PBE Edifica, 2020). De acordo com Westphal (2016) nesses programas de certificação, o vidro tem influência no desempenho energético da envoltória da edificação.

### **3 METODOLOGIA**

O trabalho foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica abordando a utilização de vidro em fachadas e eficiência energética desse sistema de fechamento, em artigos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e referências eletrônicas. Também foram utilizados sites especializados no assunto e normas técnicas brasileiras sobre o tema.

Foram apresentados os diferentes sistemas de fachadas, suas aplicações e evolução desses sistemas para uma construção mais limpa e industrializada. Os vidros mais utilizados para aplicação em fachadas, bem como os fatores que interferem na eficiência energética das fachadas envidraçadas.

Foram apontados os principais softwares para estudo do desempenho térmico, que auxiliam na elaboração do projeto, na tomada de decisões na escolha do sistema de fachada e também da orientação das faces de acordo com o uso da edificação e estudo do clima na região.

Acerca da eficiência energética de diferentes tipos de vidro, foram indicados dados de pesquisas feitas por sete autores que identificaram por meio de simulações energéticas o comportamento de diferentes tipos de vidros aplicados em fachadas. Uma análise dos resultados obtidos é realizada buscando identificar como as propriedades dos vidros influenciam na eficiência energética da edificação e como partir para a especificação correta do vidro a ser utilizado.

## 4 RESULTADOS

Para análise dos resultados, há na Tabela 5 um resumo de sete trabalhos que fizeram simulações computacionais de alguns vidros disponíveis no mercado utilizando o *software Energyplus*, a fim de testar o comportamento destes vidros aplicados em fachadas. Todos os estudos foram realizados utilizando uma planta livre de um edifício, considerando alta densidade de carga térmica interna advinda do uso e ocupação do mesmo.

**Tabela 5 – Quadro resumo com sete estudos analisados.**

Trabalho	Autores	Data	Vidros ensaiados	Climas ensaiados	PAF
1 <b>Desempenho energético de fachadas envidraçadas em climas brasileiros</b>	Cíntia Andreis; Priscila Basen; Fernando Simon Westphal	Novembro de 2014	Incolor; verde; laminado de controle solar; Insulado de controle solar	Curitiba; São Paulo; Porto Alegre; Brasília; Rio de Janeiro; Salvador; Recife.	30%; 40%; 50%; 60%;
2 <b>Escritórios de planta livre: o impacto de diferentes soluções de fachadas na eficiência energética</b>	Rosilene Regolão Brugnera; Ricardo Mateus; João Adriano Rossignolo; Karin Maria Soares Chvatal	Setembro de 2019	Incolor; Low-e; Refletivo; Insulado; Translúcido	Curitiba; São Paulo; Manaus.	30%; 55%; 80%

**Tabela 5 - Continuação**

<b>Trabalho</b>	<b>Autores</b>	<b>Data</b>	<b>Vidros ensaiados</b>	<b>Climas ensaiados</b>	<b>PAF</b>
<b>3</b> <b>Impacto do vidro no conforto térmico de usuários e no consumo de energia em ambientes típicos de escritórios</b>	Marina von Meusel; Fernando Simon Westphal	Novembro de 2015	Incolor 6mm; Insulado com incolor 6mm; Controle solar; Insulado de controle solar	Florianópolis	51%
<b>4</b> <b>Fachadas de vidro no Brasil: Um estudo comparativo de viabilidade econômica</b>	Priscila Basen; Fernando Westphal	Novembro de 2014	Foram analisados 36 tipos de vidros: Monolítico incolor; Laminado Incolor; Insulado incolor; Laminados de controle solar; Insulado de controle solar	Belo Horizonte; Brasília; Curitiba; Fortaleza; Rio de Janeiro; São Paulo	50%

**Tabela 5 - Continuação**

Trabalho	Autores	Data	Vidros ensaiados	Climas ensaiados	PAF
5 Desempenho energético de um edifício de escritórios a partir de diferentes soluções de fachadas envidraçadas	Ludimilla Malmann Schmalfluss; Roseana Bonotto Ruivo; Ana Passuello; Celina Maria Britto Correa; Eduardo Grala da Cunha	Novembro de 2021	Laminado absorvente cinza; Low-e; Insulado com absorvente cinza 6mm + incolor 6mm; Insulado com low-e 6mm + incolor 6mm.	GCL 05: Caxias do Sul (RS); Gravataí (RS); Novo Hamburgo (RS); Pelotas (RS); São Francisco do Sul (SC); São Leopoldo (RS); Xaxim (SC)	50%; 76%
6 Sistemas de fachadas inovadores e conforto térmico: Estudo em Portugal	Helenice Maria Sacht; Luis Bragança; Manuela Guedes de Almeida; Rosana Caram	Novembro de 2012	Insulado verde + vidro com emissividade extremamente baixa; Insulado autolimpante baixo emissivo + incolor; Insulado incolor + vidro baixo emissivo.	Foram executadas simulações para as orientações norte, sul, leste e oeste para as cidades de Bragança, Coimbra, Évora e Faro (Portugal).	45%

**Tabela 5 - Conclusão**

Trabalho	Autores	Data	Vidros ensaiados	Climas ensaiados	PAF
7 Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras	Cíntia Andreis	Agosto de 2014	Vidro incolor; Verde; Laminado de controle solar; Insulado de controle solar.	Curitiba; Porto Alegre; São Paulo; Brasília; Rio de Janeiro; Salvador; Recife.	30%; 40%; 50%; 60%

Andreis, Basen e Westphal (2014) destacou em seu trabalho a importância de uma especificação adequada do vidro a ser utilizado, podendo melhorar consideravelmente o desempenho energético da edificação. De acordo com as conclusões de Andreis, Basen e Westphal (2014), nas cidades de Curitiba, Porto Alegre e São Paulo os vidros laminados de controle solar resultaram em desempenho ligeiramente melhor ou similar ao vidro insulado. Já nas cidades Recife, Salvador, Rio de Janeiro e Porto Alegre os vidros insulados promoveram boa economia de energia devido ao clima mais quente (BASEN e WESTPHAL, 2014). Em clima frio como o da cidade de Curitiba, onde poderia haver grande consumo de energia para aquecimento, o vidro duplo não trouxe economia significativa pelo fato de o edifício em questão ser de escritórios, com alta densidade de carga interna (ANDREIS, BASEN e WESTPHAL, 2014).

Segundo estudo de Brugnera, Mateus e Rossignolo (2019) nos climas de Curitiba e São Paulo, a maior economia de energia foi obtida com o vidro refletivo, seguido do *low-e* e do duplo, e as maiores reduções se deram na maior PAF (80%). Nesse caso, a economia, com o uso do vidro refletivo, foi de 23,4% (Curitiba) e 21,4% (São Paulo).



Já em Manaus o vidro de menor consumo foi o duplo, seguido do refletivo e do *low-e*, e o maior impacto foi observado na janela menor, com PAF de 30% (economia de 10,8% para o vidro duplo) (BRUGNERA, MATEUS, *et al.*, 2019). Brugnera, Mateus e Rossignolo (2019), também evidenciaram a importância da escolha correta do tipo de vidro a ser utilizado e que o uso do vidro incolor apresentou maior consumo de energia em todos os casos ensaiados.

De acordo com Meusel e Westphal (2015), em todos os casos ensaiados, os vidros de controle solar apresentaram melhor desempenho energético, resultando na redução da demanda de energia nos períodos de verão e menor necessidade de utilização do sistema de condicionamento de ar. Já no inverno o vidro de controle solar com câmara de ar apresentou-se mais vantajoso devido à alta capacidade do sistema em promover o isolamento da abertura (MEUSEL e WESTPHAL, 2015). Ainda de acordo com Meusel e Westphal (2015) no período de verão, o comportamento térmico do vidro de controle solar revelou a redução no desconforto térmico dos ocupantes, demonstrando os benefícios deste sistema.

Para Basen e Westphal (2014) em todas as cidades os vidros de controle solar apresentaram economia de energia em comparação com o vidro monolítico incolor. Sendo que em Curitiba houve economia de até 37% no consumo de energia com condicionamento de ar, comparando-se o modelo com vidro incolor monolítico e o modelo com o vidro laminado de fator solar igual a 30% e transmissão luminosa de 16% (BASEN e WESTPHAL, 2014). A maior economia de energia se deu em Fortaleza com o vidro insulado de fator solar 18% e transmissão luminosa 13%, já utilizando o vidro monolítico incolor foi registrado o maior consumo de energia entre as cidades analisadas (BASEN e WESTPHAL, 2014). Ainda segundo Basen e Westphal (2014) usando vidros laminados com um baixo fator solar, podem ter seu investimento inicial pago em até 22 meses na cidade de Fortaleza ou em 25 meses em Belo Horizonte.

Schmalfuss, Ruivo e Passuello (2021) concluíram que a escolha do tipo de vidro influencia nas transferências de calor e no acesso a luz natural para o ambiente interno, impactando diretamente as demandas de climatização e iluminação artificial.

Na PAF de 76%, apresentou-se maior benefício em termos de iluminação, uma economia de 12,29% em relação à fachada referência semi-cortina, já na PAF de 76% houve aumento no gasto de energia para resfriamento da edificação (SCHMALFUSS, RUIVO, *et al.*, 2021). De acordo com o estudo de Schmalfuss, Ruivo e Passuello (2021), o caso CA (fachada semi cortina com vidro insulado com low-e + vidro incolor) apresentou uma redução no consumo de energia para climatização artificial de 20,63%, enquanto o CB (fachada cortina com vidro insulado com vidro absorvente cinza + vidro incolor) apresentou um acréscimo neste consumo de 27,10% em relação ao caso referência (fachada semi cortina com vidro insulado com vidro absorvente cinza + vidro incolor).

De acordo com Sacht, Bragança e Almeida (2012), o uso do vidro insulado autolimpante baixo emissivo + incolor representou menor necessidade de aquecimento em todas as localidades analisadas. Já o uso do vidro Insulado verde + vidro com emissividade extremamente baixa apresentou menor necessidade de arrefecimento (SACHT, BRAGANÇA, *et al.*, 2012). Ainda segundo Sacht, Bragança e Almeida (2012), para regiões muito frias, que apresentam invernos muito rigorosos o vidro insulado autolimpante baixo emissivo + incolor se mostrou mais vantajoso e para lugares onde a necessidade de arrefecimento são a prioridade, o vidro insulado verde + vidro com emissividade extremamente baixa se mostrou mais adequado. Nesse estudo foram utilizados vidros somente na configuração insulada, que são mais adequados para regiões onde os invernos são mais rigorosos.

Segundo Andreis (2014), os modelos que acarretam menor consumo energético utilizam vidros de controle solar (laminados e insulados de controle solar). O vidro laminado de controle solar obtém melhor desempenho em comparação ao vidro insulado de controle solar em clima frio, como Curitiba, e ameno, como Porto Alegre, São Paulo e Brasília, já em climas mais quentes, como Rio de Janeiro, Salvador e Recife, o vidro insulado de controle solar representou o melhor desempenho energético (ANDREIS, 2014). Segundo Andreis (2014), quando utilizado um vidro de melhor desempenho termo energético, o consumo de PAF maiores (50% e 60%) se equivale ao consumo de edifício com PAF menores (30% e 40%) que utilizam vidro

com fator solar elevado, como o vidro verde. Ainda de acordo com Andreis (2014), a aplicação da Pele de Vidro nas fachadas de edifícios eleva o consumo energético do sistema de condicionamento de ar para todas as condições analisadas. Atingindo até 24,5% de aumento do consumo em relação às fachadas tradicionais (ANDREIS, 2014).

Em todos os estudos ficou claro que a escolha do vidro tem impacto direto na eficiência energética do edifício. A análise criteriosa das propriedades térmicas e óticas dos vidros e as simulações da edificação em *softwares* de eficiência energética são fatores determinantes para que se consiga edificações mais sustentáveis. Os trabalhos também fazem importantes considerações sobre o estudo das condições climáticas no local de implantação do projeto, principalmente da incidência da radiação solar nas fachadas.

As conclusões de todos os trabalhos foram semelhantes a respeito dos vidros de controle solar. Os resultados reforçam que o uso de vidros desenvolvidos para um melhor desempenho energético da edificação, que tem menor fator solar, realmente diminuem o consumo de energia se comparados com o uso do vidro monolítico incolor. Na Tabela 6 estão as propriedades de alguns dos vidros utilizados nos estudos. Com esses dados podemos notar a diferença nos valores de transmitância térmica, fator solar e transmissão visível entre vidros comuns e vidros com proteção solar que são facilmente encontrados no mercado.

**Tabela 6 - Propriedades dos vidros utilizados nos estudos (ANDREIS, BASEN e WESTPHAL, 2014) e (BRUGNERA, MATEUS, *et al.*, 2019).**

<b>Tipo de vidro</b>	<b>Espessura (mm)</b>	<b>Transmissão visível (%)</b>	<b>Transmitância térmica (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Fator Solar</b>
<b>Incolor</b>	6	88	5,8	84
<b>Verde</b>	6	49	5,79	62
<b>Low-e</b>	6	32	5,79	44
<b>Laminado de controle solar</b>	12	30	5,6	33
<b>Refletivo</b>	8	72	5,67	44
<b>Insulado com câmara de ar de 12mm</b>	24	39	2,79	28

É notório que o retorno do investimento em vidros mais tecnológicos, que têm melhor desempenho energético nas fachadas, ocorre em alguns anos, durante a ocupação e uso dessas edificações. Por não ser um retorno imediato, muitas construtoras optam por vidros de menor custo e, conseqüentemente, com um desempenho energético não tão satisfatório. Com isso, um importante papel das normas e certificações é chamar a atenção para a eficiência energética das edificações, promovendo o uso de tecnologias inovadoras a fim de conseguir construções mais sustentáveis.

## 5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada uma revisão de literatura sobre a eficiência energética das edificações com fachadas envidraçadas, para tanto, foram estudados os sistemas de fachadas e os vidros mais utilizados no Brasil e suas características. Foram analisadas as vantagens de um estudo de eficiência energética e simulação computacional das edificações ainda em fase de projeto.

Os trabalhos analisados fizeram uso de tipos de vidros com propriedades diferentes para suas simulações computacionais, a fim de demonstrar o comportamento da edificação frente a cada tipo de vidro. E, como observado, em nenhum dos casos estudados o vidro monolítico incolor obteve vantagens quando comparado com vidros de controle solar para aplicações em fachadas. Todos os vidros que receberam tratamento para melhora do desempenho energético, apresentaram alguma economia de energia. Nos casos de climas mais amenos, os vidros laminados de controle solar foram os que apresentaram melhor desempenho. Já nos climas mais extremos (muito quentes ou muito frios) os vidros insulados demonstraram maior vantagem. Nos estudos em que foram analisadas várias PAF's, verificou-se que as maiores economias se davam nas maiores PAF's.

Desse modo, as vantagens e desvantagens no uso das fachadas de vidro devem ser analisadas levando-se em consideração as características climáticas do local de implantação, a escolha do tipo do vidro a ser aplicado e a tecnologia do sistema de fachada que será utilizado, bem como o uso que será destinado. A especificação correta dos vidros é de extrema importância para que a edificação seja energeticamente eficiente e deve ser feita considerando as particularidades de cada projeto, não sendo possível indicar o tipo de vidro de forma arbitrária.

## REFERÊNCIAS

4 vantagens da aplicação do vidro insulado. **Vidro Impresso**, 2019.

ABNT NBR 10821 - Esquadrias externas para edificações. ABNT. [S.I.]. 2001.

ABNT NBR 10821-3 - Esquadrias para edificações - Parte 3: Esquadrias externas e internas - Métodos de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2017.

ABNT NBR 12067 - Vidro plano - Determinação da resistência à tração na flexão. ABNT. [S.I.]. 2017.

ABNT NBR 14207 - Boxes de banheiro fabricados com vidros de segurança. ABNT. [S.I.]. 2009.

ABNT NBR 14488 - Tampos de vidro para móveis - Requisitos e métodos de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2010.

ABNT NBR 14564 - Vidros para sistemas de prateleiras - Requisitos e métodos de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2017.

ABNT NBR 14696 - Espelhos de prata - Requisitos e métodos de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2015.

ABNT NBR 14697 - Vidro Laminado. ABNT. [S.I.]. 2001.

ABNT NBR 14698 - Vidro Temperado. ABNT. [S.I.]. 2001.

ABNT NBR 14718 - Esquadrias - Guarda-corpos para edificação - Requisitos, procedimentos e métodos de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2019.

ABNT NBR 15198 - Espelhos de prata - Beneficiamento e instalação. ABNT. [S.I.]. 2005.

ABNT NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações - Parte 1: Definições, símbolos e unidades. ABNT. [S.I.]. 2005.

ABNT NBR 15575 - Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos. ABNT. [S.I.]. 2013.

ABNT NBR 16015 - Vidro Insulado - características, requisitos e métodos de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2012.

ABNT NBR 16023 - Vidros revestidos para controle solar - Requisitos, classificação e métodos de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2020.

ABNT NBR 7199 - Vidros na construção civil - Projeto, execução e aplicações. ABNT. [S.I.]. 2016.

ABNT NBR 7334 - Vidros de segurança - Determinação dos afastamentos quando submetidos à verificação dimensional e suas tolerâncias - método de ensaio. ABNT. [S.I.]. 2011.

ABNT NBR NM 293 - Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios à sua aplicação, a definição de vidro de segurança. ABNT. [S.I.]. 2004.

ABNT NBR NM 294 - Vidro Float. ABNT. [S.I.]. 2004.

ABNT NBR NM 295 - Vidro Aramado. ABNT. [S.I.]. 2004.

ABNT NBR NM 297 - Vidro Impresso. ABNT. [S.I.]. 2004.

ABNT NBR NM 298 - Classificação do vidro plano quanto ao impacto. ABNT. [S.I.]. 2006.

ABRAVIDRO. **Os segredos por trás das fachadas**, 29 janeiro 2018. Disponível em: <<https://abravidro.org.br/os-segredos-por-tras-das-fachadas/>>.

ABRAVIDRO. **Associação Brasileira de distribuidores e processadores de Vidros Planos**, 1 dezembro 2021. Disponível em: <<https://abravidro.org.br/>>.

ABRAVIDRO. **Associação brasileira de distribuidores e processadores de vidros planos - Abravidro**, 2021. Disponível em: <<https://abravidro.org.br/vidros/vidro-refletivo-2/>>.

ACERVO FINESTRA. Vidros para Arquitetura. **Projeto**, São Paulo, 01 maio 2005. Disponível em: <<https://revistaprojeto.com.br/acervo/vidros-para-arquitetura-01-05-2005/>>. Acesso em: 04 janeiro 2022.

ALQUALI. **Alquali Esquadrias**, 2021. Disponível em: <<http://alquali.provisorio.ws/servicos/#fachadacortina>>.

ANDREIS, C. Influência de fachadas envidraçadas no consumo de energia de um edifício de escritórios em diferentes cidades brasileiras. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, p. 200, Agosto 2014.

ANDREIS, C.; BASEN, P.; WESTPHAL, F. S. **Desempenho energético de fachadas envidraçadas em climas brasileiros**. Entac. Maceió. 2014.

ARCH Glass. **Arch Glass Brasil**, 03 junho 2021. Disponível em: <<https://archglassbrasil.com.br/artigos/tudo-sobre-o-vidro-aramado/>>.

ARRUDA, T. S. D. Estudos de modalidades para a execução de fachada cortina, Rio de Janeiro, 2010.

AZARI, R. **Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes**. [S.l.]: Energy and Buildings, 2014.

BASEN, P.; WESTPHAL, F. **Fachadas de vidro no Brasil: Um estudo comparativo de viabilidade econômica**. Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Maceió, p. 10. 2014.

BOGAS, J. M. P. Fachadas de vidro : explorar os limites da utilização do vidro na construção. **Dissertação de mestrado**, 2011.

BR Glass, 2021. Disponível em: <<http://www.brglass.com.br/fachada-spider.php>>.

BRUGNERA, R. R. et al. **Escritórios de planta livre: O impacto de diferentes soluções de fachada na eficiência energética**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Porto Alegre, p. 20. 2019.

CONDOMÍNIOS, H. O Que é Vidro Refletivo? Tudo Que Você Precisa Saber! **Viva Decora Pro**, 27 Agosto 2021. Disponível em: <<https://www.vivadecora.com.br/pro/vidro-refletivo/>>.

CORR, D. J. et al. Investigating entrained air voids and Portland cement hydration with low-temperature scanning electron microscopy. **Cement & Concrete Composites**, v. 26, p. 1007–1012, 2004.



CORSINI, R. Módulos rápidos: sistema de fachadas unitizadas com caixilhos pré fabricados favorece alta produtividade em obras de edifícios comerciais e corporativos. **Téchne**, n. 191, 2013. Disponível em: <[https://bc-v2.pressmatrix.com/pt-BR/profiles/fb8080454e27/editions/yHasMkMIGXQex0FUas7p/preview\\_pages/page/2](https://bc-v2.pressmatrix.com/pt-BR/profiles/fb8080454e27/editions/yHasMkMIGXQex0FUas7p/preview_pages/page/2)>. Acesso em: 05 Janeiro 2022.

DUARTE, P. Vidro temperado pode ser usado em fachadas, lojas e halls de edifícios. **AEC web**, 2021.

ENTENDA como é feito o vidro plano. **PKO do Brasil**, 2017.

EPE. **Ações para promoção da eficiência energética nas edificações brasileiras: No caminho da transição energética**. Empresa de Pesquisa Energética. [S.l.]. 2020.

FACHADA Spider Glass. **Vidrado**, 2019. Disponível em: <<https://vidrado.com/fachada-spider-glass/>>. Acesso em: 05 Janeiro 2022.

FACHADA Stick. **Vitrine e Arte Tech**, 2021. Disponível em: <<https://www.vitrineearte.com.br/fachada-stick>>.

FACHADAS e Esquadrias. **Grupo Paris**, 2018. Disponível em: <<http://www.grupoparisvidroaluminio.com.br/fachadas-e-esquadrias/>>. Acesso em: 05 Janeiro 2022.

FELIPPE, A. R. Desempenho luminoso e energético de vidros de controle solar e dispositivos de sombreamento. **Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, p. 193, 2016.

GARANITO, V. M. G. O Vidro na Indústria da Construção. **Universidade da Madeira**, Funchal, p. 146, 2018.

GBC Brasil. **GBC Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://www.gbcbrazil.org.br/>>. Acesso em: 25 abril 2022.

GLASSEC VIRACON. Eficiência energética e vidros insulados. **Glassec Viracon - Boletim do Vidro**, 2018.

GRATAO. **GRT**, 2021. Disponível em: <<https://gratao.com.br/fachadas-stick-e-unitizada/>>.

GRUPO Paris vidro e alumínio, 2021. Disponível em: <<http://www.grupoparisvidroealuminio.com.br/fachadas-e-esquadrias/>>.

GUARDIAN Glass. **Guardian Glass**, 2021. Disponível em: <<https://www.guardianglass.com/la/pt/why-glass/build-with-glass/glass-functions/solar-control>>.

MARTINS, J. A.; AROUCA, I. C.; AROUCA, M. F. N. R. **Utilização do vidro em fachadas: Sustentabilidade e conforto ambiental**. Universidade de Mogi das Cruzes. Mogi das Cruzes. 2013.

MARTINS, M. Processo certificação aqua alta qualidade ambiental. **Inmetro - Fundação Vanzolini**, 2022. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/processo\\_certificacao\\_aqua\\_alta\\_qualidade\\_ambiental\\_manuel\\_martins.pdf](http://www.inmetro.gov.br/painelsetorial/palestras/processo_certificacao_aqua_alta_qualidade_ambiental_manuel_martins.pdf)>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MELO, A. P.; WESTPHAL, F. S.; MATOS, M. **Apostila do curso básico do programa EnergyPlus**. Florianópolis, p. 24. 2009.

MEUSEL, M. V.; WESTPHAL, F. S. Impacto do vidro no conforto térmico de usuários e no consumo de energia em ambientes típicos de escritório. **Seminário Nacional de Construções Sustentáveis**, Passo Fundo , p. 10, Novembro 2015.

OCHOA, C. E.; CAPELUTO, I. G. Advice Tool for Early Design Stages of Intelligent Facades based on Energy and Visual Comfort Approach. **Energy and Buildings**, 2008.

OS segredos por trás das fachadas. **O Vidro Plano**, 2018.

PBE Edifica, 2020. Disponível em: <<https://www.pbeedifica.com.br/sobre>>. Acesso em: 03 fevereiro 2022.

PINTO, M. A. V.; FREITAS, M. S. D. R.; SOUZA, H. A. Construções Metálicas. **Revista Escola de Minas**, 2001.

PKO , 2018. Disponível em: <<https://pkodobrasil.com.br/blog/fachada-spider-com-vidro/>>.

**PKO. FACHADA INTEIRAMENTE DE VIDRO É TEMA EM MAIOR EVENTO DO SETOR – FESQUA VIRTUAL 2021**, setembro 2021. Disponível em: <<https://pkodobrasil.com.br/blog/fachada-inteiramente-de-vidro-e-tema-em-maior-evento-do-setor-fesqua-virtual-2021/>>.

PKO do Brasil. **PKO do Brasil**, 2021. Disponível em: <<https://pkodobrasil.com.br/blog/entenda-como-e-feito-o-vidro-plano/>>.

POTIGUARA, L. G. P. Fachadas cortina: Processo construtivo e patologias associadas, Rio de Janeiro, 2017.

QUANDO o antigo vira novo. **Vidro Impresso**, 2021.

REIS, M. N. D. Processo de produção e uso do alumínio na construção civil: contribuição à especificação técnica das esquadrias de alumínio. **Dissertação (mestrado)**, São Paulo, 2006.

RUAS, Á. C. **Conforto Térmico nos Ambientes**. [S.l.]: Fundacentro, 1999.

SACHT , H. M. et al. Sistemas de fachadas inovadores e conforto térmico : estudo em Portugal. **Revista Tecnológica**, p. 15, novembro 2012.

SACHT, H. M. **Módulos de fachada para reabilitação eco-eficiente de edifícios**. [S.l.]. 2013.

SCHMALFUSS, L. M. et al. Desempenho energético de um edifício de escritórios a partir de diferentes soluções de fachadas envidraçadas. **Encontro Latino-Americano e Europeu sobre edificações e comunidades sustentáveis**, p. 11, Novembro 2021.

SELTA Metais. **Sistema Sellecta Fachadas Grid**, 2014. Disponível em: <<http://www.seltametals.com.br/materiais/20141010095327.pdf>>.

SEV Exclusivv. **Sev Exclusivv**, 2021. Disponível em: <<https://sevexclusivv.com.br/produtos/cortina-de-vidro-fachada-grid/>>.

SIQUEIRA, T. C. P. A. et al. Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações. **Revista Escola de Minas**, p. 133-138, 2005.

SOUZA, W. B. et al. Sistema de fachada unitizada, Rio de Janeiro, 2017.

TIGRE, A. L. Eficiência energética em edifícios com fachada de vidro, Curitiba, 2016.

VEDOVELLO, C. A. D. S. Gestão de projetos de fachadas, São Paulo, 2012.

VIDRO IMPRESSO. 6 tipos de vidros recomendados para instalação de fachadas. **Vidro impresso**, 2019.

VIDRO Impresso. **Vidro Impresso**, 2021. Disponível em: <<https://vidroimpresso.com.br/noticia-setor-vidreiro/o-que-e-e-como-e-feito-o-vidro-plano>>.

WBCSD. World Business Council for Sustainable Development. Energy Efficiency in Buildings. [S.l.]. 2021.

WESTPHAL, F. Vidros de alto desempenho e eficiência energética em edificações. **Abividro**, 2021.

WESTPHAL, F. S. Manual técnico do vidro plano para edificações. **Abividro**, p. 190, 2016.