MANUAL TÉCNICO DO **VIDRO PLANO PARA EDIFICAÇÕES**

Fernando Simon Westphal

Abividro
Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 6

BREVE HISTÓRICO 9

TIPOS DE VIDRO 14

PROCESSO DE FABRICAÇÃO E CADEIA PRODUTIVA NO BRASIL 15

VIDROS PRODUZIDOS NAS FÁBRICAS 18
- ARAMADO 18
- CONTROLE SOLAR 19
- ESPELHO 21
- *FLOAT* COLORIDO 22
- *FLOAT* INCOLOR 23
- IMPRESSO 24

VIDROS PROCESSADOS COM TRATAMENTO SUPERFICIAL 25
- ACIDADO 25
- JATEADO 26
- PINTADO A FRIO 26
- SERIGRAFADO 27

VIDROS BENEFICIADOS 28
- CURVO 28
- INSULADO 29
- TEMPERADO 30

VIDROS ESPECIAIS 31
- ANTIBACTÉRIA 31
- RESISTENTES AO FOGO 31
- ANTIRRISCO 32
- AUTOLIMPANTE 32
- BLINDADO 32
- FOTOVOLTAICO 33

NOMENCLATUDA DAS FACES DO VIDRO 34

TRATAMENTO DE BORDA 35

VIDROS DE SEGURANÇA 36
- LAMINADO 43
- TEMPERADO 45
- ARAMADO 46
- INSULADO 47

DESEMPENHO TÉRMICO 48
- PROPRIEDADES TÉRMICAS DO VIDRO 50
- FATOR SOLAR 51
- TRANSMITÂNCIA TÉRMICA 55
- EMISSIVIDADE 57
- EFEITO ESTUFA 59

DESEMPENHO LUMÍNICO 60
- TRANSMISSÃO LUMINOSA 63
- LUZ NATURAL 65
- CONFORTO VISUAL 67
- ESTRATÉGIAS DE PROJETO 69

CONTROLE SOLAR E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 73
- CLIMA 74
- COMPORTAMENTO DO VIDRO DIANTE DA RADIAÇÃO SOLAR 76
- ÍNDICE DE SELETIVIDADE 78
- PERCENTUAL DE ABERTURA DE FACHADA (PAF) 80
- FLUXO DE CALOR PELA FACHADA 82
- DESEMPENHO TÉRMICO DO VIDRO INSULADO 85

DESEMPENHO ACÚSTICO 88

CONCEITOS E PROPRIEDADES 89

ISOLAMENTO ACÚSTICO DE VIDROS 92
- VIDRO LAMINADO 94
- VIDRO INSULADO 95

PROJETO 96

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COMPUTACIONAL 98

FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO 99
CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL E ETIQUETAGEM 102
ECONOMIA DE ENERGIA EM ILUMINAÇÃO 108

COMO ESPECIFICAR 111

ESTÉTICA 113
ESPESSURA E TAMANHO DAS CHAPAS 116
CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA 119
RESUMO DO PROCEDIMENTO DE CÁLCULO 132
SEGURANÇA: APLICAÇÕES 133

CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 134

NORMAS 137

ABNT NBR NM 293
Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios à sua aplicação, a definição de vidro de segurança

ABNT NBR NM 294
Vidro *Float*

ABNT NBR NM 295
Vidro Aramado

ABNT NBR NM 297
Vidro Impresso

ABNT NBR NM 298
Classificação do vidro plano quanto ao impacto

ABNT NBR 7199
Projeto, execução e aplicação do vidro na construção civil

ABNT NBR 7334
Vidros de segurança - Determinação dos afastamentos quando submetidos à verificação dimensional e suas tolerâncias - Método de ensaio

ABNT NBR 10821
Esquadrias externas para edificações

ABNT NBR 12067
Vidro plano - Determinação da resistência à tração na flexão

ABNT NBR 14207
Boxes de banheiro fabricados com vidros de segurança

ABNT NBR 14488
Tampos de vidro para móveis - Requisitos e métodos de ensaio

ABNT NBR 14564
Vidros para sistemas de prateleiras - Requisitos e métodos de ensaio

ABNT NBR 14696
Espelhos de Prata

ABNT NBR 14697
Vidro Laminado

ABNT NBR 14698
Vidro Temperado

ABNT NBR 14718
Guarda-corpos para edificação

ABNT NBR 15198
Espelhos de Prata - Beneficiamento e instalação

ABNT NBR 16015
Vidro Insulado - Características, requisitos e métodos de ensaio

ABNT NBR 16023
Vidros revestidos para controle solar - Requisitos, classificação e métodos de ensaio

GLOSSÁRIO 143

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA 148

APÊNDICE - LISTA DE PROPRIEDADES
TÉRMICAS E LUMINOSAS DE VIDROS PLANOS 150

APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Este manual é resultado do trabalho de pesquisa e desenvolvimento realizado em parceria com a ABIVIDRO, que começou em 2009, após a minha participação como consultor em diversos projetos de edificações no país, que tiveram o nível de eficiência energética comprovado por programas de certificação e etiquetagem. Muitos desses projetos, principalmente localizados em São Paulo, foram desenvolvidos por escritórios de arquitetura nacionais e possuem as fachadas inteiramente revestidas de vidro. Tais soluções são muito questionadas na comunidade acadêmica, discutindo-se a validade desses projetos em clima tropical. A ABIVIDRO passou a estudar melhor o desempenho térmico de soluções arquitetônicas com fachadas envidraçadas, procurando responder à pergunta: é possível produzir edificações inteiramente envidraçadas no Brasil, sem impacto significativo no conforto interno e no consumo de energia?

A questão merece uma análise criteriosa. Primeiro, a arquitetura corporativa busca mais transparência, maior integração entre ambiente interno e externo. Segundo a indústria do vidro evoluiu significativamente, especialmente no Brasil, desde a década de 1980. Hoje, com a diversidade de produtos de controle solar e as possibilidades de beneficiamento do vidro plano, é possível, sim, chegar a boas soluções arquitetônicas, com consumo de energia em padrões aceitáveis.

Inicialmente, é importante destacar que o ambiente onde um projeto será edificado é determinante na definição de suas estratégias de eficiência energética. É evidente que todos gostariam de ocupar prédios ventilados e iluminados naturalmente. No entanto, em centros urbanos densamente ocupados, dificilmente estratégias de condicionamento passivo terão grande eficácia, ao mesmo tempo que se busca atender ao retorno financeiro de um empreendimento. Edifícios corporativos executados em grandes centros urbanos geralmente possuem plantas profundas e densidade de ocupação elevada. O uso de condicionamento de ar artificial é imperativo. Porém, diversas estratégias são aplicadas atualmente para diminuir a demanda e o uso desses sistemas, tais como recuperação de calor, vazão de ar variável e equipamentos de alta eficiência.

A influência da fachada no consumo de energia começa a ser minimizada já com essas soluções. Na sequência, o uso de vidros de controle solar na área visível dos envidraçamentos e o isolamento térmico das partes opacas da fachada permitem maior controle do ganho de calor solar, ao mesmo tempo que garantem alta integração com o exterior e aproveitamento da luz natural.

A especificação adequada dos vidros, com transmissão luminosa coerente com o projeto, e o tratamento superficial em alguns casos, como

a serigrafia, permitem controlar o aproveitamento da luz do dia, evitando o desconforto. No entanto, o arquiteto precisa conhecer as soluções técnicas, os produtos disponíveis no mercado e suas propriedades.

A intenção deste manual é apresentar de forma isenta, que é o papel da associação, as propriedades do vidro plano, seus diferentes tipos e os critérios de desempenho térmico, lumínico e acústico, bem como as normas de segurança necessárias para o correto uso do vidro em edificações.

O manual consiste na compilação e no tratamento de informações disponíveis nos catálogos dos fabricantes de produtos, com o objetivo de uniformizar conceitos. O primeiro capítulo apresenta um breve histórico sobre o surgimento e os processos de fabricação do vidro. Na sequência, são apresentados os diferentes tipos de vidro e os critérios de desempenho e conforto ambiental. Um capítulo é dedicado especialmente para tratar dos vidros de controle solar e eficiência energética, e outra parte trata do uso de simulação computacional para análise energética de edificações e a influência do vidro plano.

O penúltimo capítulo resume as informações técnicas apresentadas ao longo do texto, procurando oferecer ao leitor um guia de aplicação prática do vidro plano em edificações. Por fim, apresenta-se a lista de normas da ABNT relacionadas ao tema.

O termo "vidro plano" é usado para diferenciá-lo do vidro oco, utilizado como embalagem. O vidro plano não só é empregado em edificações, – em fachadas, móveis, espelhos, divisórias etc, como também é extensivamente utilizado na indústria automobilística e na fabricação de eletrodomésticos. O processo de fabricação mais comum é o método *float*, por flutuação da massa de vidro em um banho de estanho derretido. Por isso, o vidro plano comum é normalmente denominado no mercado como vidro *float*.

Espera-se que este trabalho seja o ponto de partida ao estudo da aplicação de vidros planos em projetos de arquitetura, servindo de referência e material de consulta para profissionais e estudantes.

Boa leitura!
Prof. Fernando Simon Westphal

BREVE HISTÓRICO

A TRANSPARÊNCIA QUE SURGE DAS CINZAS

Não há informações precisas sobre a origem do vidro, ou de sua fabricação. Cinzas descobertas com a fusão do cobre ou de taças de barro eram usadas para esmaltar a cerâmica desde tempos remotos. Estudos indicam a existência de artefatos desse tipo na Mesopotâmia desde o século V a.C., ou no Egito desde o século IV a.C. Mas em tumbas de faraós egípcios foram encontradas contas de vidro esverdeado, datadas de 3500 a.C, marcando o que seria de fato o início da fabricação intencional de vidro. A partir de meados do século II a.C., começam a surgir anéis e pequenas imagens de vidro moldadas em tigelas.

Nessa época, o processo de fabricação consistia em fixar uma mistura de areia e argila numa haste metálica que – mergulhada em vidro fundido e girada em torno de seu próprio eixo – criava um grande núcleo sólido, envolto por uma massa de vidro amolecido. Na sequência, essa massa era enrolada numa forma adequada sobre uma superfície plana e o núcleo era removido após o resfriamento. Esse processo permitiu a produção de pequenos copos, vasos etc.

O registro mais antigo sobre o processo de fabricação do vidro aparece em tabuletas de argila na grande biblioteca do rei assírio Ashurbanipal (668 – 626 a.C.), que descreviam: "Pegue 60 partes de areia, 180 partes de cinza de algas marinhas, 5 partes de giz (carbonato de cálcio) – e você terá vidro".

Somente após a invenção do tubo de sopro, em meados de 20 a.C., por artesãos da Síria, é que se tornou possível a produção de uma ampla variedade de vasos ocos com paredes mais finas.

O uso em edificações foi revelado por escavações na Roma antiga, nas vilas de Pompeia e Herculano. Painéis de 300 x 500 mm, de 30 a 60 mm de espessura eram instalados com perfis de madeira, bronze ou sem qualquer forma de caixilho. A fabricação desses painéis era feita a partir da pasta viscosa de vidro fundido, que, derramada sobre uma mesa polvilhada com areia, era manipulada com ganchos de ferro, estendendo-se e moldando-se o vidro, que na sua forma final ainda era verde-azulado e pouco transparente.

Na Idade Média, utensílios de vidro continuavam a ser produzidos, embora mais voltados para abastecer igrejas e monastérios. As grandes vidrarias eram localizadas em regiões de florestas e rios, que podiam fornecer a energia e potassa (soda) necessária para a faricação, além de água para transporte de areia e resfriamento do processo.

A partir do século XVII, a produção de vidros decolou e o produto deixou de ser exclusividade de igrejas e monastérios. Mas, no fim do século XVIII, o vidro ainda era tão precioso que os locatários os retiravam das janelas depois de desocupar uma habitação, considerando que não faziam parte do acabamento fixo do imóvel. Os cocheiros também retiravam os vidros das carruagens e os substituíam por tela de vime ao final do dia de trabalho.

Progresso significativo foi feito no século XIX. O forno de fusão foi aprimorado, aumentando a eficiência na produção e diminuindo o custo. O processo de sopro em cilindro foi aperfeiçoado para diminuir a quebra e melhorar o acabamento superficial. Tal evolução permitiu a construção do Crystal Palace, em Londres, entre 1850-1851, um pavilhão de exposições que consumiu 84.000 m² de vidro em suas paredes e cobertura. Todos os painéis foram fabricados em poucos meses.

Na virada para o século XX, o processo foi mecanizado. Em 1905, foi patenteado nos Estados Unidos um método que consistia em esticar, ou estirar, a massa de vidro entre cilindros polidos, feitos de uma liga especial de níquel. A velocidade na produção aumentou significativamente, podendo-se produzir vidros em espessuras de 0,6 a 20 mm, dependendo da velocidade do estiramento.

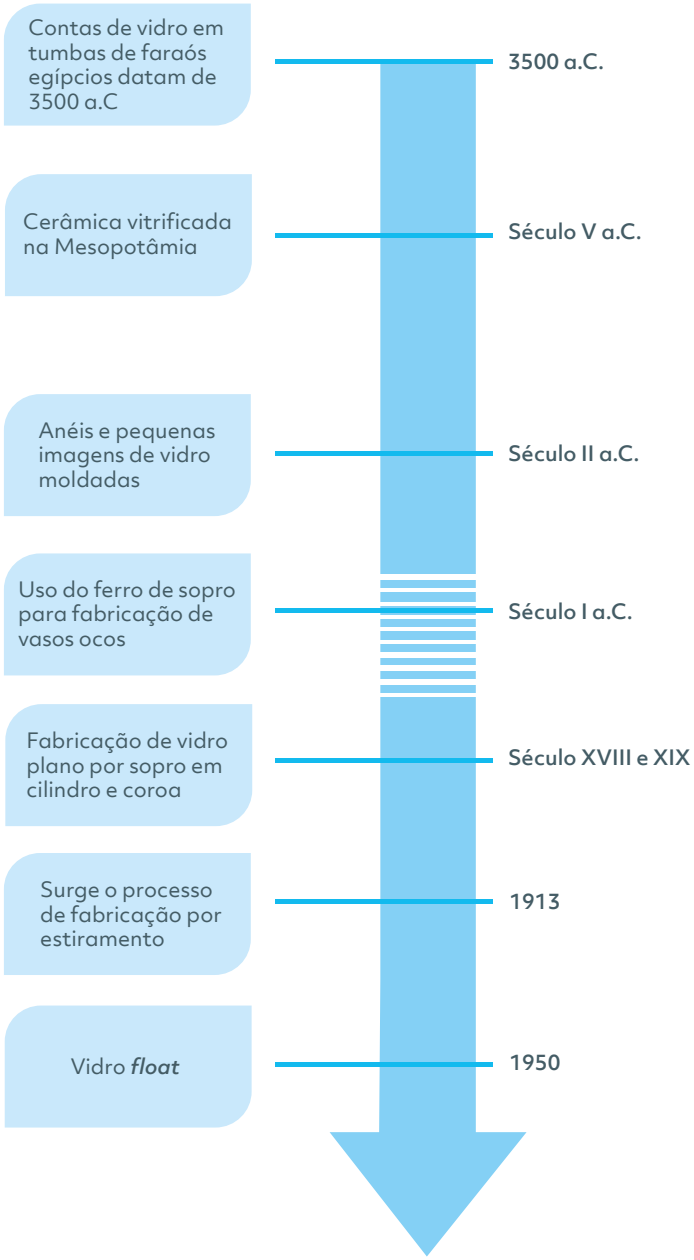
Em outro processo, iniciado na Bélgica em 1913, o vidro era estirado – puxado verticalmente por ganchos metálicos – a partir da massa derretida. Porém, nesse método, ele ainda apresentava pequenas ondulações, ou seja, não era perfeitamente plano.

Na década de 1950, foi desenvolvido o processo de fabricação por flutuação da massa de vidro sobre um banho de estanho. Surge, aqui, o vidro *float*, tal como é produzido nos dias atuais.

Atualmente, o vidro plano compõe uma importante classe de materiais utilizados em diferentes segmentos. Estima-se que cerca de 70% da produção total de vidros é usada na construção civil no Brasil, principalmente em novos edifícios ou renovação de fachadas.

Foto do Palácio de Cristal, em Londres, no Século XIX. | Fonte: Smithsonian Libraries. | Foto: Philip Henry Delamotte; Negretti and Zambra.

LINHA DO TEMPO DA EVOLUÇÃO DO VIDRO



TIPOS DE VIDRO

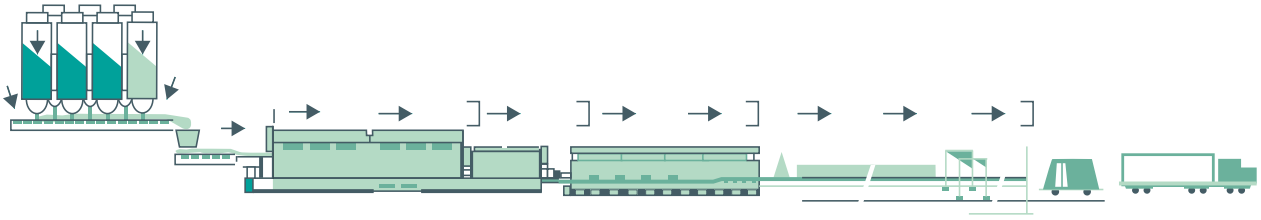
COMBINAÇÕES VARIADAS, APLICAÇÕES INFINITAS

PROCESSO DE FABRICAÇÃO E CADEIA PRODUTIVA NO BRASIL

A cadeia produtiva do vidro começa na extração dos minerais que abastecem as usinas de base com matérias-primas. É a partir daí que as fábricas iniciam a produção das chapas de vidro plano. Elas são produzidas em dimensões padronizadas, nas tonalidades incolor, verde, bronze e cinza, e em espessuras que variam de 2 a 19 mm, podendo-se produzir chapas de 25 mm.

O processo de fabricação do vidro *float* é realizado em cinco etapas principais, divididas conforme a ilustração a seguir.

Mistura	Fusão	Transformação	Recozimento	Corte
As matérias -primas são dosadas, misturadas e enviadas ao de fusão	A composição é fundida a 1.600 ºC **num processo** controlado	A massa de vidro **fundido flutua** sobre uma piscina **de estanho a** 650 ºC formando a lâmina de vidro	A lâmina de vidro ***float*** **é recozida** num forno que resfria a chapa de forma controlada	A lâmina de vidro contínua é inspecionada contra defeitos e cortada em chapas que são emplilhadas

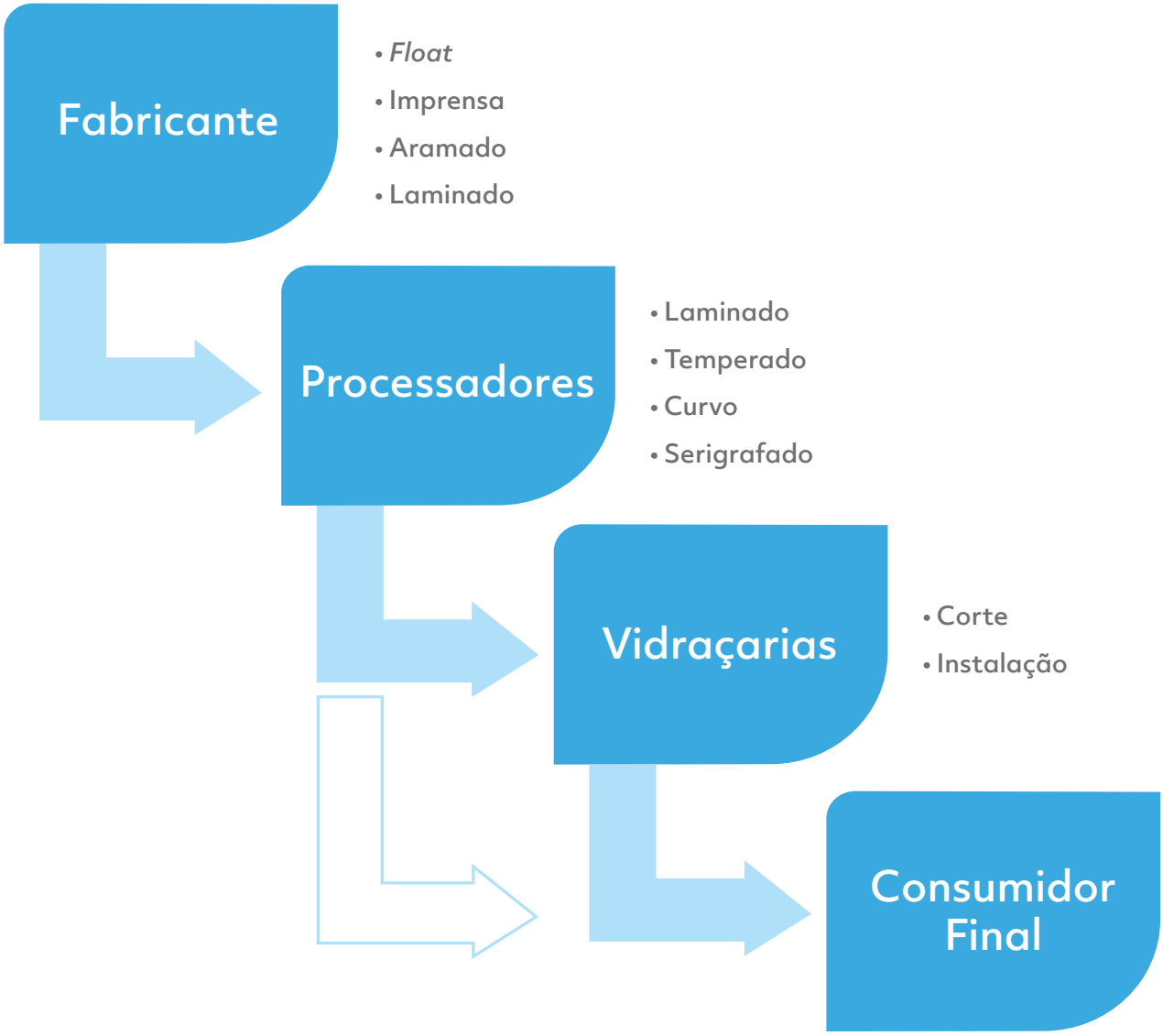


Processo de fabricação do vidro *float*. | Fonte: Adaptado de AGC (2015).

A figura seguinte ilustra o fluxo da cadeia produtiva do vidro plano no país. Os fabricantes comercializam as chapas de vidro *float* e impresso às distribuidoras e processadoras para beneficiamento dos produtos destinados ao consumidor final. Nestas empresas, o vidro é processado para gerar as variadas formas de aplicação, que serão descritas a seguir. Algumas processadoras fornecem o vidro direto ao consumidor final, mas em muitos casos os produtos são comercializados em vidraçarias, que podem realizar o corte de alguns tipos de vidro e a instalação final.

O quadro a seguir resume as diferentes possibilidades de produtos e beneficiamento disponíveis no mercado. As opções de combinação são várias, sendo difícil traçar uma sequência direta da possibilidade de tratamento e beneficiamento para cada tipo de vidro. Ao mesmo tempo que nem todas as processadoras realizam todos os tipos de beneficiamento, alguns fabricantes também fornecem vidros já processados em chapas padronizadas, como algumas opções de laminados e pintados.

CADEIA PRODUTIVA DO VIDRO PLANO NO BRASIL



OS DIFERENTES TIPOS DE VIDRO FABRICADOS E PROCESSADOS

Produzidos na fábricas	Processados nas distribuidoras		Vidros especiais
	Tratamento superficial	Beneficiamento	
Aramado	Acidado	Curvo	Antibactéria
Controle solar	Jateado	Insulado	Antirrisco
Espelho	Pintado a frio	Laminado	Autolimpante
Extra clear	Serigrafado	Temperado	Blindado
Float colorido			Fotovoltaico
Float incolor			Corta-fogo
Impresso			Para-chamas
Laminado			Redutor de radiação

O mais importante é conhecer os diferentes tipos e aplicações possíveis. O projetista pode consultar o distribuidor de vidro para verificar a disponibilidade de cada solução durante o desenvolvimento do projeto. A consulta à norma NBR 7199 é primordial para a decisão pelo tipo de beneficiamento, visando a aplicação segura do vidro plano em edificações.

Os diferentes tipos de vidro plano são apresentados a seguir, em ordem alfabética, classificadas pelos grupos apresentados no quadro anterior.

VIDROS PRODUZIDOS NAS FÁBRICAS

ARAMADO

O vidro aramado possui uma tela metálica incorporada ao seu interior. Essa tela é inserida à massa vítrea ainda derretida, conferindo maior resistência à chapa de vidro. É considerado um vidro de segurança e para-chamas. Quando quebrado, os cacos de vidro permanecem presos à tela metálica, evitando possíveis ferimentos e mantendo o local de instalação fechado.
O vidro aramado tem suas aplicações mais comuns em portas de acesso, janelas de escadas enclausuradas, divisórias, portas de móveis, guarda-corpos, coberturas e janelas projetantes para o exterior. Todas essas aplicações são previstas pela NBR 7199. A norma ABNT que trata dos requisitos mínimos de qualidade do vidro aramado é a NBR NM 295. A norma define dois tipos de vidro aramado:

- Aramado translúcido: vidro plano, translúcido, incolor ou colorido, obtido por fundição e laminação contínuas onde se incorpora durante o processo de fabricação uma malha de arame de aço, soldada em todas as suas interseções. Apresentada sobre uma ou ambas as faces um desenho impresso.
- Aramado transparente: vidro plano, transparente, incolor, obtido por fundição e laminação contínuas onde se incorpora durante o processo de fabricação uma malha de arame de aço, soldada em todas as suas interseções. As faces são paralelas entre si e polidas mecanicamente.

Como requisitos de qualidade, a NBR NM 295 especifica limites para defeitos de impressão e deformação da malha, caracterizados pela falta de esquadro ou ondulações (do desenho do vidro impresso ou da malha metálica). A norma também apresenta os limites de tolerância para a espessura nominal. De acordo com a norma, as espessuras nominais previstas para o vidro aramado são: 6 mm, 6,5 mm, 7 mm, 8 mm e 9 mm.

Porta de vidro aramado.

CONTROLE SOLAR

Vidros de controle solar são aqueles que possuem um tratamento superficial por meio de um revestimento metálico, imperceptível a olho nu, mas que pode dar um aspecto mais refletivo ou mais escurecido ao vidro.

Esse revestimento tem a função de minimizar o ganho de calor solar através do vidro, filtrando parte do espectro da radiação solar. Dependendo da composição do revestimento, o vidro pode proporcionar baixo ganho de calor por radiação solar, enquanto permite a passagem de luz.

Vidro de controle solar.

Com a tecnologia de revestimento que existe atualmente, é possível ter vidros com mesmo desempenho térmico, mas com colorações diferentes. Dessa forma, pode-se buscar alta eficiência energética, sem abrir mão da estética, contato visual com o exterior ou privacidade. Em termos gerais, pode-se dizer que o revestimento metálico de vidros de controle solar funciona como uma "peneira" ou, mais precisamente, como um "filtro" para a radiação solar, permitindo o controle da transmissão de luz e calor para o ambiente, de acordo com as necessidades do projeto.

O revestimento, chamado de *coating*, pode ser aplicado durante o processo de fabricação com o vidro ainda quente (processo *on-line*, ou *hard-coating*), ou após o vidro pronto (processo *off-line* ou *soft-coating*). Dependendo do tipo de revestimento e sua resistência a intempéries, o vidro de controle solar deve ser laminado ou insulado para proteger o *coating* no interior da composição. Mas existem soluções que podem ser aplicadas na forma monolítica. Alguns vidros de controle solar também podem ser curvados e temperados. Além disso, o *coating* pode ser aplicado ao *float* incolor e colorido, e posteriormente serigrafado.

A principal aplicação dos vidros de controle solar ocorre em janelas, fachadas e coberturas envidraçadas, permitindo maior área de abertura, com menor ganho de calor comparado ao vidro *float* incolor ou colorido. Maiores detalhes sobre essas aplicações serão apresentados no capítulo sobre Controle Solar e Eficiência Energética. A norma da ABNT que trata das características e métodos de ensaio para garantia da qualidade dos vidros de controle solar é a NBR 16023 (Vidros revestidos para controle solar – Requisitos, classificação e métodos de ensaio).

Fachada da Torre Matarazzo, em São Paulo, executada com vidros de controle solar.
Projeto: Aflalo e Gasperini Arquitetos. | Foto: F. S. Westphal.

ESPELHO

Para fabricação do espelho, o vidro *float* recebe sobre uma de suas superfícies camadas metálicas (de prata, alumínio ou cromo). Em seguida, o produto recebe camadas de tinta que têm a função de protegê-lo. É a prata que promove o reflexo das imagens, visível por meio do vidro transparente e protegida pela tinta.

Atualmente, existem dois processos para a fabricação do espelho. Um dos mais difundidos no mundo é o galvânico, que utiliza camadas metálicas de prata e cobre juntamente com uma tinta protetora. O processo *copper-free* é mais recente: durante a fabricação dos espelhos, são utilizadas camadas metálicas de prata, agentes passivadores de ligamento e tinta protetora. Os dois métodos são semelhantes, porém, existem pontos de diferenciação. O *copper-free* não utiliza o cobre como protetor da prata. Neste caso, a proteção é feita por uma solução inerte que, aplicada sobre a prata, evita sua oxidação e dá boa aderência à tinta.

O mercado brasileiro dispõe de espelhos de boa qualidade, fabricados a partir das duas tecnologias. Além de ser um objeto fundamental para residências, como complemento de decoração, o mercado oferece espelhos que possuem alta resistência ao aparecimento de manchas (oxidação) e alto grau de reflexão. Na decoração, o espelho amplia o ambiente e proporciona maior aproveitamento da luz natural. Todas as possibilidades de utilização do espelho foram ampliadas com o desenvolvimento das técnicas de fabricação. Existem vários tipos de espelho – simples, de segurança com resina, côncavos, convexos, bisotados, laminados, coloridos, entre outros. Suas formas de aplicação são inúmeras: em lojas, academias, hotéis e elevadores, na decoração de ambientes.

A norma NBR 14696 estabelece os requisitos gerais e métodos de ensaio para garantir a durabilidade e a qualidade dos espelhos de prata manufaturados.

Fonte: Foto de Suhyeon Choi em Unsplash.

FLOAT COLORIDO

Os vidros coloridos são transparentes, mas com uma leve coloração em sua massa. Utilizando o mesmo processo de fabricação *float*, a massa do vidro comum recebe uma quantidade de metais específicos que irão conferir um tom de cor, podendo ser verde, bronze ou cinza. Alguns fabricantes criam tonalidades diferentes dentro desses três grupos de cor.

Além do efeito estético diferenciado, o vidro colorido absorve parte da radiação solar, reduzindo sua transmissão para o interior do ambiente. Porém, grande parte do calor absorvido pode ser ainda reirradiada para o interior da edificação. As aplicações são inúmeras, e o vidro colorido pode ser ainda de controle solar e receber qualquer tipo de beneficiamento, como o vidro *float* incolor.

Janelas do Edifício Koerich Empresarial Rio Branco, em Florianópolis (SC), executada com vidros coloridos.
Projeto: Mantovani e Rita Arquitetura. | Foto: F. S. Westphal.

FLOAT INCOLOR

Vidro *float* incolor instalado em seu uso mais comum: janela residencial. Foto: www.shutterstock.com.

O vidro *float* comum – também chamado de vidro recozido – é aquele que ainda não recebeu nenhum tipo de beneficiamento. Recozimento é o processo de resfriamento controlado para evitar a tensão residual no vidro e é uma operação inerente ao processo de fabricação do vidro *float*. A norma ABNT NM 294 estabelece a definição do vidro *float* como: "vidro de silicato sodocálcico, plano, transparente, incolor ou colorido em sua massa, de faces paralelas e planas, que se obtém por fundição contínua e solidificação no interior de um banho de metal fundido".

O vidro *float* comum pode ser cortado, usinado, perfurado, curvado, afiado e polido. A partir das chapas de vidro *float* é possível fazer uma série de processamentos, que geram alguns dos diferentes tipos de vidro listados neste capítulo, tais como: curvo, laminado, temperado, insulado, acidado, jateado, pintado, serigrafado, antibactéria, autolimpante, fotovoltaico.

Em edificações, o vidro *float* comum pode ser utilizado onde não há o risco de impacto humano, como em janelas de correr, com o vidro inteiramente encaixilhado acima de 1,10 m do piso. A NBR 7199 define as aplicações e os usos de cada tipo de vidro, que devem ser observados com muito cuidado. O capítulo sobre Vidros de Segurança irá abordar em detalhes as condições de aplicação previstas na norma.

IMPRESSO

Segundo definição da NBR NM 197, o vidro impresso é um vidro plano, translúcido, incolor ou colorido em sua massa, obtido por fundição e laminação contínuas, e que apresenta sobre uma das faces um desenho impresso. O desenho é formado pela compressão do vidro entre dois rolos metálicos, com marcações que são transferidas ao vidro ainda quente, durante o processo de fabricação.

Tem ampla utilização em eletrodomésticos, móveis, utensílios, decoração e divisórias. O vidro impresso também tem importantes aplicações em janelas e fachadas, conferindo privacidade, devido à superfície translúcida, sem bloquear o aproveitamento de luz natural. O vidro impresso pode ser curvado, pintado, serigrafado, temperado, laminado e insulado.

Peitoril executado em vidro impresso.| Foto: F. S. Westphal.

VIDROS PROCESSADOS COM TRATAMENTO SUPERFICIAL

ACIDADO

O vidro acidado é levemente opaco e pode ser feito em diversas cores. Seu processo de fabricação consiste no contato com ácidos, artesanalmente ou industrialmente, e por isso ele recebe esse nome. Quando produzidos por meio do sistema industrial, os vidros acidados podem ter imagens diferenciadas ou então opacidade total, com ou sem adição de cores. São também muito procurados pelo efeito estético que proporcionam à decoração, podendo ser curvados, bisotados ou temperados. Além da possibilidade de variação de cores, outra vantagem do vidro acidado em relação ao jateado é a facilidade de limpeza, pois não possui superfícies rugosas, evitando a aderência de sujeira e gordura.

Divisória e porta executadas com vidro acidado. | Foto: divulgação Cinex.

JATEADO

Muito utilizado em projeto de interiores, onde se deseja obter certa privacidade, seu processo de produção – que antigamente era feito com jatos de areia – evoluiu para utilização de pós abrasivos que, aplicados sobre a superfície do vidro, formam desenhos e garantem uma maior uniformidade para a peça. O vidro jateado pode, ainda, ser temperado e laminado, sendo muito utilizado dessa forma para compor degraus de escadas e pisos de vidro.

PINTADO A FRIO

A pintura a frio é aplicada por pistola (compressor), após a limpeza do vidro com álcool isopropílico. Em seguida, é preciso esperar a cura total para poder tocá-lo e empilhá-lo. Não se pode temperar um vidro pintado, pois a tinta não suporta a temperatura de 650 °C dentro do forno de têmpera. No caso de ser necessária a utilização de um vidro temperado e pintado ao mesmo tempo, é preciso serigrafar o vidro ou temperá-lo antes do processo de pintura a frio.

Uma das vantagens do vidro pintado a frio é a economia, pois ele é cortado na medida exata e pintado posteriormente, sem desperdício de vidro ou de tinta. Além disso, o processo não exige investimento em máquinas e equipamentos específicos e ainda oferece inúmeras cores a partir de combinações entre as cores primárias.

Mobiliário executado com vidro pintado. | Foto: F. S. Westphal.

SERIGRAFADO

O vidro serigrafado recebe uma pintura com tinta cerâmica e em seguida é submetido ao processo de têmpera. A tinta é fundida ao vidro, conferindo alta durabilidade e resistência. As chapas podem ser serigrafadas com uma cor homogênea, ou ainda receber uma textura, com figuras geométricas ou imagens de baixa resolução. O vidro serigrafado pode ser aplicado em fachadas e coberturas, para controlar a entrada de luz e calor, bem como garantir a privacidade do ambiente interno. Também é muito utilizado na decoração de interiores, na fabricação de móveis e divisórias. Pode ser ainda curvado, laminado e insulado. A serigrafia também pode ser aplicada em vidros de controle solar.

Vidro de controle solar serigrafado aplicado em fachadas. | Foto: F. S. Westphal.

VIDROS BENEFICIADOS

CURVO

O vidro *float* comum e o vidro impresso podem ser curvados com o suporte de um molde, aplicado na chapa de vidro a altas temperaturas (em torno de 650 °C). Depois de curvado, o vidro ainda pode ser temperado, laminado e insulado. Isso amplia a gama de aplicações na arquitetura, podendo compor fachadas e guarda-corpos com diferentes raios de curvaturas e formatos. O vidro curvo também é muito utilizado na indústria automobilística, de eletrodomésticos e em móveis.

Fachada com vidro de controle solar curvo no prédio JCPM Trade Center, em Recife (PE).
Autor: Jerônimo da Cunha Lima Arquitetos. | Foto: F. S. Westphal.

Fachada do edifício 7 World Trade Center, com vidro insulado de controle solar.
Autor: David Childs (Skidmore, Owings and Merrill). | Foto: F. S. Westphal.

INSULADO

O vidro insulado é aquele que tem duas ou mais chapas de vidro unidas hermeticamente em suas bordas, formando uma câmara de ar entre elas e criando um conjunto unitário. Chamado de "unidade insulada," ou em inglês IGU (*Insulated Glass Unit*), é o mais eficaz para reduzir a transferência de calor por condução através do vidro. Quando usados em conjunto com vidros de controle solar e com acabamento *Low-e* (baixa emissividade), os vidros insulados podem atingir elevados níveis de isolamento térmico. A NBR 16015 estabelece as características, requisitos e métodos de ensaio do vidro insulado plano utilizado na construção civil.

TEMPERADO

O vidro temperado é de 4 a 5 vezes mais resistente do que o vidro *float* comum de mesma espessura e configuração. Quando quebrado, ele gera fragmentos relativamente pequenos, que são menos propensos a causar ferimentos graves. Pode ser classificado como um vidro de segurança, desde que atenda aos requisitos da NBR 14698. O processo típico para produzir vidro temperado envolve o seu aquecimento a mais de 600 °C e, em seguida, o resfriamento rápido para bloquear as superfícies de vidro em um estado de compressão e o núcleo num estado de tração. Depois de temperado, o vidro não pode sofrer corte ou usinagem.

Na arquitetura é muito comum o uso de vidro temperado no fechamento de vitrines de lojas e em residências para a execução de *box* de banheiros. Com vidro temperado também é possível executar estruturas de fachadas autoportantes, muito comuns em ambientes com pé-direito elevado, tais como *lobbys* e *halls* de edifícios.

O capítulo sobre Vidros de Segurança apresenta mais informações sobre o vidro temperado e suas aplicações previstas na NBR 7199.

Fechamento com vidro de controle solar temperado e curvo, em estrutura autoportante. | Projeto: JCPM Trade Center. | Autor: Jerônimo da Cunha Lima Arquitetos. | Foto: F. S. Westphal.

Fechamento em vidro temperado incolor em estrutura autoportante. | Foto: F. S. Westphal.

VIDROS ESPECIAIS

ANTIBACTÉRIA

O vidro antibactéria compreende a difusão de íons de prata nas suas camadas superiores. Os íons interagem com as bactérias e as destroem em 24 horas, desativando seu metabolismo e interrompendo sua divisão mecânica. O efeito bactericida do vidro segue em curso indefinidamente, mesmo em condições de calor e umidade. Pode ser produzido a partir do vidro *float* incolor, colorido ou espelho, podendo ser aplicado em ambientes com atenção especial à saúde, como hospitais, clínicas e laboratórios. Pode ser utilizado não apenas nas janelas, mas como material de revestimento de paredes, na composição de divisórias e móveis.

RESISTENTES AO FOGO

As normas nacionais e internacionais sempre contemplam o desempenho de um sistema de envidraçamento resistente ao fogo, incluindo vidro e perfis, e não apenas de um componente. A certificação será sempre do conjunto vidro e esquadria, especificando seus modelos, dimensões, fixação e vedação. Os materiais precisam trabalhar em sinergia para suportar o ataque do fogo, o que só se pode comprovar por meio de um ensaio. A norma NBR 14925 trata de requisitos exigidos para unidades envidraçadas resistentes ao fogo.

NO MERCADO, EXISTEM TRÊS CATEGORIAS DE VIDROS RESISTENTES AO FOGO:

Para-chamas: impede a passagem de gases tóxicos (fumaça) e chamas, mas não impede a transmissão de calor por radiação térmica. O elemento não pode se abrir possibilitando a passagem de gases. Esse tipo de vidro normalmente é aplicado em elementos para contenção de fumaça.

Redutor de radiação: impede a passagem de chamas, gases tóxicos (fumaça) e reduz a passagem de radiação de calor. Mantém um ambiente habitável e evita a ignição de móveis a uma distância de 1,5 m do elemento. Normalmente é aplicado em divisórias, portas, janelas e fachadas.

Corta-fogo: impede a passagem de chamas, gases tóxicos (fumaça) e isola a passagem de radiação de calor através do elemento. Normalmente aplicado em divisórias, portas, janelas, pisos e fachadas.

ANTIRRISCO

O vidro antirrisco é produzido a partir da fusão de átomos de carbono em sua superfície, conferindo maior resistência a arranhões do que o vidro *float* comum. A superfície desse tipo de vidro possui um coeficiente de atrito mais baixo, que protege permanentemente do desgaste normal, sendo mais utilizado em móveis e decoração.

AUTOLIMPANTE

Na produção do vidro autolimpante, o vidro *float* recebe uma película com partículas de dióxido de titânio (TiO_2). A camada de cobertura age de duas formas: na quebra das moléculas orgânicas e, em seguida, na eliminação da poeira inorgânica. A quebra das moléculas orgânicas é feita por meio do processo chamado fotocatalítico. Os raios ultravioleta reagem com a cobertura de dióxido de titânio do vidro autolimpante e desintegram as moléculas à base de carbono, eliminando totalmente a poeira orgânica. A segunda parte do processo acontece quando a chuva ou um jato de água atingem o vidro. Como é um produto hidrofílico (que absorve bem a água), em vez de formar gotículas, como nos vidros normais, a água se espalha igualmente por toda superfície do vidro autolimpante, levando com ela toda a poeira. Em comparação com os vidros normais, a água também seca muito mais rapidamente e não deixa as manchas tradicionais do vidro comum.

Ilustração do vidro autolimpante: à esquerda o vidro incolor comum; à direita o vidro com tratamento autolimpante. | Fonte: Imagem de propriedade da Saint-Gobain.

BLINDADO

O blindado é um vidro multilaminado dimensionado para resistir a disparos de armas de fogo. Cada fabricante desse tipo de vidro pode lançar mão de uma composição específica. Na maioria das vezes, o vidro blindado é fabricado por meio de um processo de calor e pressão, que utiliza – intercaladamente – duas ou mais lâminas de vidro, PVB ou resina, poliuretano e lâminas de policarbonato. Todos os itens são unidos, tornando a composição altamente resistente. São estas camadas plásticas entre as lâminas de vidro que amortecem o impacto e aumentam a resistência do material. As espessuras e a quantidade de lâminas variam de acordo com o nível que se deseja proteger, são classificados conforme a norma NBR 15000 – Blindagens para impactos balísticos – Classificação e critérios de avaliação. O Exército Nacional é o responsável por certificar os fabricantes para produção e comercialização do vidro. Somente as empresas que passarem pelos testes aplicados pelo Exército estão autorizadas a produzir e comercializar o vidro blindado.

FOTOVOLTAICO

Pequenas lâminas de células fotovoltaicas compostas de silício, um material semicondutor, são instaladas em vidros simples, laminados ou duplos e dão origem aos vidros fotovoltaicos. Esses vidros absorvem a radiação solar, convertendo-a em eletricidade. Cada painel de vidro pode abrigar diversas células conectadas entre si. Fios instalados no interior dos perfis de alumínio conduzem a energia elétrica de um painel para outro, sucessivamente, até os conversores de frequência ou baterias de armazenamento. As configurações de células fotovoltaicas são inúmeras, podendo variar a cor, transparência, textura, formas e eficiência na geração de energia. As células fotovoltaicas podem ser laminadas também em vidros serigrafados.

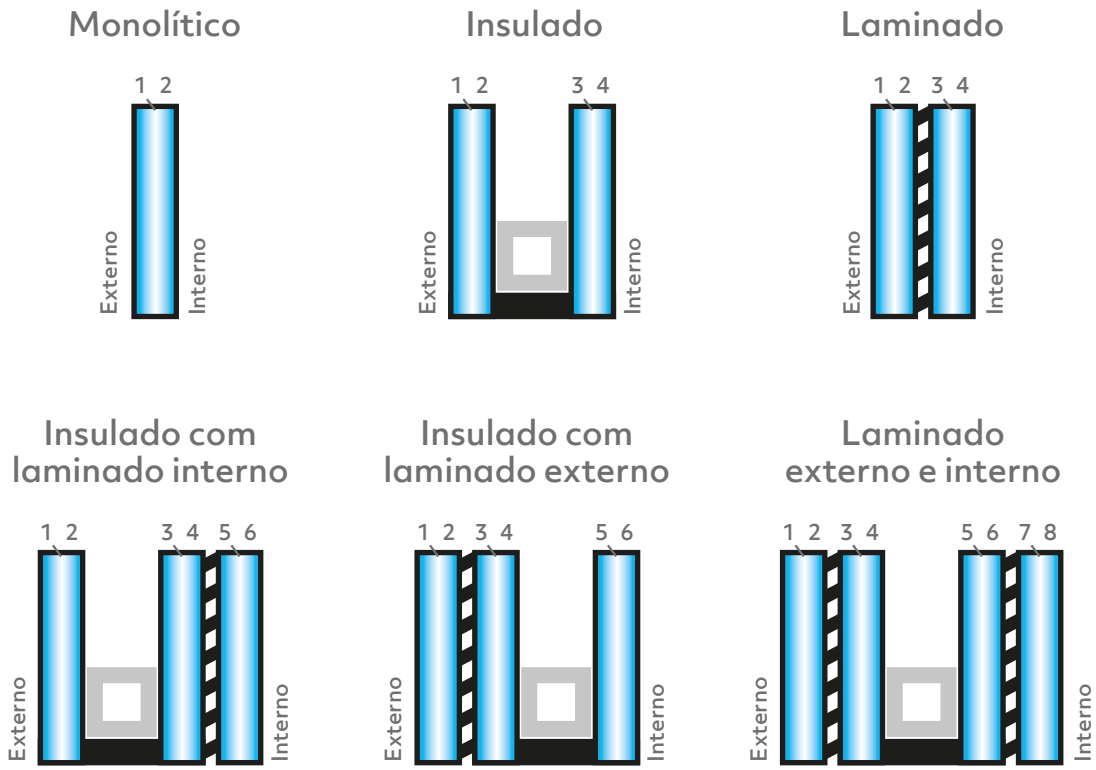
Vidro foltovoltaico translúcido. | Foto: F. S. .Westphal.

NOMENCLATURA DAS FACES DO VIDRO

Internacionalmente, convencionou-se uma nomenclatura padrão para identificar as faces de uma composição de vidro, de modo que a informação sobre posicionamento de superfícies de revestimento metálico, serigrafia e laminação possam ser entendidas da mesma forma em todas as etapas de fabricação e distribuição do vidro.

As faces são numeradas em ordem crescente, da superfície externa para a superfície interna do vidro. Cada chapa de vidro isoladamente tem suas faces numeradas em sequência, conforme ilustra a figura abaixo.

Na especificação dos vidros, as faces também são chamadas de "posição", assim, pode-se dizer que determinado vidro de controle solar deverá ter o seu revestimento metálico na posição 2, por exemplo. Uma chapa de vidro única, sem laminação ou não insulada, é denominada vidro monolítico.



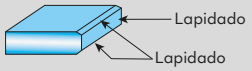
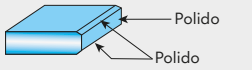
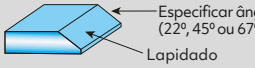
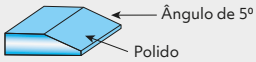
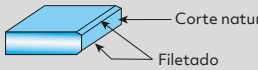
Nomenclatura das faces de composições de vidro plano. | Fonte: Guardian (2010).

TRATAMENTO DE BORDA

O bom acabamento da borda do vidro é importante para evitar pontos frágeis que possam levar à quebra. Diversos tipos de tratamento de borda podem ser realizados, dependendo da aplicação e do beneficiamento do vidro. A figura abaixo seguinte ilustra alguns tipos de borda comuns.

Para os espelhos, a NBR 15198 define os diferentes tipos de acabamento de borda aceitáveis e procedimentos de inspeção após o beneficiamento.

Para os vidros temperados, a NBR 14698 estabelece que todo vidro deve ter sua borda trabalhada antes do processo de têmpera. O acabamento de borda deve ser no mínimo filetada, no caso de utilização de bordas protegidas, e lapidadas ou bisotadas quando forem expostas. A norma também determina os defeitos de borda permissíveis no caso de vidros encaixilhados.

Acabamentos de borda	Descrição	Aplicação
	Lapidado reto	Silicone estrutural com borda exposta
	Polido reto	Silicone estrutural com acabamento diferenciado
	Meia-cana	Espelhos, vidros decorativos de móveis
	Meia-cana polida	Espelhos, vidros decorativos de móveis
	Bizotê lapidado	Silicone estrutural
	Bizotê polido	Espelhos, vidros decorativos de móveis
	Filetado	Vidros para caixilhos com tratamento térmico

Nomenclatura das faces de composições de vidro plano. | Fonte: Guardian (2010).

VIDROS DE SEGURANÇA

UM PRODUTO APARENTEMENTE FRÁGIL, MAS COM RESISTÊNCIA SURPREENDENTE

Quando um vidro *float* quebra, forma fragmentos e lascas que podem causar ferimentos. Com o desenvolvimento de vidros de segurança, a reputação da perigosa fragilidade do vidro está desaparecendo e a garantia de proteção em áreas onde a segurança é crítica, ou em situações de risco, está sendo frequentemente verificada.

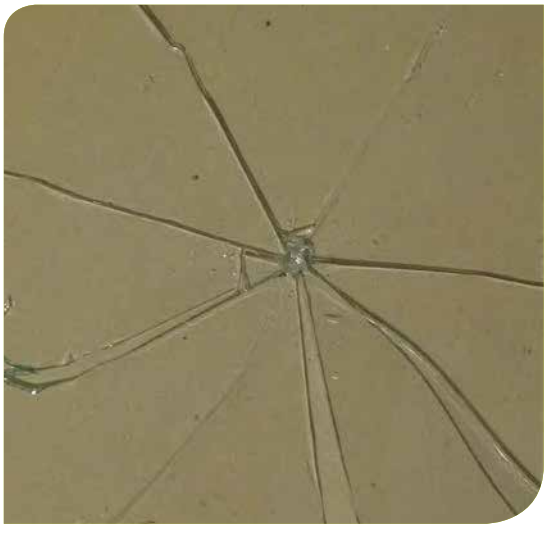
Vidro de segurança é definido como aquele aprovado por testes de impacto e que não deve quebrar ou deve quebrar com segurança. Atualmente, existem três principais tipos de vidro de segurança no mercado: laminado, temperado e aramado.

A figura ao lado ilustra o padrão de quebra do vidro *float* comum e dos vidros de segurança. Observa-se que o vidro *float* quebra em fragmentos maiores, que se desprendem da peça original. O vidro temperado fragmenta-se em pequenos pedaços, que também se soltam da chapa de vidro original, mas com menos riscos de provocar ferimentos graves.

Os vidros aramado e laminado quebram-se em pedaços semelhantes ao vidro *float* comum, mas tendem a manter os fragmentos no local.

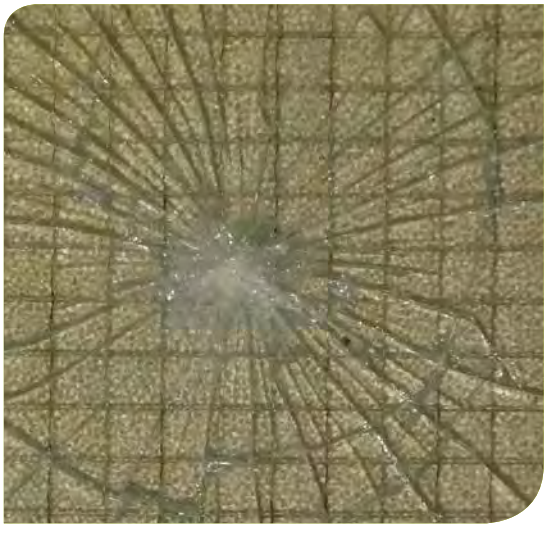
O vidro aramado mantém parte dos fragmentos presa à tela metálica, enquanto o vidro laminado permanece com praticamente todos os fragmentos presos à camada intermediária. Os diferentes tipos de vidro de segurança existentes no mercado serão descritos nos tópicos a seguir.

FLOAT (COMUM)



TEMPERADO

ARAMADO



LAMINADO

Padrões de quebra de diferentes tipos de vidro. | Fonte: F. S. Westphal.

O projetista é responsável por especificar todas as áreas de risco onde há a necessidade de utilização do vidro de segurança, tendo sempre em vista o uso do edifício e o nível de atividade dos usuários. A NBR 7199 estabelece que os vidros de segurança devem ser utilizados em áreas de risco, quando existe o perigo de ferimentos causados por queda ou por quebra do vidro. Esses locais geralmente são peitoris, portas, divisórias, claraboias, guarda-corpos e janelas projetantes para o exterior do edifício.

O vidro de segurança também pode ser utilizado com a finalidade de proteger a propriedade contra ações de roubo e vandalismo. Para estes fins, são normalmente empregados em residências, escritórios, vitrines de estabelecimentos comerciais. Nestes casos, os vidros devem permanecer fechando o vão, mesmo quando quebrados, impedindo que o indivíduo tenha acesso ao ambiente interno.

Vidros de segurança também são amplamente utilizados como proteção contra fogo e explosões. Nestes casos, os sistemas de envidraçamento são aplicados em locais específicos, como em escadas corta-fogo. Para resistir ao fogo, os vidros podem ser aramados, laminados (PVB, EVA, resina) ou ainda temperados.

A norma NBR 7199 agrupa, no quadro reproduzido a seguir, as condições gerais de aplicação do vidro plano em edificações. O projetista deve dar atenção especial a este quadro na hora de especificar o tipo de vidro de segurança necessário em determinados usos. Uma revisão completa do projeto, segundo os requisitos da NBR 7199, é fundamental antes de solicitar os vidros para a obra, evitando a instalação em condições de risco à segurança.

Aplicações	Casos usuais	Tipo(s) de vidro

Vidros verticais suscetíveis ao impacto humano	Vidros instalados abaixo da cota de 1,10 m em relação ao piso (executando-se as situações previstas na aplicação de "vidros verticiais" nesta tabela):
	• Portas e janelas:
	  • autoportante[l]
	  • encaixilhado[a]
	• Divisórias
	• Vitrines
	• Muro de vidro
		• Vidro temperado[b]
		• Vidro laminado de segurança[c]
		• Vidro aramado[k]
		• Vidro insulado composto com os citados anteriormente

Vidros verticais	• Fachadas:
	  • a partir do primeiro pavimento (inclusive), abaixo da cota de 1,10 m em relação ao piso
	  • no pavimento térreo, que dividam ambientes com desnível superior a 1,5m
	• Guarda-corpos[h]; para:
	  • sacadas
	  • escapes
	  • rampas
	  • desníveis
		• Vidro laminado de segurança[c]
		• Vidro aramado[k]
		• Vidro insulado composto com os citados anteriormente

	Vidros instalados acima da cota de 1,10 m em relação ao piso	• Vidro temperado[b] • Vidro laminado de segurança[c] • Vidro aramado[k] • Vidro *float*[a] • Vidro insulado composto com os citados anteriormente
Vidros não verticais	• Cobertura • Marquise • Clarabóia • Fachadas inclinadas • Guarda-corpos[h]; inclinados • Vidros instalados abaixo da cota de 1,10 m em relação ao piso	• Vidro laminado de segurança[c] • Vidro aramado[k] • Vidro insulado[d]

Aplicações	Casos usuais	Tipo(s) de vidro
Envidraçamentos projetantes móveis	• Projetante • Basculante • Projetante-deslizante (maxim-ar) • De giro, de eixo vertical • De tombar • Pivotante • Sanfona (camarão) • Resersível	• Vidro laminado de segurança[c] • Vidro aramado[k] • Vidro insulado[k] • Vidro temperado [b, c] • Vidro *float* [f a] • Vidro impresso [f a]
Vidros próximos a áreas escorregadias	• Boxe de banheiro	• Ver ABNT NBR 10207
Vidros que retardam a propagação do fogo [g]	• Fechamentos onde é exigida uma resistência à propagação do fogo durante um período de tempo determinado	• Vidro laminado com camada intermediária resistente ao fogo[c] • Vidro aramado[k] • Vidro insulado composto com os vidros citados anteriormente
Vidros para retardar ações de arrombamento	• Fechamento envidraçado em geral • Vitrines • Barreiras de separação em estádios de esportes • Isolamentos de jaulas em zoológicos	• Vidro laminado de segurança[c] • Vidro insulado composto com os vidros citados anteriormente
Vidros blindados	• Blindagens resistentes a impactos balísticos em geral	• Ver ABNT NBR 15000
Vidros resistentes à explosão	• Fechamentos envidraçados para prevenir as consequências de uma explosão	• Ver ABNT NBR 1642

Aplicações	Casos usuais	Tipo(s) de vidro
Vidros em instalações especiais	• Pisos e degraus de vidro • Visores de piscinas e aquários • Estruturas de vidro	• Vidro laminado de segurança[c]
Envidraçamento de sacadas		• Ver ABNT NBR 16259

[a] Vidro *float* (ABNT NBR NM 294) ou impresso (ABNT NBR 297) é permitido, desde que acima da cota de 1,10 m em relação ao piso e encaixilhado ou colado em todo o seu perímetro.

[b] Ver ABNT NBR 14698 – Vidro temperado.

[c] Ver ABNT NBR 114697 – Vidro laminado.

[d] No caso do vidro insulado, ABNT NBR 16015, a chapa de vidro interior deve ser de vidro laminado ou aramado.

[e] Permitido no pavimento térreo. No primeiro pavimento, pode ser autoportante ou totalmente encaixilhado. Acima do primeiro pavimento, deve ser totalmente encaixilhado, e com uma projeção máxima limitada a 250 mm da face da fachada ou da aba de proteção.

[f] Permitido no pavimento térreo ou no primeiro pavimento, deve ser totalmente encaixilhado. Acima do primeiro pavimento, deve ser totalmente encaixilhado, e com uma projeção máxima limitada a 250 mm da face ou da aba de proteção.
Em todos os casos a área do vidro não pode exceder 0,64 m².

[g] Ver ABNT NBR 14925.

[h] Ver ABNT NBR 14718.

[I] Só permitido em vidro temperado ou laminado temperado.

[j] R–105:2000 – Regulamento para fiscalização de produtos controlados (Decreto 3664, 10/11/2000).

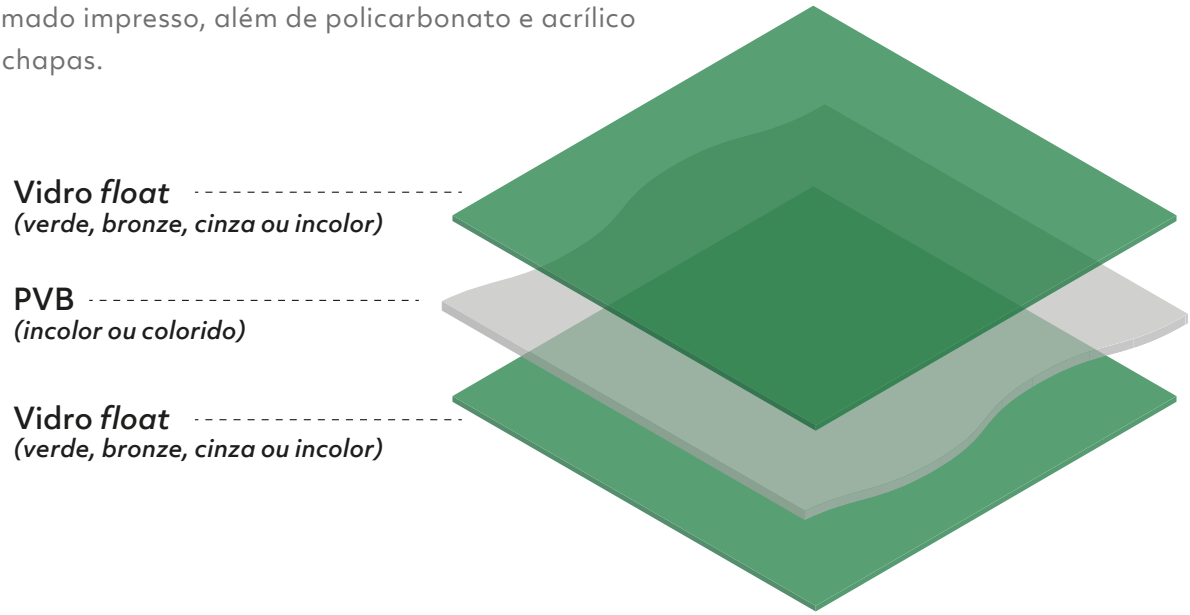
[k] Ver ABNT NBR NM 295.

Usos e aplicações dos vidros em conformidade à ABNT/NBR 7199.

LAMINADO

Existem diferentes tipos de vidro laminado. O mais amplamente utilizado na construção civil é o laminado composto de uma camada de PVB (polivinil butiral) e dois vidros *float*. O PVB é um plástico, composto de uma ou mais camadas, que é intercalado entre duas folhas de vidro, podendo ser o vidro laminado ou multilaminado (com mais de duas camadas de vidro).

Pode-se produzir o vidro laminado a partir de combinações de vidro *float*, impresso, estirado, aramado polido e aramado impresso, além de policarbonato e acrílico em chapas.



Para ser classificado como vidro de segurança, o vidro laminado deve ser submetido ao ensaio de resistência ao impacto, estabelecido na NBR 14697. A norma também especifica os requisitos gerais, métodos de ensaio de durabilidade e cuidados necessários para garantir o potencial de segurança e a durabilidade do vidro laminado em suas aplicações na construção civil e na indústria moveleira.

A camada intermediária é definida pela NBR 14697 como o "material que atua como um adesivo e separador entre as chapas, que pode conferir ao produto acabado características como: resistên-cia ao impacto, resistência ao fogo, controle da luz solar e isolamento acústico". Além de PV B, os vidros laminados podem ser compostos de filmes de EVA (Etileno Acetato de Vinila) e resinas.

O principal benefício desse sistema é seu desempenho em situações de impacto. Quando ocorre a quebra, os vidros laminados mantêm seus fragmentos firmemente colados na camada de PVB. Normalmente, os fragmentos permanecem no local até a substituição do vidro ser conveniente. Dessa forma, a principal aplicação dos vidros laminados ocorre em situações em que a abertura não pode permanecer desprotegida ou os cacos não podem se soltar em caso de quebras, tais como em portas e janelas internas, pisos, escadas e guarda-corpos. Outra aplicação bem comum do vidro laminado é o para-brisa de veículos, onde há um alto risco de choque e quebra, além de grande preocupação com a segurança dos ocupantes do veículo.

A foto abaixo mostra uma escada e guarda-corpo constituídos por vidro laminado. Neste caso, o vidro também foi temperado para aumentar sua resistência e atuar como sistema estrutural. O guarda-corpo é constituído de vidro curvo laminado e os degraus da escada são compostos de vidro impresso laminado. Também é muito utilizado na decoração de interiores, na fabricação de móveis e divisórias. Pode ser ainda curvado, laminado e insulado. A serigrafia também pode ser aplicada em vidros de controle solar.

Em locais onde o risco de roubo e assalto é relevante, como em lojas e centros comerciais, podem ser utilizados vidros multilaminados ou laminados com PVB de alta resistência. São chamados de vidros antivandalismo ou blindados.

A camada de PVB garante outros benefícios para esse sistema, como a redução na transmitância sonora, particularmente nas altas frequências, e a redução da radiação ultravioleta em até 99%.

Quando resinado, o vidro laminado apresenta maior aceitação na decoração de ambientes e propósitos acústicos, onde a performance de segurança é normalmente a importância secundária.

Escada e guarda-corpo executados com vidro laminado. | Projeto: Apple Store, Nova Iorque. | Autor: Bohlin Cywinsky Jackson. | Foto: F. S. Westphal.

TEMPERADO

O vidro temperado é produzido artificialmente pela indução de estresses ao vidro, por meio do aquecimento da chapa a altas temperaturas (em torno de 620 °C), seguido de um resfriamento rápido. Esse processo, chamado têmpera, confere ao vidro uma resistência de 4 a 5 vezes maior do que o vidro *float* comum.

Devido às suas características, o vidro temperado é ideal para uso em sistemas de envidraçamento estrutural, quando é parafusado ou quando utiliza sistema de engate fixo, como observado na foto abaixo. Esse sistema também é indicado para áreas com alto nível de estresse térmico. As dimensões e os furos devem ser previamente efetuados na folha de vidro, pois é impossível realizar modificações físicas após o processo de têmpera, ou seja, o vidro temperado não pode ser cortado nem furado.

Detalhe de fachada executada com vidro temperado em estrutura autoportante. | Foto: F. S. Westphal.

Além disso, o sistema é especialmente desenhado para alcançar alto nível de desempenho para resistir ao fogo. Entre os vidros de segurança, o vidro temperado possui uma vantagem em relação aos demais, já que ele pode ser aplicado sem a utilização de caixilhos. Esse tipo de aplicação pode ser visto em portas e vitrines de lojas, por exemplo.

O vidro temperado pode ser produzido a partir de um vidro de controle solar, garantindo, ainda, bom desempenho térmico. O sistema ainda pode ser curvado, laminado e insulado.

Os cuidados com o uso e aplicação devem ocorrer principalmente para evitar o efeito da "quebra espontânea", que pode ocorrer quando há um choque indevido durante o transporte, instalação ou mau dimensionamento da peça de vidro. Nesse caso, as tensões internas do vidro podem ser afetadas, ocasionando a ruptura do vidro mesmo muito tempo após a sua instalação. Na prática, o vidro não se quebra espontaneamente. A ruptura do vidro temperado pode ocorrer em decorrência de falhas no processamento, no transporte ou na instalação.

A norma da ABNT que trata dos requisitos gerais, métodos de ensaio e cuidados necessários para garantir a segurança, a durabilidade e a qualidade do vidro temperado é a NBR 14698. Em relação às aplicações do vidro temperado, vale lembrar também da existência das normas de guarda-corpos (NBR 14718) e *boxes* para banheiros (NBR 14207).

ARAMADO

O vidro aramado é aquele que possui uma malha de aço implantada no seu interior. Introduzida durante o processo de fabricação do vidro, essa malha tem a função de manter os estilhaços em conjunto quando ocorre a quebra. Porém, os fragmentos de vidro, quando se soltam, ainda podem causar ferimentos.

Quando exposto ao fogo, o vidro se quebra, mas permanece no mesmo local, preso à malha metálica. As chamas só se espalham quando sua influência é tão forte que forma uma abertura no vidro. Os benefícios do vidro aramado são o baixo valor atualmente encontrado no mercado, quando comparado a outros vidros de segurança. Também proporciona privacidade sem perda de luminosidade nos ambientes, devido à sua superfície texturizada.

É importante destacar que os vidros aramados não devem nunca ter suas bordas expostas, principalmente se estiverem em locais suscetíveis a intempéries. A malha de aço pode oxidar e comprometer a integridade do vidro, particularmente quando utilizado no teto de um ambiente doméstico, prejudicando a segurança do sistema. A NBR NM 295 especifica as dimensões e requisitos mínimos de qualidade em relação aos defeitos óticos, de aspectos e do arame metálico do vidro aramado.

Foto: F. S. Westphal.

INSULADO

Uma composição de vidro insulado pode conter chapas de vidros temperados e laminados colocadas no lado externo ou interno, com o intuito de evitar a ocorrência de ferimentos ou a desproteção do vão, quando há o risco de impacto.

No caso de fachadas em pele de vidro insulado, a NBR 7199 exige que a composição seja feita por vidros laminados ou aramados, a partir do primeiro pavimento, e no térreo quando há um desnível superior a 1,5 m. Em outras instalações de vidro insulado vertical, suscetíveis ao impacto humano, mas sem grande mudança de nível, podem ser utilizadas composições também com vidro temperado.

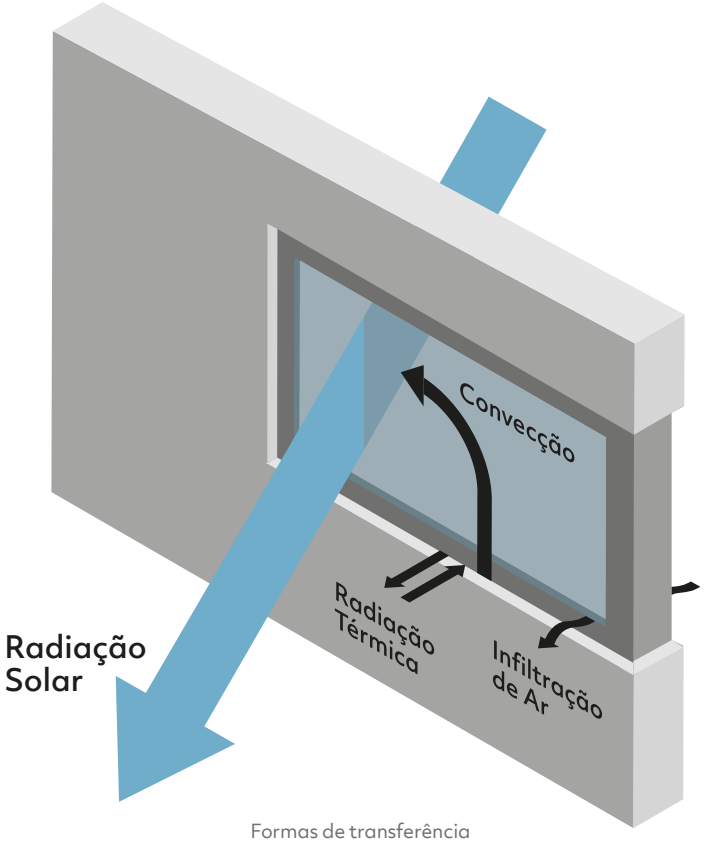
No caso de vidros horizontais (coberturas e claraboias), pelo menos o vidro interno da composição deve ser laminado ou aramado. Assim, no caso de quebra, não há grandes riscos de ferimentos por queda de estilhaços.

Projeto: German Architecture Museum. | Autor: Arq. Oswald Mathias Ungers. | Foto: F. S. Westphal.

DESEMPENHO TÉRMICO

A VISTA PARA O MUNDO, EM QUALQUER TIPO DE CLIMA

A transferência de calor numa janela ocorre por quatro fontes ou formas: radiação solar, convecção, radiação térmica (infravermelha) e infiltração de ar, conforme representado esquematicamente na figura abaixo. O tipo de vidro e suas propriedades físicas irão influenciar diretamente na quantidade de ganho ou perda de calor por radiação e convecção, enquanto as taxas de infiltração de ar dependem mais do tipo de esquadria e nível de vedação proporcionados pelos seus perfis.



Formas de transferência de calor em janelas.

PROPRIEDADES TÉRMICAS DO VIDRO

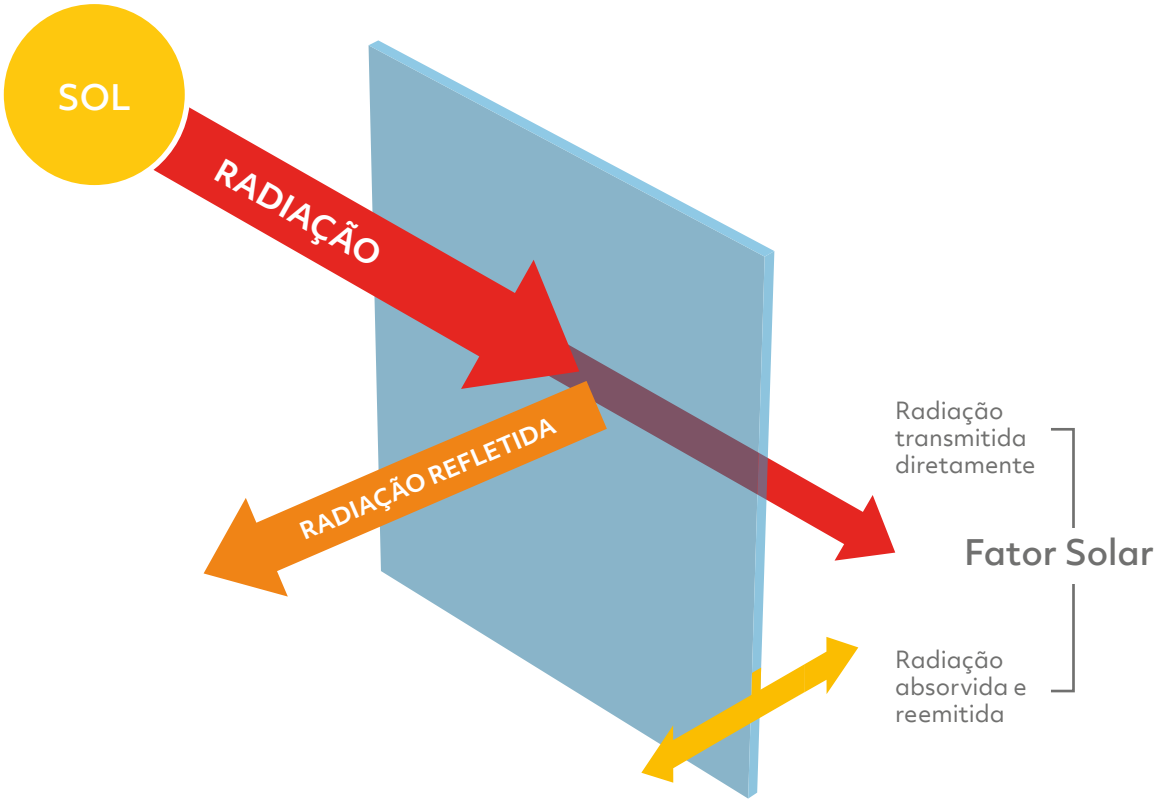
A NBR 16023 define as propriedades térmicas dos vidros de controle solar, importantes para analisar o desempenho térmico, principalmente em relação à radiação solar incidente. Tais propriedades estão listadas no quadro abaixo.

Transmissão ultravioleta (Tuv)	Fração do componente UV incidente da radiação solar transmitida através do vidro
Absorção energética (Abs)	Fração da radiação solar incidente absorvida pelo vidro
Transmissão de Energia (TE)	Fração de energia solar incidente transmitida diretamente pelo vidro
Reflexão de Energia externa (REe)	Fração da radiação solar incidente refletida diretamente para o lado externo
Reflexão de Energia interna (REi)	Fração da radiação solar incidente, absorvida pelo vidro e transmitida para o lado interno
Coeficiente de Transmissão Térmica (ou coeficiente U)	Quantidade de calor que passa por uma unidade de tempo, em regime estacionário, através de uma superfície de vidro, para cada grau de diferença de temperatura entre o interior e o exterior
Emissividade (ε)	Razão entre a radiação emitida por uma superfície e a radiação emitida por um corpo negro (material de referência produzido em laboratório que possui emissividade 100%) à mesma temperatura. É a capacidade do vidro de emitir calor na forma de radiação infravermelha
Fator solar (FS)	Soma do calor da atmosfera por transmissão solar direta, mais a transmissão indireta dos corpos aquecidos pelo sol. Em outras palavras, o fator solar representa o total de calor da radiação solar que passa pelo vidro, ou seja, é a soma da radiação transmitida diretamente com a radiação absorvida pelo vidro e emitida para o ambiente interno

Propriedades térmicas do vidro segundo a NBR 16023.

FATOR SOLAR

O fator solar é um índice que representa a parcela da radiação solar que atravessa o vidro na forma de calor. Corresponde à soma da parcela da radiação solar transmitida diretamente para o interior, mais a parcela que é absorvida no painel de vidro e irradiada para dentro do ambiente, conforme ilustrado na figura abaixo.



Valores de referência e exemplo:

Representação do fator solar do vidro. | Fonte: F. S. Westphal.

Vidro	Fator solar
Incolor 3 mm	87%
Verde 3 mm	62%
Controle solar 3 mm	<40%

Como a temperatura superficial dos lados interno e externo do vidro influencia no calor irradiado, o fator solar varia ao longo do dia e do ano. Porém, valores de referência medidos em laboratório, sob condições padrão, servem como um bom indicador para análise comparativa e preliminar para a escolha de vidros.

Por exemplo, um vidro incolor de 3 mm de espessura possui fator solar de 87%. Isso significa que 87% da radiação solar incidente no vidro o atravessa na forma de calor. Um vidro verde de mesma espessura tem fator solar de 62%, ou seja, há uma redução de um terço no ganho de calor entre o vidro verde e o vidro incolor.

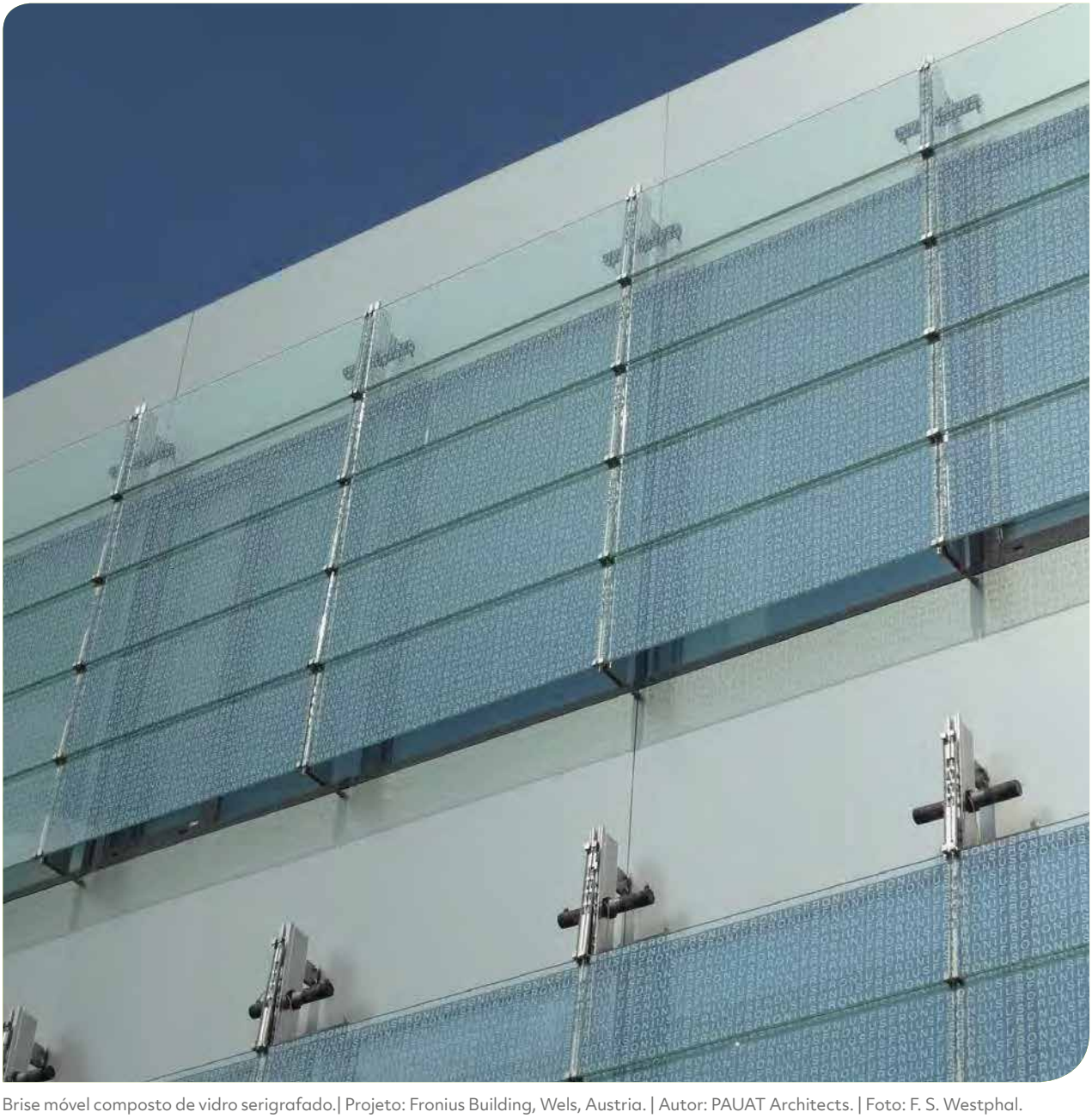
Existem ainda os vidros de controle solar, que, em geral, possuem fator solar abaixo de 40%, proporcionando uma redução significativa no ganho de calor em relação ao vidro incolor. Esse tipo de vidro será tratado em detalhes no capítulo Controle Solar e Eficiência Energética.

Ao optar por projetos com grandes áreas envidraçadas nas fachadas e coberturas, deve-se buscar vidros com baixo fator solar, minimizando os problemas de sobreaquecimento dos ambientes internos. Em regiões tropicais, as fachadas voltadas a leste, oeste e norte são as mais castigadas pela radiação solar, e por isso devem receber atenção especial para a especificação dos fechamentos transparentes nessas situações. A fachada norte recebe maior incidência de radiação direta no inverno, quando o sol apresenta altitudes mais baixas e a temperatura do ar externo também é mais amena.

Dependendo da área envidraçada, o ganho de calor por radiação solar pode ser significativo, exigindo, em alguns casos, o uso de elementos de sombreamento externos ou internos, como os mostrados na foto da próxima página. De forma geral, em climas tropicais deve-se optar por vidros com baixo fator solar (menor que 40%) quando a área envidraçada representa mais de 30% da área de fachada.

Brises compostos de vidros de controle solar ou serigrafados podem ajudar a controlar o ganho de calor e luz em fachadas que recebem maior incidência da radiação solar ao longo do ano. Tais estruturas garantem o acesso visual ao exterior, com boas possibilidades de manutenção e limpeza.

Fachada executada com vidro insulado de controle solar e elementos de proteção solar externos (brises) e internos (persianas). | Projeto: Darling Quarter, Sydney, Australia. | Autor: FJMT Studio. | Foto: F. S. Westphal.



Brise móvel composto de vidro serigrafado.| Projeto: Fronius Building, Wels, Austria. | Autor: PAUAT Architects. | Foto: F. S. Westphal.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA

A transmitância térmica é um parâmetro físico que representa o quanto de calor atravessa um metro quadrado de componente construtivo, quando submetido a uma diferença de temperatura. É medida em W/m².K (leia-se watt por metro quadrado Kelvin). Ela depende da condutividade térmica dos materiais construtivos, suas espessuras, condições de acabamento superficial, velocidade do ar incidente no componente e de suas dimensões. Também é determinada sob condições padrão de laboratório e, apesar de sofrer variação ao longo do dia e do ano, serve como parâmetro de referência para a escolha entre diferentes tipos de componentes construtivos.

No caso dos vidros, como a condutividade é praticamente a mesma para os diferentes tipos e como as espessuras de chapa são sempre muito pequenas (da ordem de milímetros), o valor da transmitância térmica só apresenta alterações significativas se o vidro possuir uma face de baixa emissividade ou câmara de ar na composição (vidro insulado).

Os vidros de controle solar possuem uma de suas superfícies com revestimento metálico, que pode resultar numa emissividade diferente. Dessa forma, o fluxo de calor por radiação entre o vidro e o seu entorno imediato é alterado, resultando em diferentes valores de transmitância térmica quando comparado a um vidro sem revestimento. Mas se o vidro de controle solar for laminado, mantendo-se a superfície metalizada em contato com o PVB, a emissividade superficial da composição laminada permanece inalterada e a transmitância térmica não é afetada pelo revestimento de controle solar, mas sim pela espessura total da composição laminada.

Os vidros duplos com câmara de ar possuem uma camada adicional de resistência térmica, o ar, o que reduz significativamente a transmitância térmica. Em climas com temperaturas mais extremas, podem-se produzir vidros insulados com outro tipo de gás que tenha condutividade ainda mais baixa do que ar, como argônio e criptônio, por exemplo.

A tabela a seguir apresenta valores de transmitância térmica de vidros monolíticos comuns, algumas especificações de controle solar, laminados e insulados. Nota-se que os vidros monolíticos e laminados, sem revestimento metálico exposto ao ambiente, possuem valores de transmitância muito semelhantes.

A grande variação ocorre quando há um revestimento metálico de baixa emissividade exposto ao ambiente interno ou câmara de ar na composição. No primeiro caso, a superfície de baixa emissividade contribui para reduzir a emissão de calor para o ambiente interno, reduzindo a transmitância térmica do vidro. No segundo caso, a câmara de ar acrescenta uma resistência térmica adicional de forma significativa.

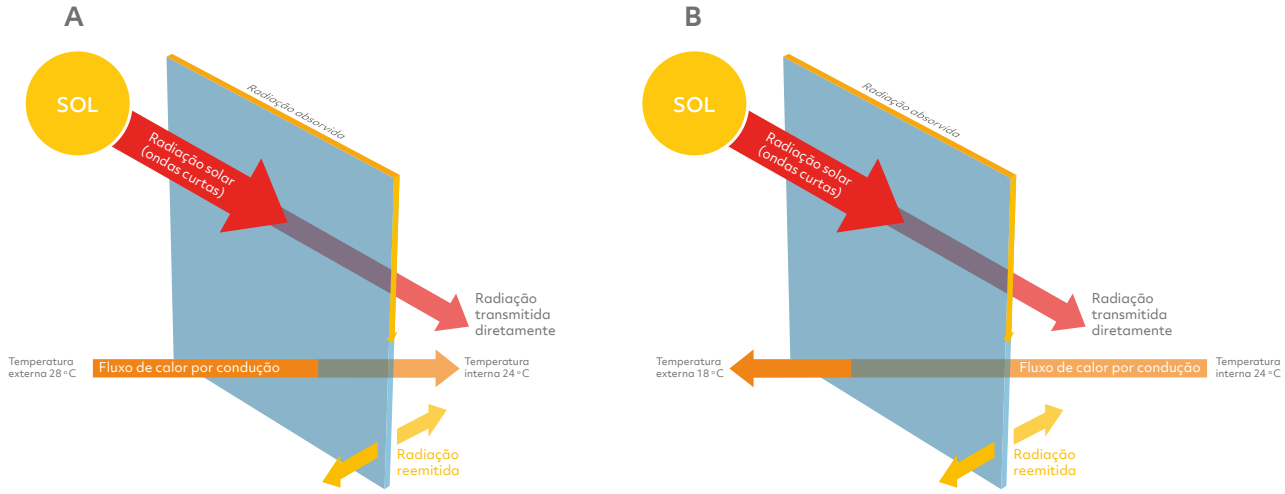
Vidro	Tipo de vidro	Transmitância térmica (W/m²)
Monolítico	Incolor 3 mm	5,8
Monolítico	Incolor 6 mm	5,7
Monolítico	Incolor 8 mm	5,6
Monolítico	Incolor 12 mm	5,5
Monolítico	Incolor 8 mm controle solar na face 2 (ε = 0,13)	3,6
Laminado	Incolor 4 mm controle solar na face 2 (ε = 0,13) + incolor 4 mm	5,6
Insulado	Incolor 6 mm + ar 12 mm + incolor 6 mm	2,8
Insulado	Incolor 6 mm controle solar na face 2 + ar 12 mm + incolor 6 mm	1,9

Valores de transmitância térmica para alguns tipos de vidro. | Fonte: Software Window 7.2 (LBNL, 2015).

Quando instalado numa edificação, o vidro certamente estará sujeito à incidência de radiação solar e muitas vezes submetido a diferenças de temperatura, entre um ambiente e outro. A radiação solar sempre representa um ganho de calor. No entanto, o fluxo de calor por diferença de temperatura pode gerar ganho ou perda de calor, dependendo de qual ambiente está mais quente (se o interno ou o externo).

As figuras da próxima página ilustram o ganho de calor por radiação solar e duas situações de fluxo de calor por condução. Na situação A, o ambiente interno está mais frio do que o externo. Nesse caso, além do ganho de calor por radiação solar, ocorre o ganho por condução através do vidro. Na situação B, ocorre a perda de calor por condução através do vidro, pois o ambiente interno está mais quente do que o externo.

Como o comportamento do clima externo é dinâmico, a influência do vidro no desempenho térmico da edificação também será variável ao longo do dia e do ano. Por isso, uma análise criteriosa do clima e do padrão de uso da edificação é sempre recomendável para definir a especificação mais adequada para o vidro. Esse tipo de análise pode ser feito por simulação energética computacional.



Situação A: Ambiente interno mais frio do que o externo.

Situação B: Ambiente interno mais quente do que o externo.

Fluxo de calor por radiação e condução através do vidro. | Fonte: F. S. Westphal.

EMISSIVIDADE

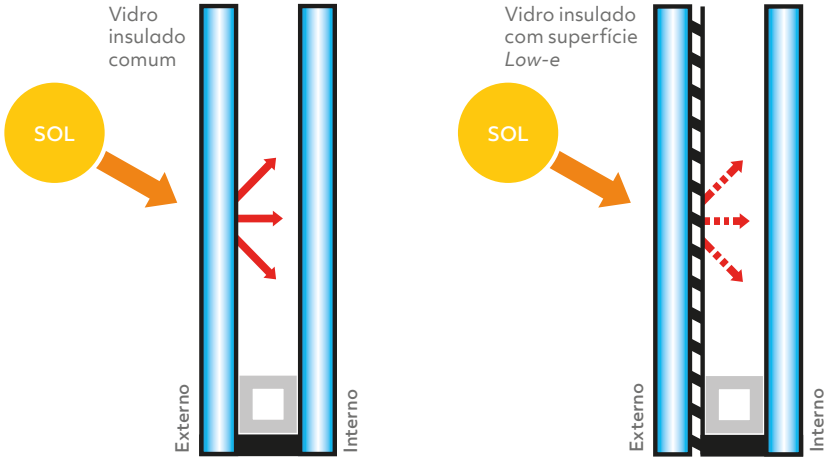
A emissividade é uma propriedade física relacionada ao acabamento superficial de um material e representa o quanto de calor por radiação ele emite, quando comparado à quantidade de calor emitida por um corpo negro à mesma temperatura. Trata-se de um conceito complexo. Mas em termos práticos, pode-se dizer que os materiais com acabamento em metal polido possuem baixa emissividade, com valores abaixo de 0,2, e todos os outros tipos de acabamento resultam em emissividade entre 0,80 e 0,90.

Materiais com alta emissividade emitem mais calor por radiação e, portanto, esfriam mais rápido. Já os materiais com baixa emissividade têm maior dificuldade para emissão de calor, mantendo sua temperatura alta por mais tempo. Materiais com baixa emissividade provocam menos desconforto térmico por radiação nas suas proximidades.

Como exemplo, imagine uma churrasqueira com acabamento externo em revestimento cerâmico e outra com acabamento externo em revestimento de chapa metálica polida. A churrasqueira revestida com cerâmica irá emitir mais calor por radiação, tornando o ambiente próximo muito mais quente do que a churrasqueira com revestimento metálico.

Pensando no caso dos vidros, qualquer especificação que não tenha revestimento metálico em uma de suas faces irá apresentar emissividade entre 0,80 e 0,90. Vidros de controle solar podem ter a face com revestimento metálico com baixa emissividade. São os vidros chamados *Low-e* (de *low emissivity*). Dependendo da posição da superfície *Low-e*, o vidro pode contribuir para reduzir o ganho de calor solar num clima quente, ou evitar a perda de calor da edificação num clima frio.

Por exemplo, um vidro de controle solar *Low-e* na face 2, se instalado numa composição insulada, irá proporcionar menor ganho de calor por radiação do exterior para o interior da câmara de ar, conforme ilustrado no esquema a seguir.



Esquema do efeito da superfície de baixa emissividade numa composição insulada recomendada para clima quente na face 2. | Fonte: F. S. Westphal.

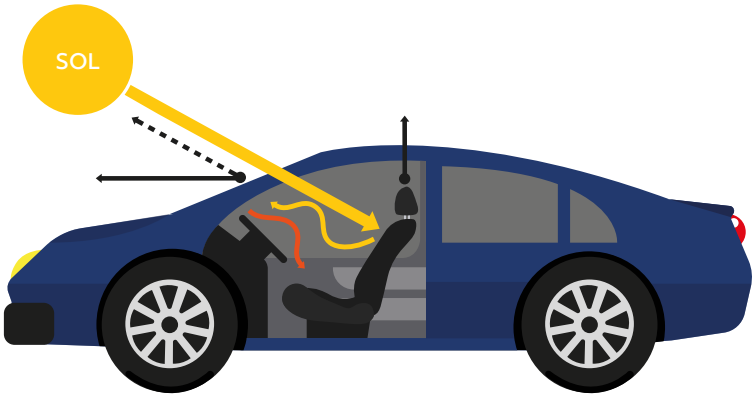
Pensando num clima onde ocorram temperaturas elevadas em grande parte do ano, essa dificuldade de troca de calor proporcionada por um vidro insulado *Low-e* pode ser muito benéfica. O mesmo raciocínio aplica-se para climas onde haja grande quantidade de horas com temperaturas muito baixas. Neste caso, basta imaginar a composição insulada montada ao contrário, ou seja, com a superfície *Low-e* aplicada na face 3. Nesse caso, há uma dificuldade de perda de calor do interior para o exterior. Essa é a composição comum encontrada nas janelas da Europa e em grande parte dos Estados Unidos, por exemplo.

No Brasil, o uso de vidros insulados não é muito comum na construção civil (por enquanto essas composições são mais comuns na indústria de refrigeração, no fechamento de expositores de produtos), mas pode ser uma opção viável em climas com temperaturas extremas ao longo do ano, tais como nas regiões Norte e Nordeste (constantemente quentes), e regiões Sul e serranas (com frio extremo). Porém, vale ressaltar que para cada caso há uma solução mais adequada, que deve ser baseada numa análise climática horária, preferencialmente por simulação computacional.

EFEITO ESTUFA

Os vidros são transparentes à radiação solar, que corresponde às ondas curtas. Mas são opacos às ondas longas. A radiação em ondas curtas só é emitida por corpos em altíssimas temperaturas, como o sol. Todos os demais corpos aquecidos na superfície terrestre emitem radiação em ondas longas.

Isso significa que ao longo do dia uma superfície envidraçada de uma edificação exposta ao sol permite a passagem de muita radiação em ondas curtas. Os materiais e objetos presentes no interior desta edificação serão gradualmente aquecidos, passando a emitir calor por radiação em ondas longas. O vidro, sendo opaco às ondas longas, tende a "aprisionar" o calor no interior da edificação, dificultando seu esfriamento por radiação. Isso acaba provocando o "efeito estufa", facilmente percebido quando um automóvel está estacionado ao sol, por exemplo. Seu interior acaba aquecendo de forma significativa e a perda de calor ocorre por condução e convecção de forma mais lenta. A figura abaixo representa este efeito.



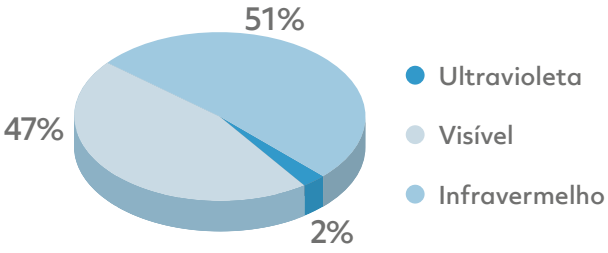
Efeito estufa que ocorre num carro exposto ao sol. | Fonte: AGC (2015).

Numa edificação situada em clima quente, o efeito estufa pode causar problemas sérios de desconforto térmico e aumento no consumo de energia para condicionamento de ar. Por isso, a especificação adequada dos vidros e elementos de sombreamento, em função da orientação solar e área envidraçada, são fundamentais para um projeto energetica-mente eficiente, mantendo contato visual com exterior, e exigindo baixo consumo de energia para iluminação e climatização.

DESEMPENHO LUMÍNICO

CONTATO VISUAL, SAÚDE E PRODUTIVIDADE

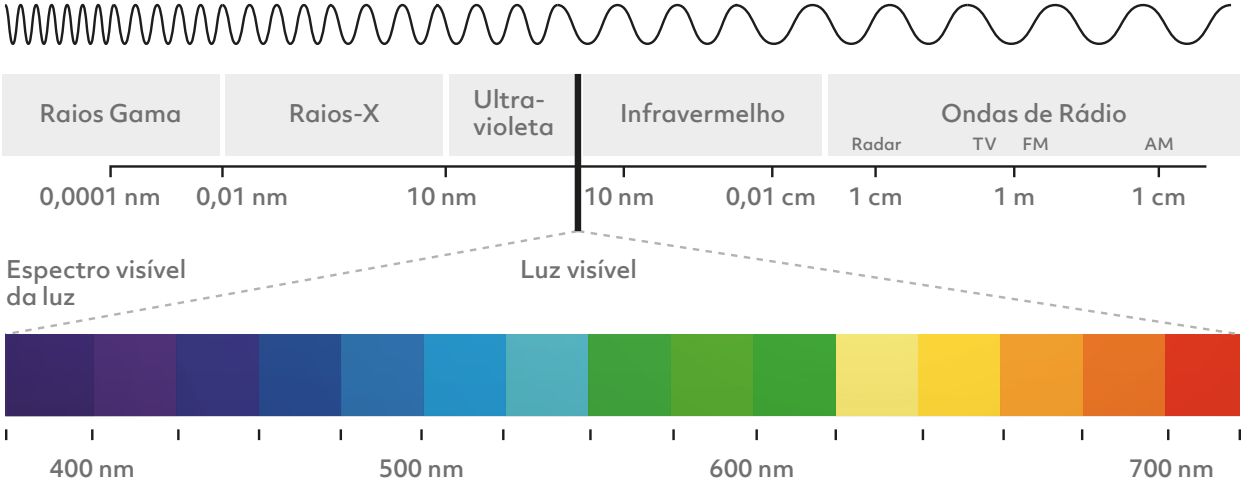
A radiação solar é composta de três faixas de energia, divididas de acordo com seu comprimento de onda nas proporções aproximadas mostradas no gráfico abaixo. São elas: os raios ultravioleta, a radiação visível e a radiação infravermelha.



Composição do espectro solar.

Radiação visível, ou luz, é energia em forma de ondas eletromagnéticas capaz de estimular o sistema humano olho-cérebro, produzindo diretamente uma sensação visual.

Ondas eletromagnéticas não necessitam do meio para sua transmissão. Elas passam através de sólidos, líquidos, gases e até no vácuo. A luz faz parte do espectro eletromagnético, correspondendo à sua faixa visível entre os comprimentos de onda de 380 nanômetros a 780 nanômetros, conforme mostra a figura a seguir. Essa é a parcela da radiação solar que o este capítulo irá abordar.

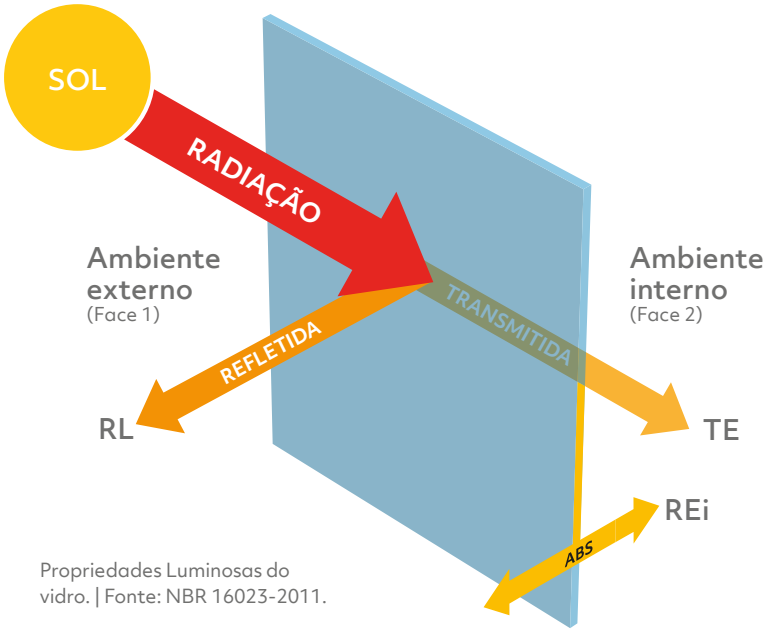


Espectro eletromagnético com destaque para o espectro solar e para a parcela visível – a luz.

Quando há a incidência de um fluxo luminoso numa superfície de vidro, uma parcela será transmitida através do vidro, outra será absorvida e outra refletida, conforme ilustrado na figura abaixo.

Com isso, ao projetar uma edificação, o planejamento adequado das superfícies envidraçadas (posição, dimensão, elementos de proteção) e seu nível de transmissão luminosa serão determinantes para o aproveitamento da luz natural.

O resultado pode ter impacto significativo no consumo de energia para iluminação artificial, podendo contribuir para a eficiência energética da edificação e o conforto visual dos usuários.



Propriedades Luminosas do vidro. | Fonte: NBR 16023-2011.

A reflexão do vidro pelo lado externo também é importante para a análise do conforto no entorno imediato da edificação, procurando-se evitar problemas de ofuscamento.

A NBR 16023 define as propriedades luminosas dos vidros de controle solar conforme apresentado no quadro a seguir.

Transmissão Luminosa (TL)	Fração da luz incidente transmitida pelo vidro
Reflexão Luminosa externa (RLe)	Fração da luz incidente refletida para o lado externo
Reflexão Luminosa interna (RLi)	Fração da luz incidente refletida para o lado interno

Propriedades luminosas do vidro segundo a NBR 16023.

TRANSMISSÃO LUMINOSA

A localização de um edifício tem grande impacto sobre suas exigências em termos de controle de luz. Em locais com alta incidência de radiação solar o objetivo geral é limitar a transmissão de luz. Por outro lado, em lugares com menor intensidade de luz do sol é muito importante aproveitar ao máximo a luz natural disponível. Existem tipos de vidro que buscam atender aos mais diferentes requisitos relacionados à transmissão visível, desde percentuais muito baixos até 90% de transmissão.

Além disso, dependendo do tipo de vidro e de seu revestimento de controle solar, o nível de transmissão luminosa pode ser combinado a diferentes níveis de fator solar, podendo-se chegar a composições muito transparentes e com pouca transmissão de calor, e vice-versa. No capítulo sobre Controle Solar e Eficiência Energética, a seletividade de um vidro é abordada de maneira mais ampla.

Quanto maior a transmissão de luz através do vidro, maior será a quantidade de luz disponível dentro do ambiente. Diferentes tipos de revestimentos metálicos têm sido usados para compor vidros de controle solar, podendo reduzir a ocorrência de ofuscamento, por exemplo. No entanto, a redução nos níveis de luz natural no ambiente interno deve ser levada em consideração durante a determinação da área de janelas. Vidros de controle solar podem não ser suficientes para garantir uma proteção completa contra a radiação solar e excesso de luz em determinadas condições ambientais e de projeto. Proteções solares externas ou internas podem ser indispensáveis.

Espessura nominal (mm)	Transmissão luminosa
3	0,88
4	0,87
5	0,86
6	0,85
8	0,83
10	0,81
12	0,79
15	0,76
19	0,72
25	0,67

Valores mínimos de transmissão luminosa do vidro *float* incolor segundo a NBR NM 294.

A tabela acima apresenta os valores de transmissão luminosa mínimos para que um vidro *float* seja denominado incolor, segundo a NBR NM 294.

Vidros coloridos (verde, bronze e cinza) já promovem certa redução no ganho de calor (fator solar) em relação ao vidro incolor comum, conforme apresentado na tabela ao lado. No entanto, dependendo da orientação solar, a superfície do vidro pode aquecer significativamente, provocando sérios problemas de desconforto por assimetria de radiação. O aproveitamento da luz natural também pode ser comprometido com o uso de especificações de vidros escuros.

Tipo de vidro	TL
Incolor 6 mm	0,89
Verde 6 mm	0,75
Bronze 6 mm	0,50
Cinza 6 mm	0,45

Mas não há uma regra geral. Para cada clima, orientação solar e área de abertura na fachada, existem especificações de vidro que irão promover melhor desempenho térmico.

Além de vidros coloridos e vidros de controle solar, pode-se aplicar também um tratamento por serigrafia com o intuito de controlar o ganho de calor e a entrada de luz, minimizando problemas de ofuscamento, ou seja, excesso de luz. A serigrafia é aplicada na processadora de vidros, num processo controlado e resultando numa pintura de alta resistência. É comum o uso de padrões de formas geométricas, como pontos circulares, quadrados e listras. Na foto a seguir, a serigrafia com pontos foi utilizada para promover um leve escurecimento na porção superior das aberturas, controlando a entrada da luz refletida pelo céu. A imagem à direita é uma foto ampliada, mostrando em detalhe a serigrafia e sua sombra projetada no perfil de alumínio da fachada.

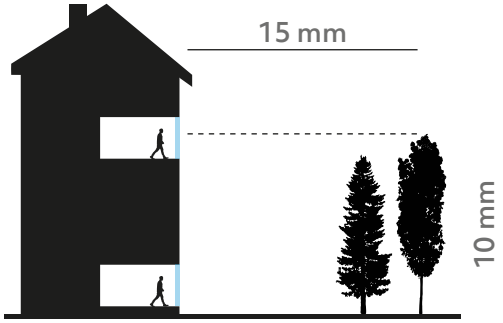
Serigrafia aplicada na parte superior do vidro com o intuito de controlar o ofuscamento.

LUZ NATURAL

As pessoas gastam a maior parte do dia em casa, no trabalho, ou em estabelecimentos educacionais. Pesquisas recentes têm comprovado que a luz natural é indispensável para um regime de sono saudável, protege contra a depressão e estimula o sistema imunológico. Além disso, há evidências de que a exposição à luz do sol, particularmente pela manhã, é benéfica para a saúde, afetando o humor, senso de alerta e metabolismo. Em decorrência disso, um espaço bem servido de luz natural proporciona ambientes internos mais saudáveis, melhorando a sensação de bem-estar dos indivíduos e ampliando a produtividade no trabalho. Soma-se a esses benefícios a economia de energia elétrica por conta da redução do uso de iluminação artificial.

PARA MELHOR APROVEITAMENTO DOS BENEFÍCIOS DA LUZ NATURAL, É IMPORTANTE ESTAR ATENTO ÀS SEGUINTES QUESTÕES:

- Projetar casas e edifícios que tenham acesso ao exterior por meio de janelas a partir de todas as áreas de convívio;
- Projetar acessos ao exterior em ambientes onde se passa mais tempo durante o dia, como cozinha, sala, recepção e escritório;
- Incentivar o uso da luz natural em áreas de estudo e de trabalho, em casas e em ambientes de serviços;
- Incluir abertura para iluminação natural em ambientes úmidos, como banheiros e cozinhas, sempre que possível, já que a capacidade de refrescar e circular o ar através de uma janela ajuda a eliminar a condensação e promover a higiene;
- Levar em consideração o entorno, principalmente imediato, como edifícios vizinhos, vegetação e características naturais, já que teoricamente, um objeto a 10 metros de altura, localizado a 15 metros da fachada, pode causar uma redução de cerca de 40% na quantidade de luz natural disponível em um ponto há 5 metros no interior do ambiente, conforme ilustrado no esquema ao lado;

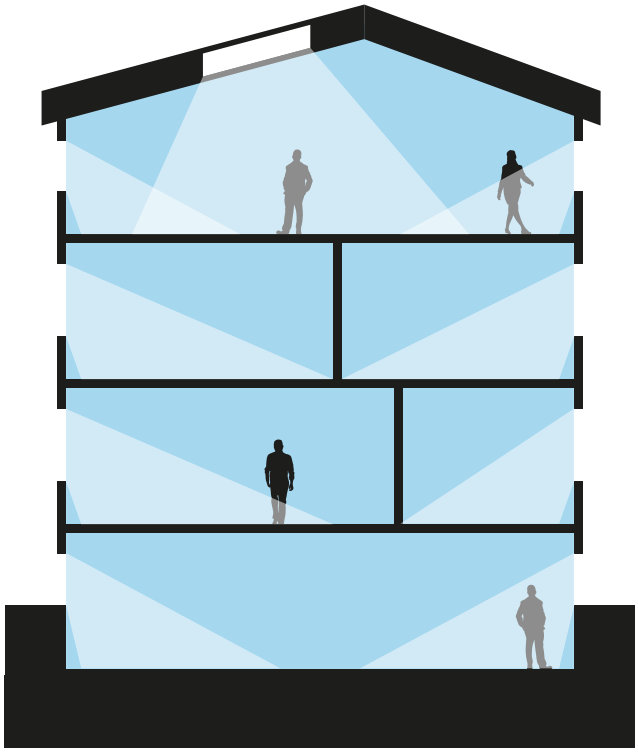


Influência do entorno na incidência de luz natural no interior do ambiente. | Fonte: SAINT-GOBAIN GLASS (2000).

- Fornecer iluminação natural em mais de uma direção, quando possível, já que áreas envidraçadas em duas fachadas opostas equilibram os níveis de iluminação no ambiente interno, suavizando sombras e tornando o ambiente mais amplo;
- O uso de superfície envidraçada na cobertura pode proporcionar uma importante fonte de luz natural, pois a aberturas zenitais e claraboias podem fornecer duas ou três vezes mais luz natural que uma abertura vertical, para determinada área de superfície;
- Introduzir luz natural em ambientes subterrâneos, a fim de criar ambientes no nível do subsolo mais confortáveis e estáveis. Tais aberturas também podem proporcionar importantes fontes de ventilação.

A FIGURA AO LADO ILUSTRA ESSAS TRÊS ÚLTIMAS SITUAÇÕES:

Otimização do aproveitamento da luz natural por parte da edificação em três situações distintas. | Fonte: SAINT-GOBAIN GLASS (2000).



Nos próximos tópicos vamos abordar fatores que contribuem para um melhor aproveitamento dos benefícios da luz natural e como a escolha do tipo de vidro influencia no resultado final de um projeto.

CONFORTO VISUAL

Uma das características fundamentais para a manutenção de um ambiente bem iluminado é a ausência de ofuscamento, ou seja, é a grande diferença de contrastes dentro do campo visual das pessoas. Pode ser provocado pelo excesso de luz de uma fonte direta, como uma luminária ou uma janela, ou por fonte indireta, devido à reflexão em uma superfície espelhada ou muito clara.

Diferentes configurações de layout em relação à abertura externa. | Fonte: SAINT-GOBAIN GLASS (2000).

Projetar edificações com bom aproveitamento da luz natural não é tão simples, principalmente quando a única fonte de luz disponível são as janelas. Por isso, algumas recomendações importantes para o aproveitamento da iluminação natural com boas condições de conforto visual:

- Posicionar estações de trabalho paralelamente às janelas, para evitar ofuscamento direto (visão de frente para a janela) e indireto (reflexo da janela em telas de computadores, por exemplo);
- Distribuir a luz uniformemente, evitando fortes áreas de contrastes no campo de visão, o que pode resultar em problemas associados ao brilho (ofuscamento);
- Evitar a luz solar direta em áreas de trabalho para minimizar os problemas associados ao ofuscamento, que pode ocorrer em diferentes níveis, desde a perturbação ou desconforto, até a perda na visibilidade.

Pesquisas em ambientes escolares mostram que o baixo desempenho de alunos também pode ter origem em problemas de visão. Por isso, as condições de iluminação são de importância primordial na qualidade dos ambientes educacionais. De uma forma geral, recomenda-se que não se localizem mesas de alunos muito próximas das janelas, para evitar a ocorrência de ofuscamento e reflexões.

Em ambientes industriais, o nível de exigência relacionado à precisão da qualidade visual, controle e captura exata de cor, textura e imagem mostra que a qualidade da luz natural pode ser de extrema importância. Para o projeto de aberturas envidraçadas nesses ambientes é importante observar os seguintes itens:

- Incorporar aberturas envidraçadas na cobertura, sempre que possível;
- Evitar luz solar direta excessiva, pois ofuscamento ou reflexão podem prejudicar a eficiência e segurança dos trabalhadores;
- Promover luz difusa por meio de vidros com diferentes texturas, como o vidro fosco, impresso, serigrafado ou jateado, que permitem a entrada de luz difusa e ainda podem preservar a privacidade de um ambiente, se necessário;
- Estar atento aos índices de reprodução de cor das superfícies envidraçadas.

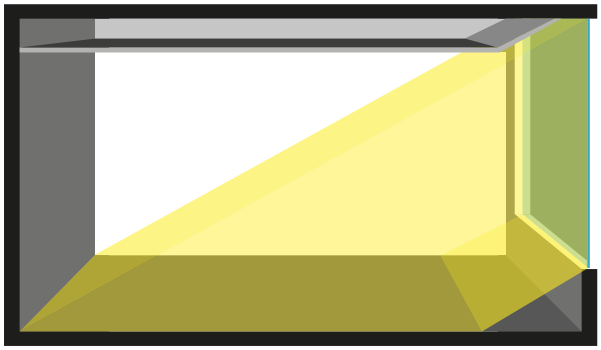
Em ambientes destinados ao comércio e lojas, a presença de luz natural também atende à necessidade de reprodução de cores precisas, além de reduzir a dependência em relação à iluminação artificial. Produtos sensíveis à radiação solar (alimentos, tecidos, móveis, eletrônicos etc.) devem ser protegidos da luz solar direta. Nesses casos, vidros específicos podem filtrar a radiação UV e ajudar a reduzir o desbotamento. O uso de vidros antirreflexo pode aprimorar a apresentação dos produtos em vitrines.

ESTRATÉGIAS DE PROJETO

A luz natural pode trazer importantes benefícios relacionados ao conforto visual dos indivíduos e eficiência energética das edificações, mas algumas premissas devem ser levadas em consideração ao projetar as aberturas destinadas ao uso da iluminação natural. Estratégias para alcançar os espaços interiores, evitar ou minimizar a insolação e o ofuscamento devem ser levadas em consideração, caso contrário, a contribuição da iluminação poderá ser negativa em seus aspectos visuais e térmicos.

A figura abaixo mostra um ambiente com o uso de um rebaixo no forro para ampliar a área de captura de luz natural pela fachada. O corte da fachada também destaca o contato visual com o ambiente externo, proporcionado pelas aberturas na altura dos olhos.

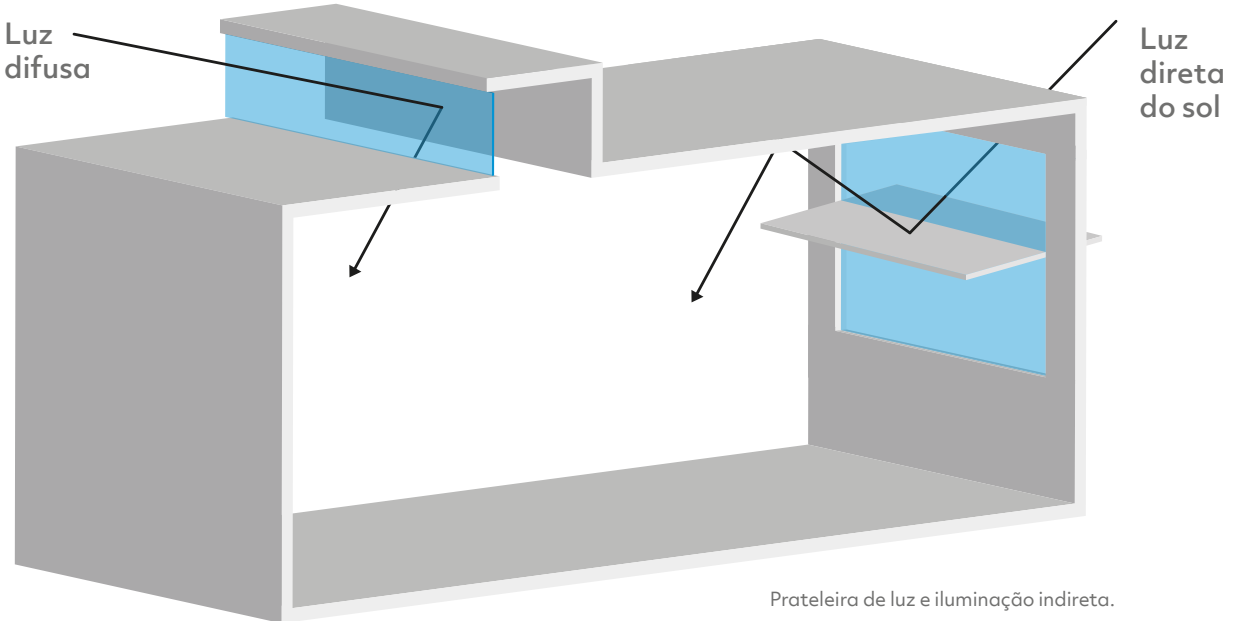
Iluminação natural proporcionada por janela unilateral.



Rebaixo no forro aplicado para aumentar a penetração da luz natural no ambiente.

Assim, é importante lembrar que as superfícies envidraçadas de um projeto arquitetônico têm diferentes funções. Elementos podem ser utilizados com a finalidade de estabelecer o contato visual com o ambiente externo, enquanto outros podem ser projetados com o único intuito de iluminar. Os vidros adotados nessas aberturas servem de “filtro” à radiação solar, e a correta especificação pode controlar o excesso de calor e luz.

O uso de prateleiras de luz, como mostra a figura abaixo, também é um recurso de projeto para que a luz natural atinja maiores profundidades, assim como o uso de elementos que funcionem como dutos de luz a partir de aberturas verticais destinadas a iluminar áreas mais centrais da edificação, usando as reflexões internas como recurso.

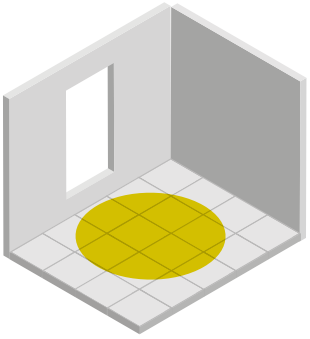


Prateleira de luz e iluminação indireta.

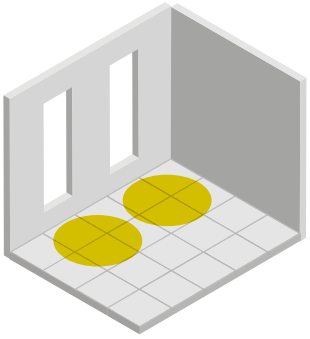
Sendo a janela o principal elemento do projeto para iluminar e estabelecer o contato com o exterior, os seguintes fatores são determinantes para o seu bom desempenho:

- Considerar dimensões adequadas para o ambiente (profundidade e pé-direito);
- Orientação da abertura;
- Tipo de vidro e caixilho;
- Cores, acabamentos e layout do ambiente interno;
- Obstruções externas, naturais ou construídas.

As janelas verticais apresentam bom alcance em profundidade, mas se muito espaçadas, podem resultar numa distribuição irregular de luz natural.

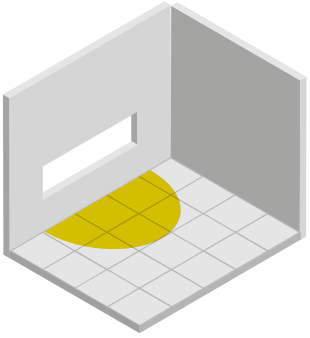


Janela vertical.

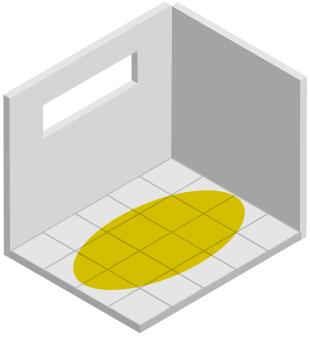


Janelas verticais espaçadas.

Em contrapartida, as janelas horizontais apresentam menor alcance em profundidade e, se localizadas na parte superior da parede, próximas ao forro, reduzem a incidência de luz nas áreas imediatas, possibilitando a ocorrência de ofuscamento pelo contraste e má distribuição de luz no ambiente.

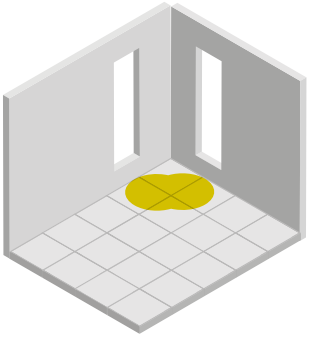


Janela horizontal baixa.

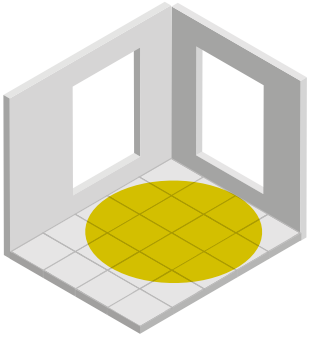


Janela horizontal alta.

Janelas localizadas em duas fachadas adjacentes, caso não sejam muito estreitas, proporcionam um bom alcance de luz natural e, em decorrência de uma distribuição mais uniforme, podem reduzir os riscos de ofuscamento.



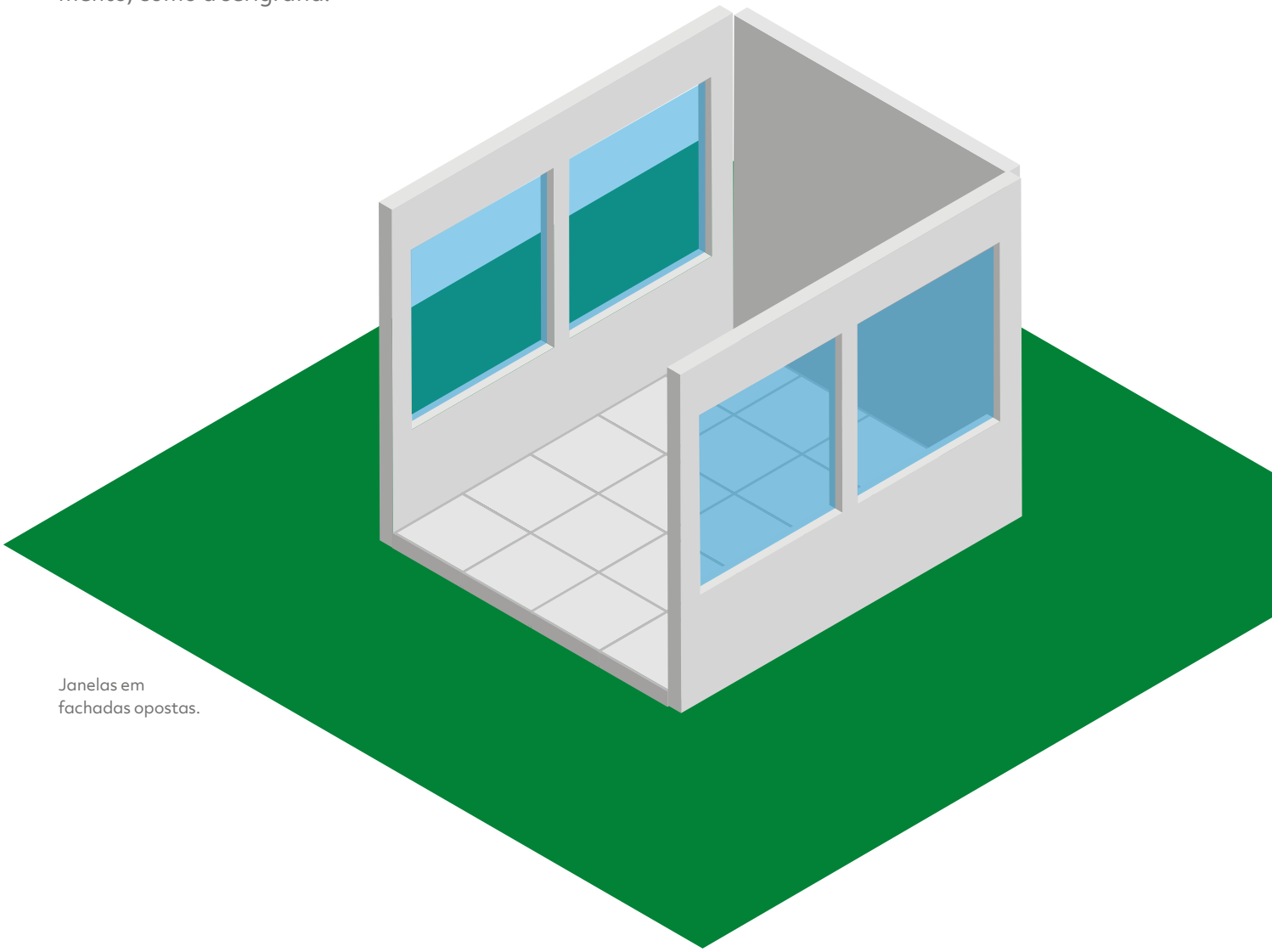
Janelas estreitas em fachadas adjacentes.



Janelas largas em fachadas adjacentes.

Janelas em paredes opostas em ambientes estreitos reduzem ainda mais a profundidade e apresentam maior risco de desconforto visual e insolação.

Em conjunto com essas diretrizes gerais, sobre a posição e dimensão de planos envidraçados, o nível de transmissão luminosa do vidro será determinante no desempenho lumínico de um projeto arquitetônico baseado na luz natural. Na escolha de um vidro de controle solar para os climas brasileiros, teoricamente o produto ideal seria aquele que permite a maior passagem de luz, com o menor ganho de calor. Entretanto, se o projeto possui uma grande área envidraçada, pode-se optar por vidros de controle solar com transmissão luminosa mais baixa ou por outras estratégias de controle de ofuscamento, como a serigrafia.



Janelas em fachadas opostas.

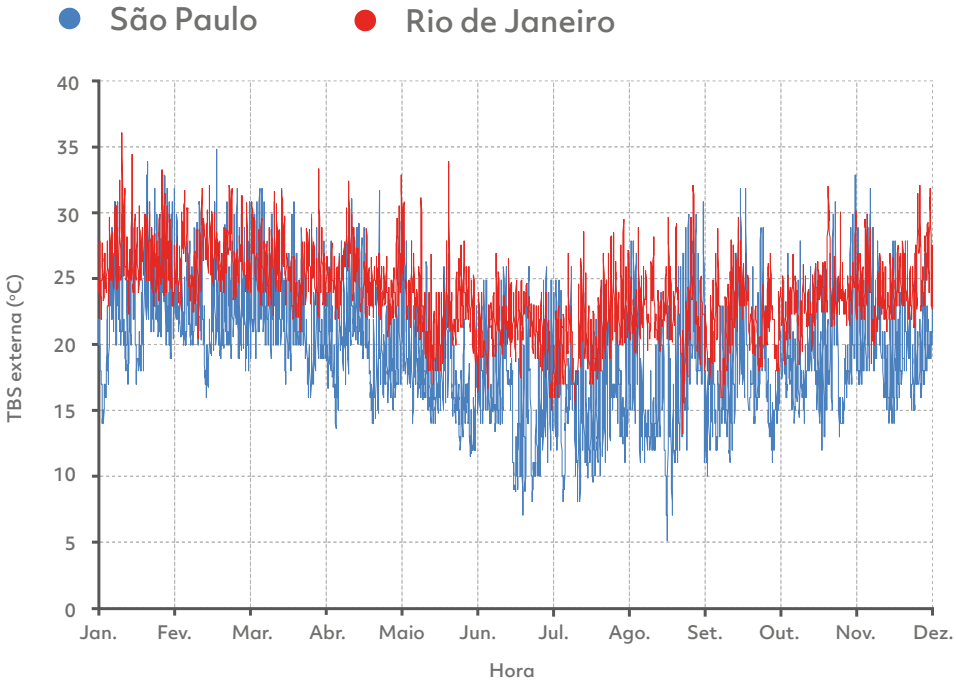
CONTROLE SOLAR E EFICIÊNCIA ENERGÉRTICA

O EQUILÍBRIO ENTRE CLIMA, CONFORTO E TECNOLOGIA

CLIMA

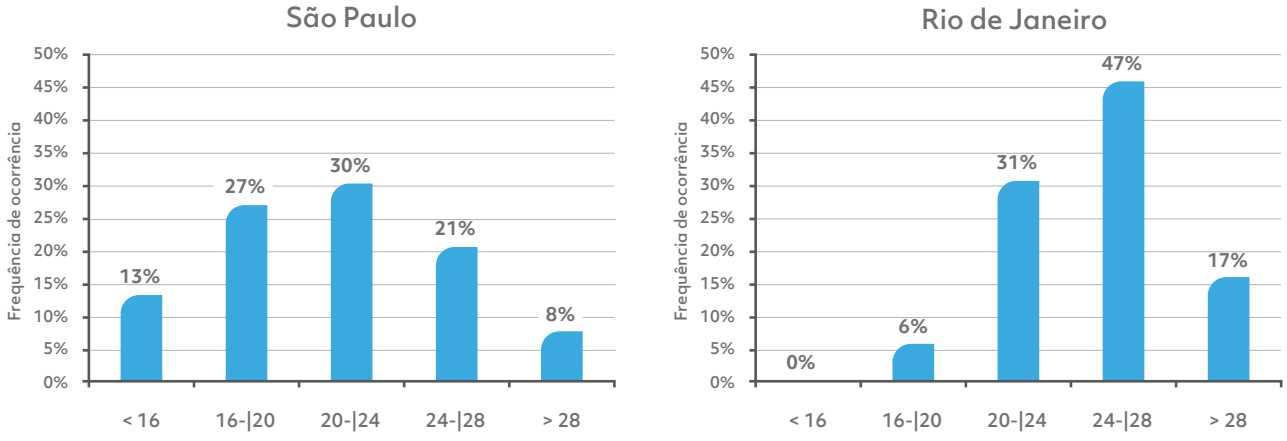
A especificação de um vidro de fachada e cobertura deve levar em conta principalmente as características climáticas da região onde o projeto será executado.

O gráfico a seguir mostra, como exemplo, os registros horários de temperatura do ar externo para um ano completo (8.760 horas) dos arquivos climáticos de anos típicos para as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro. Notam-se as estações bem definidas em São Paulo, com um período mais quente de novembro a abril e um período mais frio de maio a outubro. O Rio de Janeiro até registra um período mais "frio", no entanto, as temperaturas não ficam muito abaixo de 20 °C. Fica evidente a diferença climática entre as duas cidades. Um projeto arquitetônico desenvolvido para um clima não terá o mesmo desempenho em outra condição climática.



Variação de temperatura horária registrada nos arquivos climáticos de São Paulo e Rio de Janeiro. | Fonte: *EnergyPlus* (2016).

Para entender e explorar as diferenças de temperatura entre as duas cidades, os gráficos abaixo mostram a frequência de ocorrência da temperatura do ar em cada cidade, apenas em horário comercial, das 8h às 20h.



Frequência de ocorrência da temperatura do ar nas cidades de São Paulo e Rio de Janeiro.

Em São Paulo, identifica-se 70% das horas do ano em horário comercial (das 8h às 20h) com temperaturas iguais ou inferiores a 24 °C. Isso significa que o prédio pode estar perdendo calor pela envoltória em muitas horas do ano, pois geralmente os sistemas de condicionamento de ar são ajustados para este valor de temperatura. Logo, um vidro com baixa transmitância térmica (vidro insulado) pode não ser uma boa estratégia de eficiência para o clima de São Paulo, pois pode trabalhar armazenando calor em boa parte do ano, quando poderia estar "dissipando" as cargas internas e reduzindo o consumo de energia para climatização. Evidentemente, esse fenômeno também depende das demais propriedades térmicas do vidro.

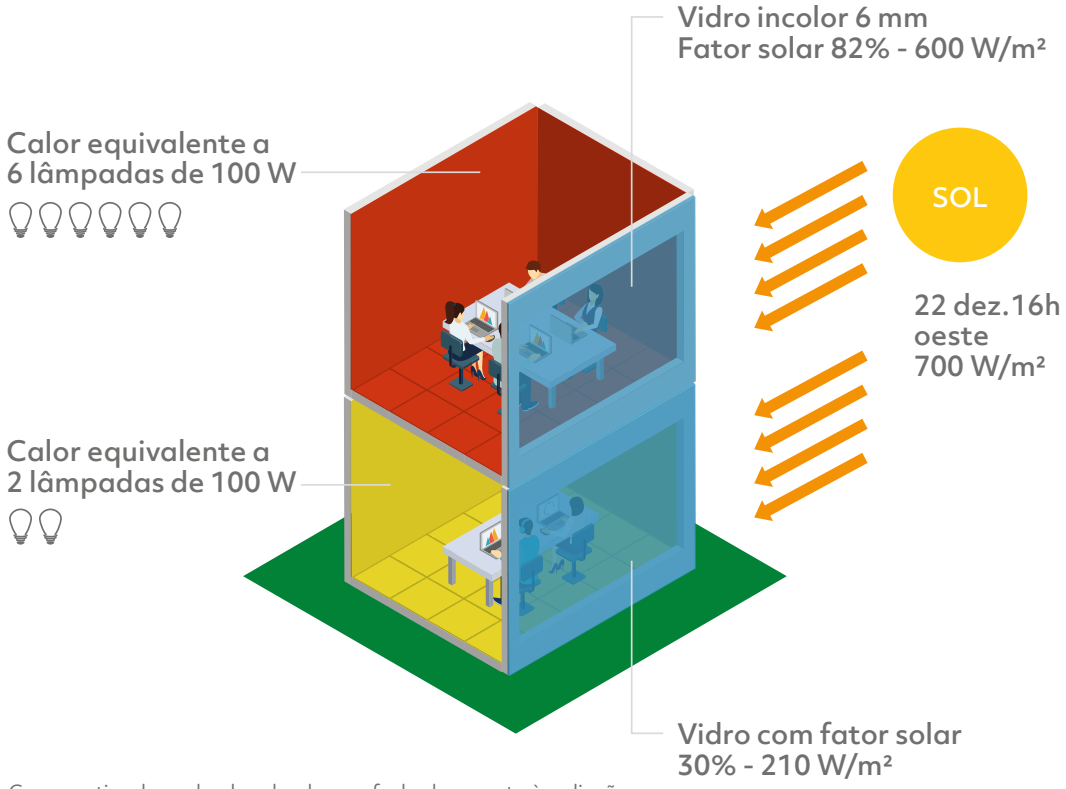
No Rio de Janeiro, a frequência de ocorrência de temperaturas abaixo de 24 °C é muito menor e em 60% das horas do ano a temperatura é igual ou superior a 24 °C. Neste caso, o vidro insulado pode ser uma boa alternativa, pois reduz também o fluxo de calor por condução do ar externo para o interno em boa parte do ano, diminuindo o consumo de energia em climatização.

Esse comportamento da temperatura do ar externo é apenas um dos critérios climáticos que devem ser levados em consideração e que podem mudar completamente a especificação de vidros de fachadas de uma cidade para outra.

COMPORTAMENTO DO VIDRO DIANTE DA RADIAÇÃO SOLAR

Os vidros de controle solar permitem a redução significativa do ganho de calor da radiação solar, ao mesmo tempo que possibilitam o acesso visual ao exterior, podendo alcançar elevados índices de transmissão luminosa. Por isso, esses vidros também são chamados de "seletivos", pois selecionam parte da radiação solar incidente, permitindo mais passagem de luz do que calor.

A figura abaixo mostra o ganho de calor de uma fachada exposta à radiação solar numa condição extrema de verão no meio da tarde e correspondente a uma localidade na latitude 24°S. Com vidro incolor comum de 6 mm de espessura o ganho de calor por radiação é de 600 W/m², o que corresponde ao calor gerado por seis lâmpadas antigas, incandescentes, de 100 W de potência a cada metro quadrado de abertura na fachada. O uso de vidro de controle solar, com fator de 30%, proporciona a redução do ganho de calor para 210 W/m², o que equivale a duas das lâmpadas de 100 W por metro quadrado de fachada. Neste caso, a redução na carga térmica proveniente da janela é de 65%.



Comparativo de ganho de calor de uma fachada exposta à radiação solar com vidro incolor comum e vidro de controle solar. | Fonte: F. S. Westphal.

Esse controle no ganho de calor, aliado ao balanceamento da contribuição de luz natural no ambiente, permite a execução de fachadas com mais áreas transparentes e menor uso de elementos de sombreamento ao longo do ano, tais como persianas, cortinas e brises.

Muitos revestimentos de controle solar também podem reduzir boa parte da transmissão de radiação ultravioleta. Essa parcela da radiação solar é a principal responsável pelo desbotamento de cortinas, carpetes, móveis, eletrodomésticos e pinturas. No caso dos vidros laminados com PVB, a redução de ultravioleta para o interior dos ambientes é significativa, já que o PVB absorve até 99% dos raios UV.

A especificação de um vidro de controle solar para fachada começa pela análise de alguns parâmetros de referência. A partir do comportamento de transmissão e reflexão em cada faixa do espectro da radiação solar, existem procedimentos de cálculo para determinar a transmissão, reflexão e, consequentemente, absorção do vidro. Os catálogos dos fabricantes, ou os relatórios de especificação de produtos das processadoras, devem indicar as propriedades ópticas dos vidros, tanto para o espectro do calor (infravermelho), quanto para o espectro da radiação visível (luz). O primeiro irá definir o quanto um fechamento de vidro permite a passagem de calor para o interior do ambiente. O segundo irá determinar a quantidade de luz que o atravessa e o seu aspecto estético – mais refletivo ou transparente.

Para a escolha do vidro, pensando numa seleção preliminar, antes de qualquer cálculo por simulação, os indicadores de referência são:

- Fator solar, que indica o ganho de calor que será proporcionado pelo vidro quando exposto à radiação do sol;
- Transmissão luminosa, que representa o quão transparente é o vidro;
- Reflexão luminosa externa, que indica o quão espelhado é o vidro durante o dia, quando visto de fora da edificação;
- Reflexão luminosa interna, que indica o quão espelhado é o vidro durante a noite, quando visto de dentro da edificação.

Calor
Transmissão Energética (ou Solar)
Reflexão Solar (frente e verso)
Absorção

Luz
Transmissão Luminosa
Reflexão Luminosa (frente e verso)
Absorção Luminosa

Principais parâmetros para a seleção preliminar de vidros de controle solar.

ÍNDICE DE SELETIVIDADE

De modo geral, pode-se dizer que os vidros mais escuros têm fator solar mais baixo. Isso porque há menor transmissão de radiação solar para o interior do ambiente. No entanto, um vidro mais escuro tende a ficar mais quente quando exposto ao sol. Isso pode causar desconforto por assimetria de radiação, ou seja, 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. Esse problema é muito comum em galpões com coberturas sem isolamento térmico, ou em edifícios com fachadas envidraçadas com vidro de baixo desempenho térmico.

Os vidros mais escuros possuem baixa transmissão luminosa, diminuindo o potencial de aproveitamento da luz natural. Os vidros mais espelhados também podem apresentar fator solar mais baixo, e da mesma forma podem resultar em menor transmissão luminosa.

A especificação mais difícil de ser estabelecida, e talvez a mais adequada para edificações em clima tropical, seria aquela com boa transmissão luminosa e baixo fator solar. A relação entre essas duas variáveis é definida como Índice de Seletividade, conforme a equação abaixo.

$$IS = \frac{TL}{FS}$$

IS - é o Índice de Seletividade

TL - é a Transmissão Luminosa

FS - é o Fator Solar

Quanto maior este índice, mais eficiente é o vidro como fonte de aproveitamento de luz natural.

A tabela a seguir apresenta algumas propriedades ópticas de cinco especificações de vidro. Observa-se que os dois primeiros vidros, embora com mesmo fator solar, apresentam valores de transmissão luminosa bem diferentes. O primeiro com 16% e o segundo com 33%. Isso é possível devido ao tipo de revestimento para controle solar. O segundo vidro possui um revestimento mais seletivo, permitindo a passagem de mais luz do que calor. Como resultado, seu índice de seletividade é superior a 1, na verdade, é igual a 1,22. O Apêndice A traz uma lista de propriedades ópticas de 85 especificações de vidros disponíveis no mercado nacional.

Composição	Tipo de vidro	TL	FS	RLe	RLi	IS
Monolítico	Incolor 6 mm	0,89	0,84	0,08	0,08	1,06
Monolítico	Verde 6 mm	0,73	0,55	0,07	0,07	1,33
Laminado	Incolor 4 mm controle solar na face 2 + incolor 4 mm	0,51	0,34	0,17	0,18	1,50
Insulado	Incolor 6 mm controle solar na face 2 + ar 12 mm + incolor	0,50	0,28	0,18	0,22	1,79
Insulado	Incolor 6 mm controle solar na face 2 + ar 12 mm + incolor	0,60	0,29	0,14	0,16	2,07

IS - é o Índice de Seletividade;

Demais siglas utilizadas seguem as definições da NBR 16023:
TL - é a Transmissão Luminosa;
FS - é o Fator Solar;
RLe - é a Reflexão Luminosa externa;
RLi - é a Reflexão Luminosa interna.

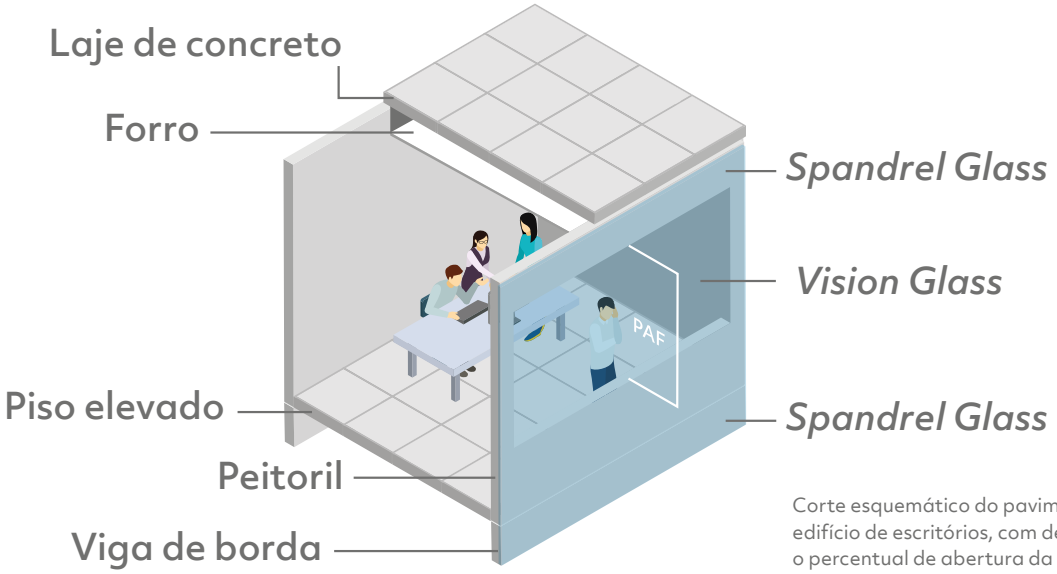
Exemplo de propriedades ópticas de vidros de controle solar com diferentes índices de seletividade.

PERCENTUAL DE ABERTURA DE FACHADA (PAF)

Considerando as diferentes possibilidades de especificação de vidros de controle solar é importante levar em conta o percentual de abertura da fachada do projeto.

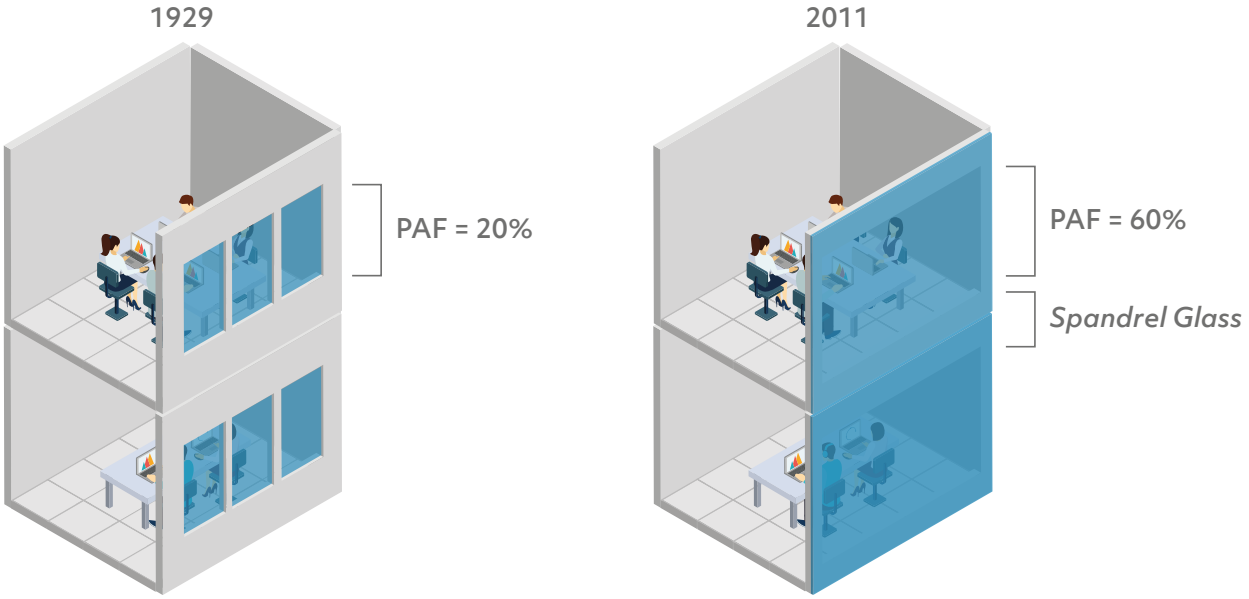
Um prédio inteiramente revestido por vidro não necessariamente será totalmente transparente à radiação solar. Por trás da pele de vidro existem muitas áreas de fachada cobertas por paredes e elementos estruturais. Dessa forma, a Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edificações do PROCEL/INMETRO define o Percentual de Abertura da Fachada (PAF) como a área de vidro que permite a passagem de luz.

Como em alguns estados brasileiros o Corpo de Bombeiros exige uma altura de parede de 1,20 m como elemento de proteção contra propagação de incêndio de um andar para outro (chamado de *fire stop*), um projeto raramente terá mais que 70% de PAF. A não ser que ele possua pavimentos com pé-direito duplo, mezaninos ou fachada afastada da estrutura. O vidro utilizado como elemento de revestimento sobre componentes construtivos opacos não é computado no percentual de abertura da fachada. Em projeto arquitetônico, esse vidro é normalmente chamado de *spandrel glass*, enquanto o vidro utilizando na área transparente da fachada é denominado *vision glass*, e corresponde ao PAF. A figura abaixo ilustra um corte esquemático de um pavimento de edifício onde esses dois tipos de fechamento ocorrem.



Corte esquemático do pavimento de um edifício de escritórios, com destaque para o percentual de abertura da fachada.

As figuras abaixo destacam dois momentos importantes da arquitetura, sentidos especialmente no Brasil. Inicialmente utilizavam-se estruturas mais pesadas e poucas aberturas nas fachadas. Atualmente, estruturas mais leves e transparentes proporcionam maior integração do ambiente interno com o externo. Nesse caso, a aplicação de vidros de controle solar é fundamental para garantir o conforto térmico interno e baixo consumo de energia em condicionamento de ar.



Evolução da área de abertura em fachadas nos edifícios comerciais brasileiros. | Fonte: F. S. Westphal.

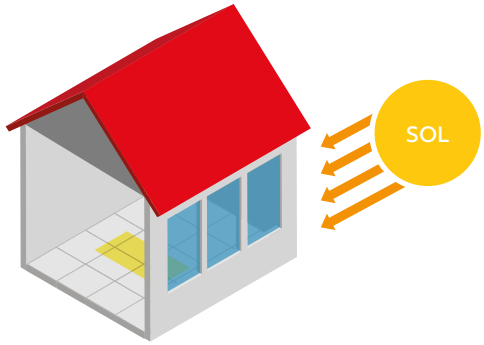
Há algumas décadas, os edifícios executados no Brasil possuíam baixos percentuais de abertura nas fachadas. Consequentemente, o ganho de calor por radiação solar através das janelas era baixo, mas em compensação havia pouca integração visual entre ambiente interno e externo, e aproveitamento limitado da luz natural.

Atualmente, com a evolução dos sistemas construtivos – principalmente os perfis de alumínio e silicones estruturais – e a disponibilidade de produtos de elevado desempenho no mercado nacional, é possível a execução de edifícios com revestimento em pele de vidro, e ainda proporcionar boa eficiência energética.

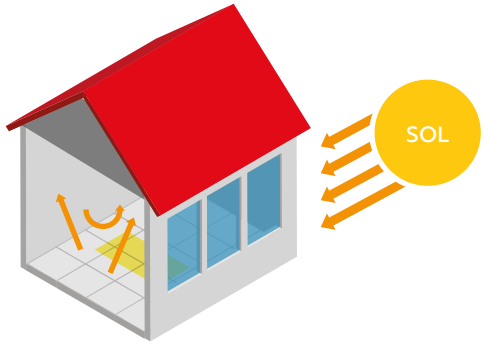
FLUXO DE CALOR PELA FACHADA

Deve-se observar que nem sempre a fachada de uma edificação está ganhando calor do ambiente externo (no caso de climas quentes brasileiros). Além disso, a carga térmica proveniente da fachada é afetada por toda a envoltória e pelo sistema construtivo da edificação. O ganho de calor por uma janela e sua contribuição na carga térmica interna ocorre em etapas:

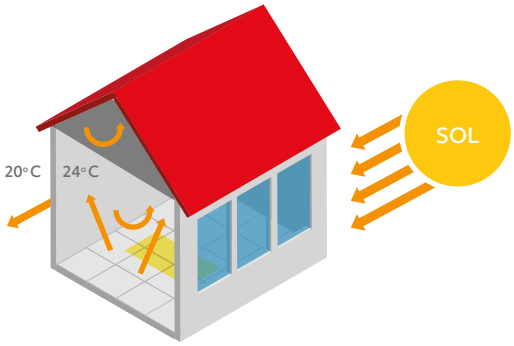
1. Após atravessar a janela, a radiação solar aquece as superfícies onde incide – piso, paredes, móveis e outros materiais internos à edificação.



2. As superfícies internas aquecidas passam a irradiar e a trocar calor entre si, provocando o aumento da temperatura de toda a envoltória. Por isso, o sistema construtivo também afeta a velocidade com que o ganho de calor pela janela é transferido para o ar interno. Construções mais pesadas levam mais tempo para aquecer e resfriar.



3. Com as superfícies aquecidas, o ar interno é aquecido por convecção e parte do calor pode ser também devolvido para o exterior por condução, dependendo das condições climáticas externas.



No exemplo acima, supondo que a temperatura do ar externo esteja a 20 °C e o ar interno esteja sendo mantido a 24 °C, com uso de ar-condicionado, a envoltória tende a dissipar calor nessa condição. Isso pode acontecer diversas vezes ao longo do ano. Portanto, para uma análise mais precisa sobre a influência da envoltória no consumo de energia da edificação, é importante considerar as variações climáticas ao longo do dia e do ano. Para isso, existem ferramentas computacionais que permitem simular o comportamento térmico da edificação, sua interação com o clima e a influência das variáveis internas, tais como fontes de carga térmica – iluminação, equipamentos elétricos e pessoas – e padrões de uso e operação.

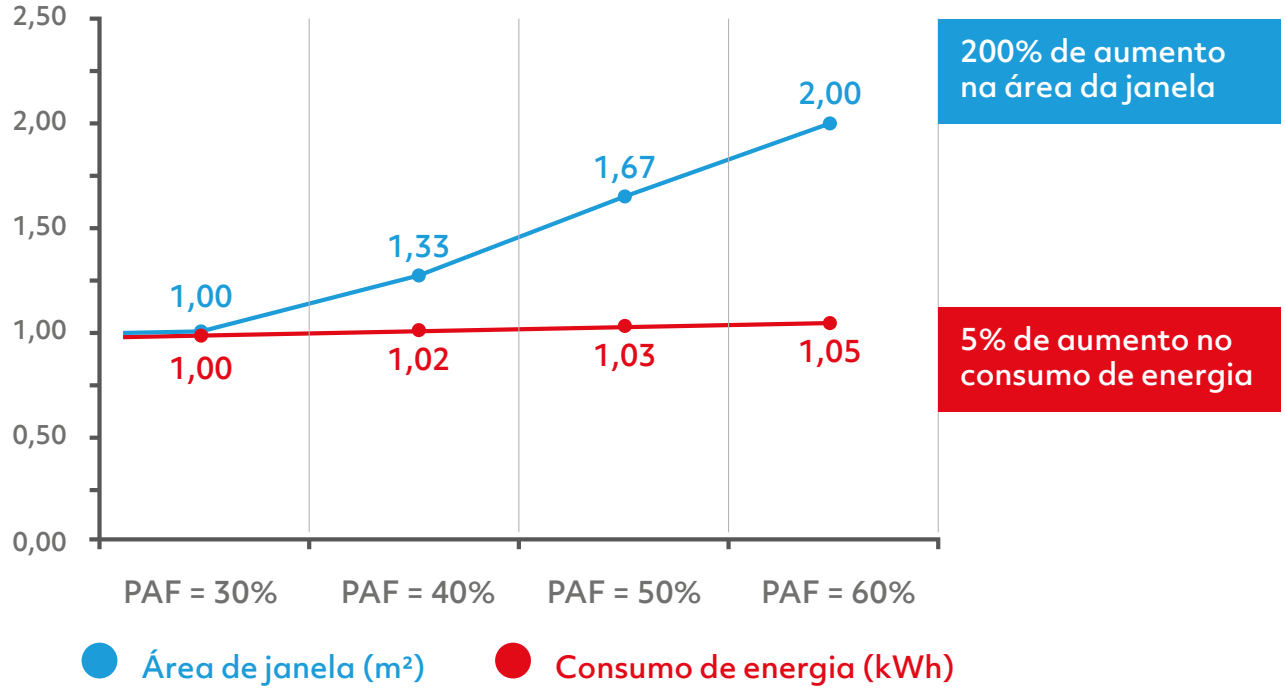
Os programas computacionais que permitem simular o comportamento térmico de uma edificação, em geral, fazem o cálculo do balanço térmico em cada ambiente do edifício.

Fontes de ganho e perda de calor que ocorrem numa edificação que entram no balanço térmico	
1. Cobertura	5. Pessoas
2. Piso	6. Equipamentos
3. Paredes	7. Iluminação artificial
4. Janelas	8. Infiltração de ar

O somatório de todas essas fontes deve resultar no aumento de temperatura do ambiente interno, ou no consumo de energia solicitado pelo sistema de climatização para manter os ambientes a uma temperatura constante. Por meio de simulação, pode-se quantificar a participação e o nível de influência de cada uma dessas fontes de fluxo de calor no consumo de energia em climatização da edificação.

Como as janelas representam apenas uma parcela do ganho total de calor da edificação, o aumento do percentual de abertura da fachada não necessariamente provocará um aumento de igual intensidade no consumo de energia elétrica em climatização.

O gráfico da figura a seguir mostra a variação no percentual de abertura na fachada de um edifício de escritórios na cidade de São Paulo e o consequente aumento no consumo anual de energia do modelo computacional do edifício. Observa-se que mesmo com aumento de até 200% na área de janela (de PAF igual a 30% para 60%) o aumento no consumo de energia global do prédio foi de apenas 5%. É importante destacar que esse teste foi executado sobre o projeto de um edifício de escritórios com sistemas de iluminação e condicionamento de ar de alta eficiência. Essas duas estratégias, aliadas ao uso de vidros de controle solar, mostram que é possível alcançar maior transparência nas fachadas, com baixo impacto no consumo anual de energia.



Aumento na área de abertura da fachada e consequente aumento no consumo de energia. | Fonte: F. S. Westphal.

DESEMPENHO TÉRMICO DO VIDRO INSULADO

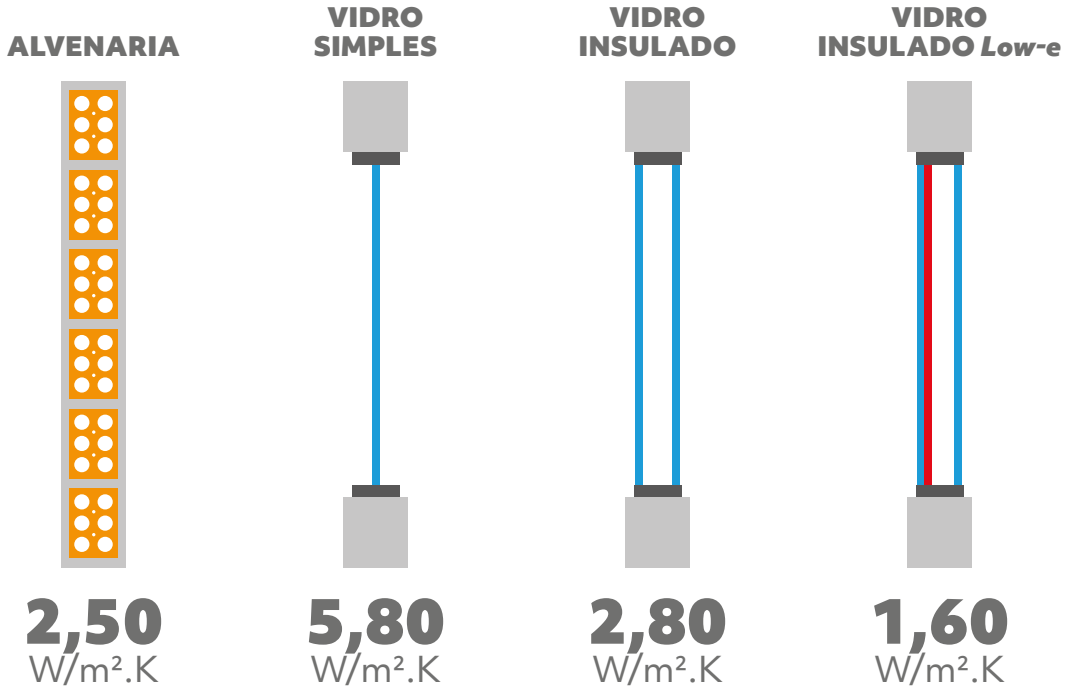
Como o vidro é instalado em pequenas espessuras, comparado a outros sistemas construtivos, sua resistência ao fluxo de calor por condução é muito baixa. Porém, no caso de vidros insulados, a câmara de ar proporciona uma boa resistência térmica, diminuindo o fluxo de calor por condução. A inclusão do segundo vidro diminui também o fator solar do envidraçamento, pois mais um "filtro" à radiação é adicionado ao sistema. Dessa forma, diversas configurações são possíveis. O segundo vidro pode ser incolor, colorido ou ainda com revestimento de controle solar.

A figura a seguir ilustra esquematicamente as três formas de transferência de calor por diferença de temperatura num vidro insulado. O painel de vidro externo irradia calor para o vidro interno. Além disso, ocorre o fluxo de calor por convecção do painel externo para o ar da câmara; e do ar da câmara para o vidro interno. Como resultado, a temperatura superficial do vidro interno será muito mais baixa nesta condição insulada do que numa situação onde há apenas um painel de vidro, seja ele monolítico, laminado ou temperado.

Esquema de fluxo de calor por diferença de temperatura em um vidro insulado. | Fonte: AGC (2015).

Devido à câmara de ar, a transmitância térmica do vidro insulado é muito menor do que a dos vidros monolíticos ou laminados.

Para efeito de comparação, a figura a seguir apresenta a transmitância térmica de uma parede de alvenaria e vidro simples, insulado e insulado com *Low-e* na face 2. A parede comum de alvenaria de tijolo cerâmico de 6 furos, rebocada em ambas as faces, apresenta valor total de 2,50 W/m².K. Um painel de vidro simples tem o dobro da transmitância térmica da parede, com 5,80W/m².K. Mas, com a adição da câmara de ar, montando-se uma composição de vidro insulado, a transmitância térmica cai para 2,80 W/m².K, aproximando-se do valor da parede. Caso seja utilizado um vidro *Low-e*, com a superfície de baixa emissividade voltada para o interior da câmara de ar, a transmitância térmica é reduzida para 1,60 W/m². K, sendo ainda mais baixa do que a parede.



Comparativo de transmitância térmica entre diferentes composições de vidro. | Fonte: F. S. Westphal.

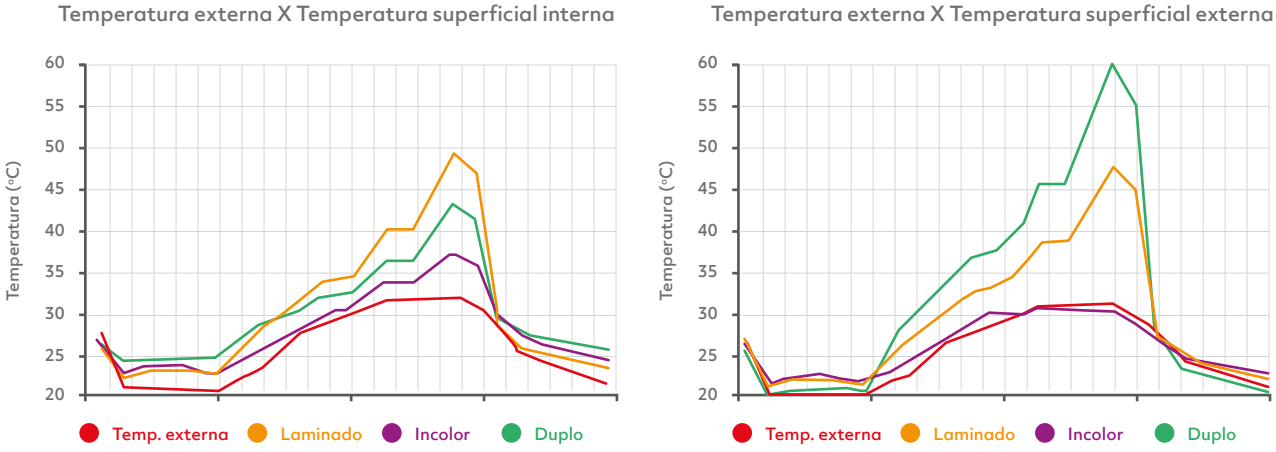
Em termos de comportamento térmico diante da diferença de temperatura, o vidro insulado *Low-e* é superior à parede, no entanto, deve-se salientar que o vidro continua transparente, e o ganho de calor por radiação solar é muito mais significativo do que o fluxo de calor por condução.

Dessa forma, o uso de vidro insulado é recomendado em situações em que ocorrem grandes diferenças de temperatura entre o ambiente interno e externo, seja num clima muito frio, ou muito quente; ou em projetos onde a área de janela é significativa, onde o vidro poderia transformar-se num enorme painel radiante.

Os gráficos a seguir mostram a diferença na temperatura superficial interna de três opções de vidro. Apresenta-se o perfil de temperatura do ar externo para um dia inteiro típico no mês de janeiro, na fachada oeste de um edifício de escritórios com comportamento térmico simulado na cidade de São Paulo. Observa-se que a temperatura máxima ocorre às 17h, quando o ar exterior está a 31 °C.

O vidro laminado atinge uma temperatura de 47,3 °C e o vidro duplo de 41,6 °C. O vidro incolor não chega a esquentar tanto porque ele é muito transparente e deixa passar grande parte da radiação solar.

O uso da câmara de ar (vidro duplo, ou insulado) proporcionou uma redução de 6 °C na temperatura superficial do vidro, o que é significativo do ponto de vista do conforto térmico devido à sensação de radiação térmica. Já a temperatura superficial externa do vidro duplo será muito mais alta do que os demais, o que significa que o calor irradiado (ou "devolvido") para o ambiente externo é muito maior no caso do vidro insulado.



Comparativo do perfil de temperatura superficial de vidro incolor, laminado e insulado (duplo com câmara de ar). | Fonte: F.S. Westphal.

DESEMPENHO ACÚSTICO

A TECNOLOGIA DO SILÊNCIO

CONCEITOS E PROPRIEDADES

A maioria das fontes sonoras emite sons em diversas frequências ao mesmo tempo. A frequência é o número de oscilações completas de uma onda sonora, por segundo, ou seja, é o número de idas e voltas completas da partícula vibrante. Os sons mais graves (exemplos: o som do tambor ou o ronco característico de uma rodovia de tráfego pesado) correspondem às frequências mais baixas. Os sons agudos (exemplos: o som do violino ou o ruído estridente de uma serra elétrica) alcançam as frequências mais altas.

Em ambientes construídos há a incidência de sons de diversas fontes. Por isso, em arquitetura, para desenvolver um projeto com bom desempenho acústico é necessário analisar os ruídos e os níveis de pressão sonora por faixas de frequência. Normalmente, analisa-se pelas faixas, ou bandas, correspondentes às mesmas frequências das oitavas de um piano. Essas faixas são chamadas "bandas de oitava".

A tabela abaixo apresenta os valores centrais das faixas de frequência por banda de oitava, comumente utilizadas para análise da qualidade acústica de ambientes arquitetônicos. A fala humana, por exemplo, compreende sons emitidos principalmente entre as frequências de 500 Hz a 4000 Hz.

63 Hz	**125 Hz**	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**	**8000 Hz**

Frequência central de cada banda de oitava geralmente utilizada na análise acústica de edificações e seus componentes.

O que o nosso ouvido percebe é a variação de pressão provocada pelos sons no ar. Assim, o Nível de Pressão Sonora (NPS) indica o que estamos acostumados a chamar de "volume". É medido em decibéis (unidade: dB), sendo 1 dB a menor pressão sonora que podemos escutar. A tabela da próxima página apresenta o NPS de algumas fontes sonoras e ambientes.

Descrição	Nível de pressão sonora (dB)
Avião a jato a 1 m (perigo de ruptura do tímpano)	140
Avião a jato a 5 m (limiar da dor)	130
Metrô, britadeira	110
Indústria barulhenta, dentro de um avião	100
Banda ou orquestra, rua barulhenta	90
Dentro de um automóvel, escritório barulhento	80
Rua de barulho médio, pessoa falando a 1 m	70
Escritório com barulho médio, rádio com o volume médio	60
Restaurante tranquilo, escritório aberto (com trat. acústico)	50
Sala de aula (ideal), escritório privado (ideal)	40
Teatro vazio, quarto de dormir	30
Movimento de folhagem, estúdio de rádio e TV	20
Deserto ou região polar (sem vento), respiração normal	10

Nível de pressão sonora de algumas fontes de ruído e ambientes mais comuns. | Fonte: Bistafa (2011).

O índice de redução sonora ponderado, chamado Rw (em dB), representa a diferença entre os níveis de ruído interno e externo de um ambiente, proporcionada por um fechamento construtivo. É um parâmetro medido em laboratório e representa o isolamento sonoro de um material ou componente construtivo, ou seja, a perda na transmissão sonora através desse componente.

Geralmente, os catálogos de fabricantes de materiais e sistemas construtivos apresentam o índice acompanhado de duas derivações, desta forma: Rw (C; Ctr). O parâmetro C (dB) introduz a correção necessária para as fontes de ruído com poucas ondas sonoras em baixas frequências, por exemplo: tráfego rodoviário rápido, tráfego ferroviário rápido, proximidade de aviões, atividades do dia a dia, conversas, brincadeiras de crianças. O sufixo "tr" provém de "tráfego". Dessa forma, Ctr (dB) introduz a correção necessária para as fontes de ruído com predominância nas baixas frequências, por exemplo: tráfego urbano, música de discoteca, tráfego rodoviário lento, aviões a grande distância. Esses termos de correção são calculados com base nos espectros sonoros.

A tabela a seguir, de caráter informativo, indica níveis de isolamento sonoro de ruído aéreo e a percepção obtida entre dois ambientes adjacentes. Para um bom isolamento, ou privacidade, o ideal seria obter diferenças próximas a 40 dB, quando a voz humana fica inaudível, ou mesmo em tom elevado pode ser ouvida, mas não entendida.

Isolamento acústico	Grau de privacidade da fala
25 dB	Voz normal facilmente inteligível
30 dB	Voz elevada razoavelmente intelegível, voz normal pouco inteligível
35 dB	Voz elevada pouco inteligível, voz normal não inteligível
40 dB	Voz elevada não inteligível, voz normal inaudível
45 dB	Voz elevada ouvida muito fracamente
>50 dB	Voz elevada inaudível

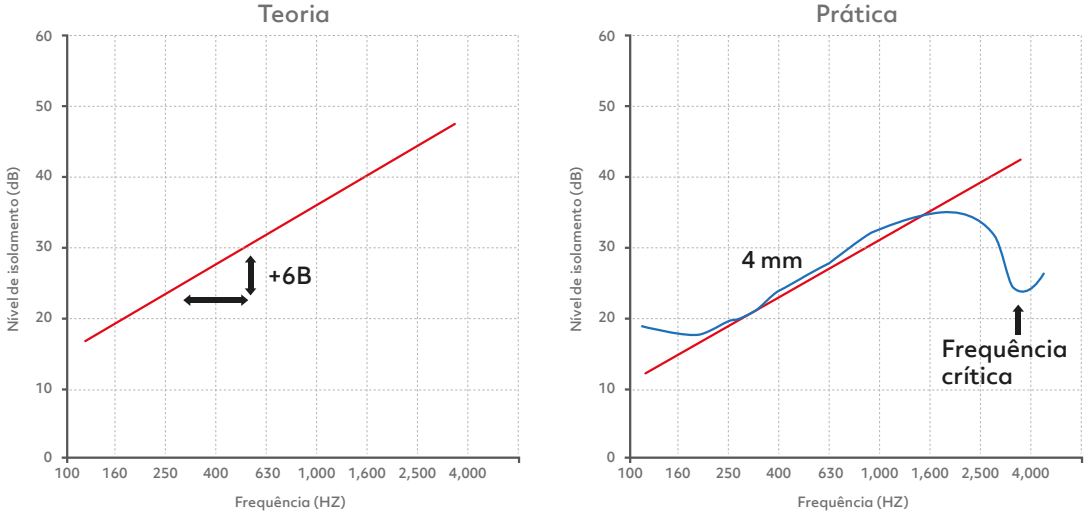
Grau de percepção e privacidade proporcionado por diferentes níveis de isolamento acústico.

ISOLAMENTO ACÚSTICO DE VIDROS

O isolamento acústico é garantido pela massa, ou seja, com o uso de materiais pesados (exemplos: alvenaria e gesso). Quanto mais massa, melhor o isolamento acústico. Para entender melhor o desempenho acústico dos vidros é importante destacar alguns conceitos teóricos sobre o isolamento acústico de materiais homogêneos:

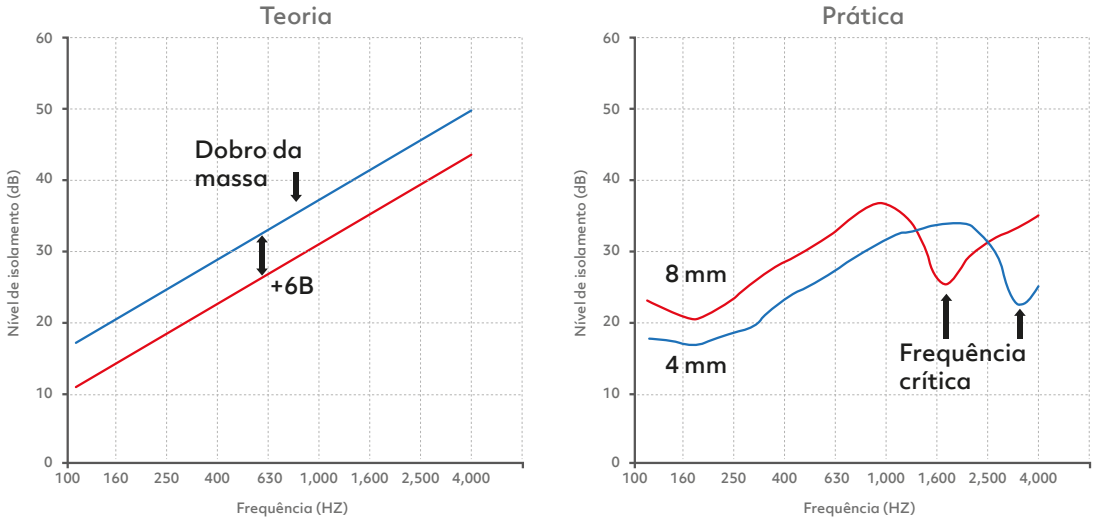
- O isolamento é maior para as frequências mais altas (sons mais agudos) e aumenta numa proporção de 6 dB a cada banda de oitava (Lei da Frequência);
- O isolamento aumenta cerca de 6 dB para cada vez que se dobra a massa de uma chapa de material homogêneo (Lei da Massa);
- Os materiais homogêneos possuem uma faixa de frequência crítica, onde o isolamento é reduzido, ou seja, nessa frequência o som incidente entra em ressonância com a chapa de material e é transmitido com maior facilidade de um ambiente para outro.

Nas figuras a seguir, o gráfico da esquerda mostra a reta teórica de isolamento acústico de um material homogêneo para diferentes frequências. A reta possui uma inclinação de 6 dB a cada banda de oitava (Lei da Frequência). Do lado direito, o gráfico apresenta a curva de isolamento real de um vidro monolítico de 4 mm. Observa-se que, na prática, para essa espessura de vidro, na faixa de frequência próxima dos 4.000 Hz, há um decréscimo na capacidade de isolamento acústico do vidro. Essa é a chamada Frequência Crítica do material. A chapa entra em ressonância, vibrando na mesma frequência da onda sonora e transmitindo-a com mais facilidade para o outro lado, diminuindo assim o isolamento acústico do painel de vidro.



Isolamento acústico teórico de acordo com a lei da frequência para materiais homogêneos, à esquerda; e isolamento acústico real de um vidro monolítico de 4 mm, à direita. | Fonte: AGC (2015).

Nos gráficos a seguir, apresenta-se o efeito da massa e da Frequência Crítica no isolamento acústico proporcionado por diferentes chapas de vidro. No gráfico à esquerda, é ilustrada a variação do nível de isolamento acústico teórico de um material homogêneo, aumentando com a frequência e com a massa. No gráfico da direita, ilustra-se o comportamento real de duas chapas de vidro de espessuras diferentes, uma com o dobro da massa da outra. Observa-se que a chapa de vidro de 8 mm apresenta isolamento maior, de cerca de 6 dB em todas as faixas de frequência. Porém, as duas curvas apresentam uma região de diminuição no isolamento acústico, em torno da Frequência Crítica. Entre os dois vidros apresentados, a chapa de 4 mm é a menos rígida e, portanto, apresenta um valor mais alto de Frequência Crítica. Esse comportamento sugere que, para obter um bom isolamento acústico em uma ampla faixa de frequências, pode-se utilizar uma composição de vidros com câmara de ar e chapas de diferentes espessuras. Assim, o baixo isolamento acústico na Frequência Crítica de uma chapa é compensado pelo isolamento acústico da outra.



Isolamento acústico teórico de materiais homogêneos pela lei da massa, à esquerda;
e curva de isolamento acústico real de duas chapas de vidro de diferentes espessuras, à direita. | Fonte: AGC (2015).

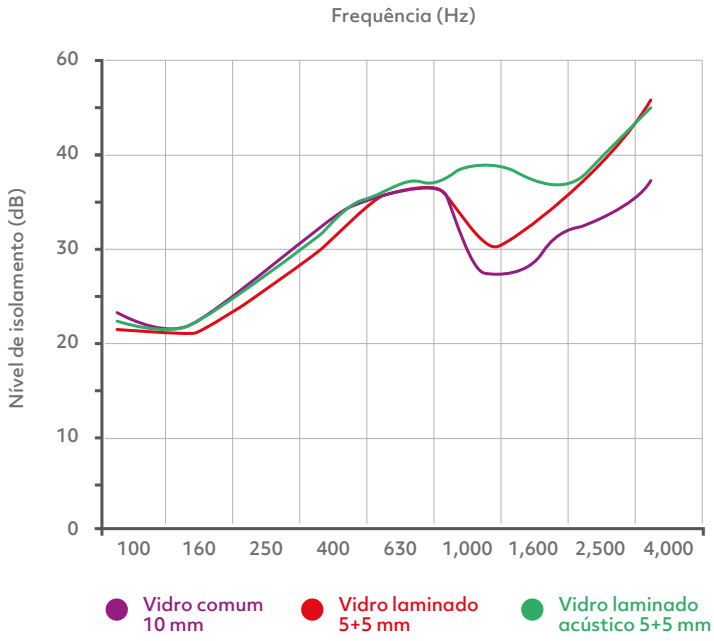
Outro fator determinante para um bom isolamento acústico é a ausência de frestas. Qualquer abertura, por mínima que seja, pode sacrificar todo o tratamento acústico. Uma instalação com qualidade, garantindo uma boa vedação da esquadria na parede ou cobertura, e também do vidro ao caixilho, garante um resultado bastante satisfatório no que diz respeito ao desempenho acústico.

Diferentes tipos de vidro podem ser utilizados para obter conforto acústico. Existem frequências de som em que um simples monolítico possui melhor desempenho do que um laminado. Para garantir um resultado satisfatório, é importante fazer uma análise criteriosa do ambiente a ser isolado.

VIDRO LAMINADO

Com os conceitos apresentados até aqui, deduz-se que o desempenho acústico de um vidro laminado está intimamente ligado à sua massa. Mas o isolamento acústico do vidro laminado será também afetado pelo tipo e quantidade de camadas de PVB. A flexibilidade do PVB proporciona maior amortecimento interno e dissipação das ondas sonoras incidentes no vidro, aumentando seu isolamento acústico.

Além disso, o vidro laminado possui algumas variações para se obter um melhor desempenho acústico. Podem-se usar, além do PVB tradicional, o PVB acústico e a resina acústica. Esses sistemas permitem, em média, uma redução extra de 3 dB em relação ao laminado convencional. Além disso, o vidro laminado possui um bom isolamento às ondas sonoras de baixa frequência. A figura abaixo apresenta um comparativo do isolamento de um vidro monolítico comum de 10 mm, um laminado de 10 mm (5+5 mm) e outro laminado de 10 mm com PVB acústico. Observa-se o incremento na redução sonora proporcionado pelo vidro laminado, especialmente na região da frequência de coincidência.



Comparativo entre o isolamento acústico de um vidro comum, laminado e laminado acústico. | Fonte: AGC (2015).

O PVB acústico, por ser mais flexível, possui um melhor desempenho do que o PVB comum. O procedimento de fabricação de um vidro laminado com PVB acústico é semelhante ao da laminação com PVB comum e não requer nenhum requisito especial. É possível encontrar o PVB acústico com espessuras que variam de 0,78 mm a 3,00 mm.

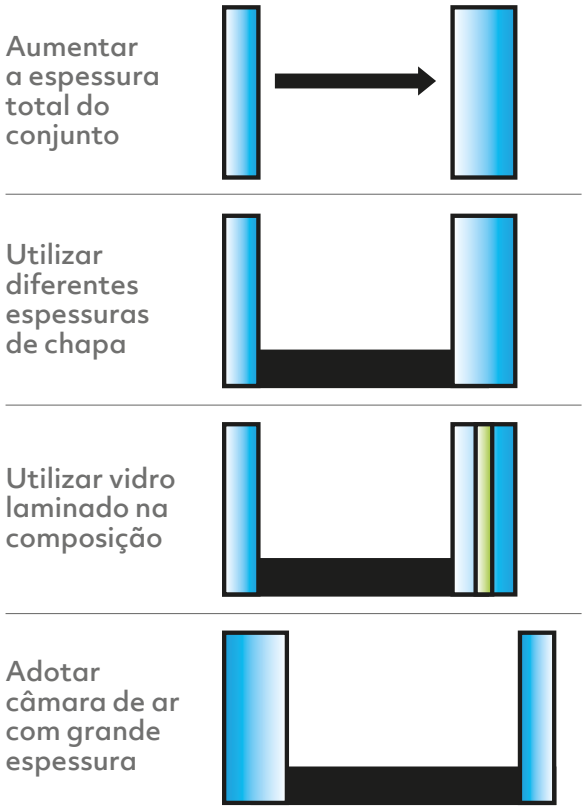
A resina acústica bloqueia o som seguindo a mesma lógica do PVB. Por ser mais maleável que o PVB tradicional, o conjunto apresenta um bom isolamento acústico. É importante destacar que, quanto mais espessa e maleável for a camada intermediária, maior será o índice de isolamento. Para isso, indica-se adotar resinas com espessuras de no mínimo 0,80 mm.

A combinação de uma ou mais camadas intermediárias pode ser utilizada para atender os requisitos específicos de cada projeto, tornando o vidro: laminado; multilaminado (várias camadas de vidro e várias películas); insulado laminado (um dos vidros é laminado) e laminado insulado (dois vidros são laminados).

VIDRO INSULADO

O desempenho acústico de vidros insulados com chapas de mesma espessura é sempre menor do que o desempenho de vidros monolíticos que resultem em mesma espessura total. A câmara de ar usualmente utilizada em vidros insulados, em torno de 12 a 15 mm, provoca um efeito "pistão" que facilita a propagação de ruído em baixas frequências, diminuindo o desempenho do conjunto.

Para incrementar o isolamento acústico das composições insuladas pode-se aumentar a câmara de ar para valores acima de 25 mm, ou utilizar chapas com espessuras diferentes, garantindo a sobreposição das frequências de coincidência de cada chapa. Podem-se utilizar ainda composições com vidros laminados, e estes com diferentes espessuras. A figura ao lado resume as recomendações gerais para incrementar o isolamento acústico de vidros insulados.



Comparativo entre o isolamento acústico de um vidro comum, laminado e laminado acústico. | Fonte: AGC (2015).

PROJETO

Diversas soluções de projetos e especificações de vidro são possíveis para atender a um requisito de desempenho acústico. Em linhas gerais, a tabela abaixo apresenta os tipos de vidro e as faixas de isolamento que podem ser alcançadas, evidentemente, com a variação das espessuras de chapas, câmara de ar e camadas intermediárias (tipo e espessura de PVB e resina). Porém, cabe ressaltar que a vedação entre o vidro e a esquadria e sua montagem no fechamento construtivo, com ausência de frestas, são preponderantes para a qualidade deisolamento acústico.

Em síntese, para garantir um bom isolamento acústico de um fechamento envidraçado é importante levar em consideração os seguintes aspectos durante a fase de projeto:

- Identificar a fonte principal do ruído e a curva de distribuição de níveis sonoros por faixa de frequências desse ruído;
- Identificar o tipo de atividade principal que se realizará dentro do ambiente a ser isolado acusticamente;
- Determinar o nível de pressão sonora aceitável para esse uso;
- Determinar o nível de isolamento acústico requerido;
- Selecionar a especificação de vidro que atende a esses valores;
- Verificar se nas baixas frequências não se produzem efeitos de ressonância, nem nas altas frequências efeitos de coincidência entre o isolamento dos vidros selecionados e a fonte do ruído a ser isolado.

TIPO DE VIDRO	Espessura (mm)			Índice de atenuação acústica	
	Vidro	Ar	Total	Rw (dB)	RW + Ctr (dB)
Monolítico	4			32	28
	5			32	29
	6			33	30
	8			34	32
	10			35	33
	12			36	34
	15			37	34
	19			38	35
Insulado	4+4	12	20	33	28
	4+6	12	22	35	30
	5+5	12	22	33	29
	6+6	12	24	34	30
	6+8	12	26	36	32
	8+10	12	30	38	35
	10+12	12	34	38	34
Laminado	3+3		6	34	31
	3+3		7	35	32
	4+4		9	36	34
	5+5		11	38	35
	6+6		13	39	36
	6+6+6		20	40	37

Níveis de isolamento acústico por composição. | Fonte: AtenuaSom (2016).

SIMULAÇÃO ENERGÉTICA COMPUTACIONAL

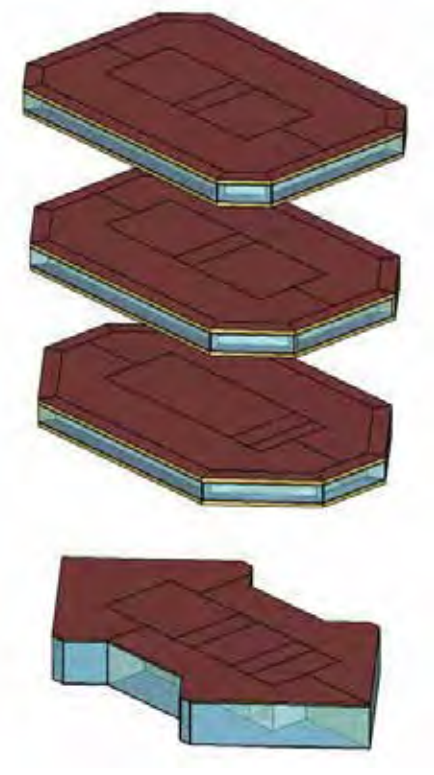
A MODELAGEM VIRTUAL E A BUSCA DA SOLUÇÃO IDEAL

FERRAMENTAS DE SIMULAÇÃO

O uso de simulação computacional para análise de desempenho energético tem se tornado prática comum no projeto de edifícios de alta eficiência no Brasil. Por meio de simulação, pode-se estudar estratégias de projeto e prever o consumo de energia em função das condições climáticas, antes da construção do empreendimento. Existem diversas ferramentas computacionais para esse tipo de estudo, no Brasil o programa mais utilizado é o *EnergyPlus*, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos e disponibilizado gratuitamente.

O *EnergyPlus* permite a análise integrada do desempenho térmico da envoltória da edificação (fachadas, coberturas e pisos) em relação ao clima, suas cargas internas (equipamentos, iluminação e pessoas), sistema de condicionamento de ar e demais equipamentos elétricos (bombas, motores, elevadores, exaustores etc).

É uma ferramenta computacional complexa, que exige do usuário um conhecimento multidisciplinar para sua operação. Mas, como tem sido utilizada por diversos centros de pesquisa no Brasil, pode-se aplicá-la com razoável praticidade durante a fase do projeto de edificações com o objetivo de analisar o impacto de diferentes estratégias de eficiência energética. Embora a simulação computacional seja rápida, com o processamento de dados levando alguns segundos ou poucos minutos, a montagem do modelo é complexa e trabalhosa, exigindo do usuário uma dedicação de tempo que pode levar dias ou semanas. Esse é um dos pontos negativos desse tipo de atividade, mas que não foge à regra de outras simulações semelhantes, como o processo de cálculo estrutural.



Modelo geométrico de edifício de escritórios simulado no *EnergyPlus* para análise do desempenho da fachada.

O programa *EnergyPlus* não apenas calcula o consumo de energia, como também permite prever as condições de conforto térmico e lumínico nos ambientes internos da edificação. Os cálculos são desenvolvidos em base horária, permitindo a análise detalhada do desempenho do edifício considerando a variação climática ao longo dos dias, meses e ano.

Entretanto, para simulações da distribuição de luz natural no interior de edificações, o código de cálculo do *EnergyPlus* possui algumas limitações. Mas outros programas podem ser empregados de forma integrada. Um deles, muito utilizado no Brasil e também de distribuição gratuita, é o DAYSIM, desenvolvido em conjunto pelas instituições: *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems* (ISE), *Harvard University, Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e *National Research Council Canada* (NRCC). O DAYSIM permite calcular o nível de iluminação natural resultante nos ambientes no decorrer do dia e do ano, com base em dados climáticos de registros horários. Como resultado, é possível transportar para o *EnergyPlus* os resultados indicando as horas do ano em que seria necessário o uso de sistemas de iluminação artificial para complementar a luz natural.

Além dessas ferramentas de análise de desempenho da edificação, existem três programas desenvolvidos pelo *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL), nos Estados Unidos, que permitem a análise das propriedades ópticas e térmicas de vidros e esquadrias. São eles: *Optics*, *Therm* e *Window*, cujas características principais são descritas no quadro abaixo. A partir desses programas pode-se extrair as propriedades físicas necessárias para executar as simulações em ferramentas como o *EnergyPlus*.

OPTICS

Permite a verificação e o cálculo das propriedades ópticas dos materiais para composição de vidros, incluindo sistemas laminados e multilaminados, bem como elementos de sombreamento anexos. Possui uma base de dados de propriedades e métodos de ensaio normalizados. O *software* apresenta como resultados o comportamento da composição analisada diante do espectro da radiação solar.

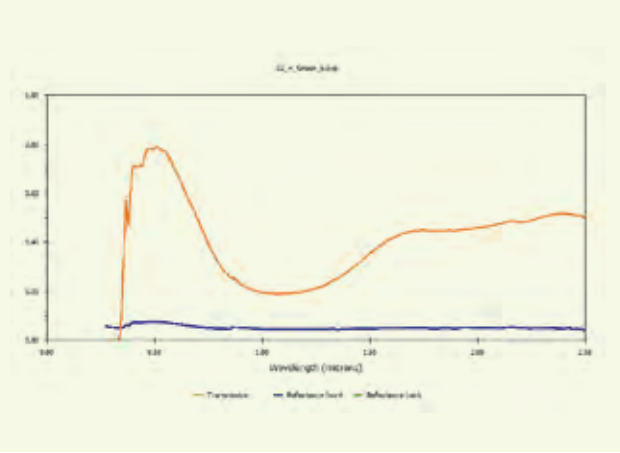
THERM

Permite modelar os efeitos de transferência de calor em duas dimensões em componentes construtivos, como janelas, paredes, fundações, telhados, portas e equipamentos, onde pontes térmicas são motivo de preocupação. Calcula os padrões de temperatura no componente, diante de condições de temperatura, radiação e velocidade do ar a que possa estar submetido. Permite determinar a transmitância térmica de perfis de esquadrias de acordo com normas internacionais.

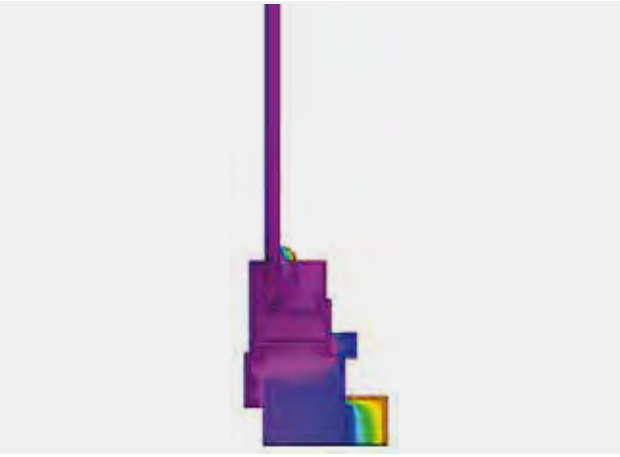
WINDOW

Permite calcular a transmitância térmica e o fator solar de janelas completas, ou seja, do conjunto esquadria e vidro. Possui uma ampla base de dados de propriedades térmicas e ópticas de vidros produzidos no mundo inteiro (a IGDB – *International Glazing Database*), e permite a importação de dados gerados a partir de cálculos do *Optics* e *Therm*.

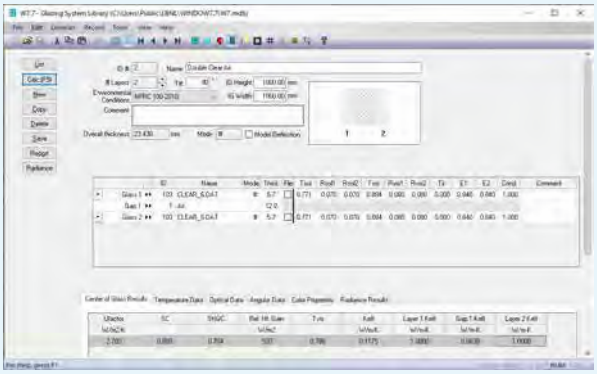
OPTICS: exemplo de gráfico para análise dos dados de transmissão e reflexão de um vidro verde de 6 mm, em função do comprimento de onda do espectro da radiação solar de frestas, são preponderantes para a qualidade de isolamento acústico.



THERM: saída gráfica indicando o nível de temperatura em um perfil de esquadria de alumínio submetido a um fluxo de calor constante.



WINDOW: exemplo de tela do programa, mostrando uma composição de vidro insulado e suas principais propriedades ópticas e térmicas.



CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL E ETIQUETAGEM

No Brasil, o uso de simulação computacional para análise energética de edificações deixou de ser uma atividade exclusivamente de pesquisa quando começaram a entrar e vigorar no país as ferramentas de certificação ambiental e etiquetagem. Essa modificação passou a ocorrer principalmente a partir do ano de 2007, quando foi concedido o primeiro certificado LEED® a um empreendimento brasileiro.

O LEED® é um programa voluntário de certificação ambiental de edifícios que se destacam com estratégias de projeto e construção sustentáveis. A sigla corresponde a *Leadership in Energy and Environmental Design*. Foi criado por uma entidade não governamental norte-americana, o USGBC (*United States Green Building Council*) e tem sido amplamente utilizado em diversos países como uma ferramenta para reconhecer estratégias de projetos sustentáveis desde o final da década de 1990.

Em2008, também passou a ser aplicado no Brasil o Processo AQUA (abreviação para Alta Qualidade Ambiental), baseado no sistema francês HQE (*Haute Qualité Environmentale*), que foi traduzido para o português e adaptado às normas e regulamentações brasileiras.

Ambos os sistemas, LEED® e AQUA, possuem a mesma metodologia de avaliação do desempenho ambiental de edificações, que consiste na verificação de atendimento a créditos e pré-requisitos, gerando uma pontuação que permite a classificação do empreendimento em diferentes categorias. O LEED® possui as categorias: *Certified*, *Silver*, *Gold* e *Platinum*. O Processo AQUA classifica o edifício em três níveis: Base, Boas Práticas e Melhores Práticas.

Nesses sistemas de certificação, um dos itens avaliados é o nível de eficiência energética do edifício. No caso da certificação LEED®, avalia-se o desempenho energético do edifício de acordo com o procedimento descrito na ASHRAE *Standard* 90.1, uma norma americana que estabelece níveis mínimos de eficiência para a envoltória da edificação e seus sistemas. O AQUA adota a etiquetagem do PROCEL como ferramenta de avaliação da eficiência energética.

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). O PBE-Edifica ainda é um programa voluntário, em que o solicitante pode obter a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para o seu projeto ou obra pronta. A etiqueta indica o nível de eficiência da edificação e de seus três principais sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. A classificação segue o mesmo formato adotado pelo INMETRO para outros equipamentos, ou seja, o nível "A" é o mais eficiente, diminuindo a graduação até o nível "E". A metodologia de etiquetagem consiste num procedimento para edificações residenciais e em outro para edificações comerciais, de serviços e públicas, tendo como base os seguintes documentos:

- **RTQ-R**
  Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais.

- **RTQ-C**
  Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos.

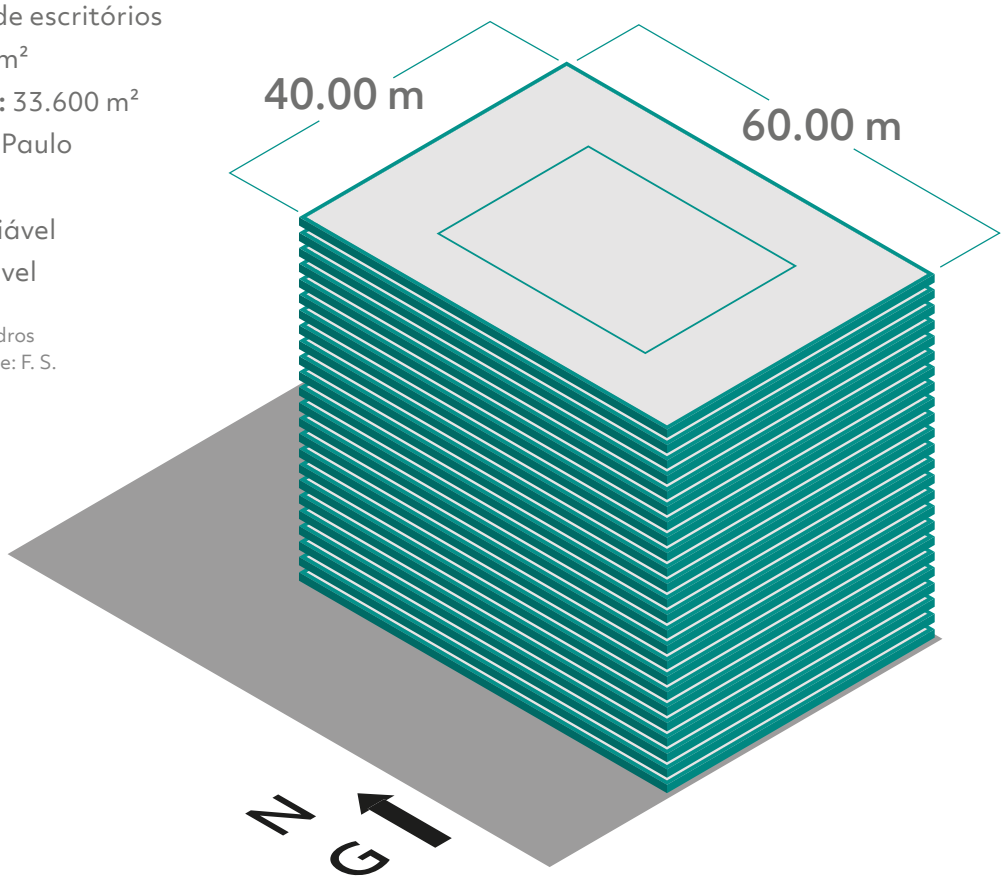
Nesses programas de certificação, o vidro tem influência no desempenho energético da envoltória da edificação. No caso da certificação LEED®, a metodologia de avaliação do nível de eficiência energética da edificação consiste na simulação computacional do projeto e comparação com um modelo de referência que possui um vidro com fator solar baixo (da ordem de 25%) e percentual de abertura da fachada igual ao projeto mas não superior a 40%. Portanto, um prédio com fachada em pele de vidro, para obter uma boa pontuação segundo os critérios de eficiência energética do LEED® necessita de vidros de controle solar de alto desempenho (baixo fator solar).

No caso da etiquetagem PBE-Edifica, existem dois procedimentos para avaliação, um prescritivo e outro por simulação computacional. O método prescritivo privilegia o uso de elementos de sombreamento externo (brises e venezianas) e não quantifica os benefícios do uso de vidros de controle solar. O método por simulação é mais preciso e permite avaliar a economia de energia em virtude do uso de vidros de controle solar, de forma que prédios em pele de vidro podem ter a envoltória classificada em nível "A".

A escolha do vidro ideal para cada projeto e clima pode ser feita com mais precisão por meio de simulação computacional. Um exercício por simulação de um modelo computacional é descrito na figura abaixo. Este modelo teve o seu consumo de energia elétrica simulado para a cidade de São Paulo e Rio de Janeiro, variando-se o Percentual de Abertura da Fachada (PAF) e o tipo de vidro adotado, conforme especificações mostradas na tabela abaixo. Os resultados são comentados a seguir.

Tipologia: edifício de escritórios
Área total: 48.000 m²
Área condicionada: 33.600 m²
(70%) Cidade: São Paulo
Paredes: alvenaria
Área de janela: variável
Tipo de vidro: variável

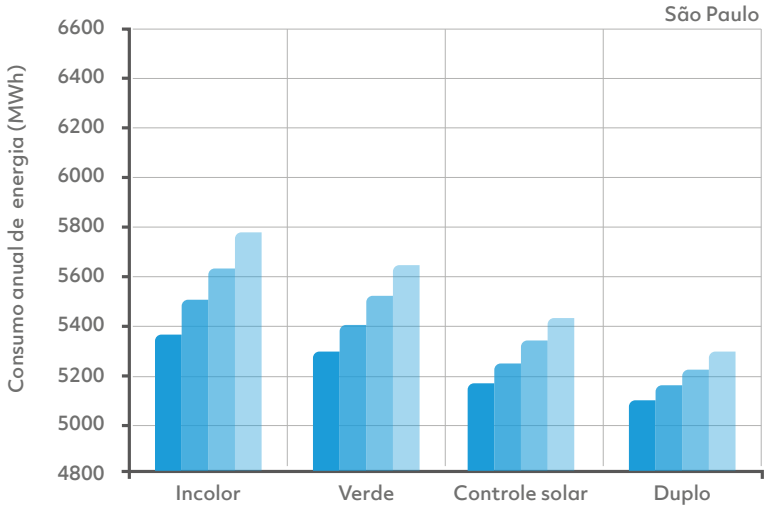
Propriedades físicas dos vidros adotados no estudo. | Fonte: F. S. Westphal.



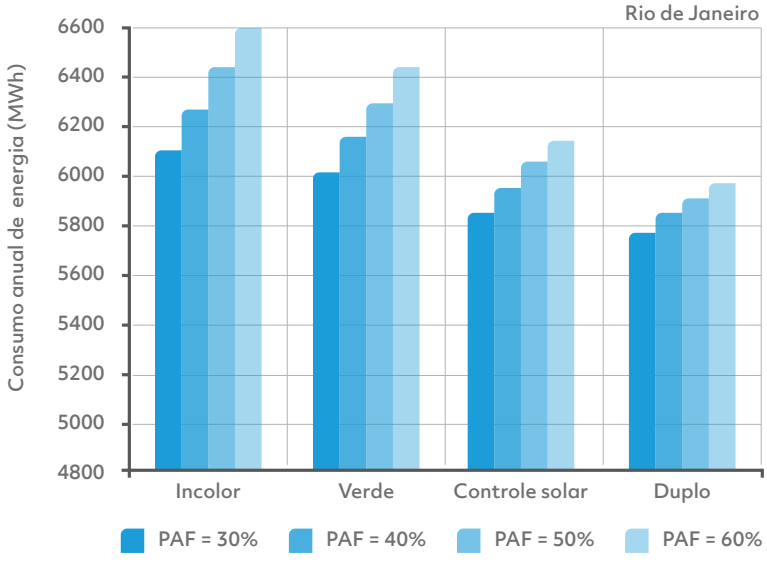
Vista isométrica do modelo simulado

Propriedade	Vidro incolor	Vidro verde	Vidro controle solar	Vidro duplo (câmara de ar 12 mm)		
				Externo	Interno	Composição
Espessura (mm)	6	6	12	6	6	24
Transmissão Energética (%)	77	49	14	23	77	19
Reflexão Energética - Externa (%)	7	6	11	9	7	10
Reflexão Energética - Interna (%)	7	6	20	22	7	22
Absorção Energética (%)	15	46	75	68	15	49
Transmissão Luminosa (%)	88	75	30	44	88	39
Reflexão Luminosa - Externa (%)	8	7	17	12	8	13
Reflexão Luminosa - Interna (%)	8	7	12	3	8	10
Emissividade - Externa	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Emissividade - Interna	0,84	0,84	0,84	0,16	0,84	0,84
Condutividade (W/m.K)	1	1	1	1	1	1
Fator Solar (%)	84	62	33	35	84	28
Índice de Seletividade	1,05	1,21	0,90	1,26	1,05	1,45

Os gráficos a seguir permitem comparar o consumo anual do modelo simulado com cada configuração de abertura de fachada e tipo de vidro. Os gráficos apresentam os resultados para São Paulo, acima, e Rio de Janeiro, abaixo. É apresentado o consumo anual de energia elétrica do modelo, embora apenas o consumo do sistema de condicionamento de ar seja afetado pela fachada nesta simulação.



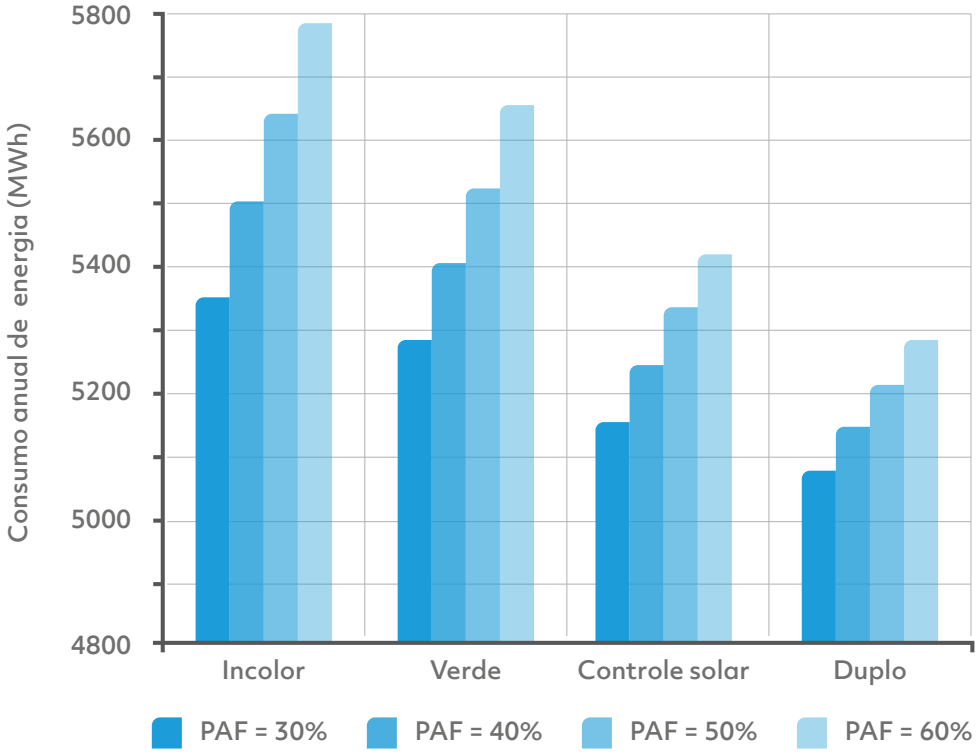
Os gráficos ao lado permitem comparar o consumo anual do modelo simulado com cada configuração de abertura de fachada e tipo de vidro. Os gráficos apresentam os resultados para São Paulo, acima, e Rio de Janeiro, abaixo. É apresentado o consumo anual de energia elétrica do modelo, embora apenas o consumo do sistema de condicionamento de ar seja afetado pela fachada nesta simulação.



Comparação entre o consumo anual de energia em função da área de janela na fachada e tipo de vidro para São Paulo (acima) e Rio de Janeiro (abaixo). | Fonte: F. S. Westphal.

Apresentando os gráficos anteriores de uma forma diferente, como na figura a seguir, é possível visualizar opções de fachada com desempenho equivalente na cidade de São Paulo.

Pela altura das barras apresentadas no gráfico, podem-se identificar modelos com mesmo consumo anual de energia, indicando fachadas de mesmo desempenho térmico. Por exemplo, um prédio com 30% de PAF e vidro incolor apresenta o mesmo consumo de um modelo com 50% de abertura nas fachadas e vidro de controle solar. O modelo com 60% de PAF e vidros duplos resulta em consumo anual menor do que a opção com PAF de 30% e vidro incolor e, ainda, consumo menor do que um prédio com 40% de PAF e vidro verde. Conclui-se que, neste caso, é possível dobrar a área de visão para o exterior, mantendo o mesmo consumo de energia elétrica, desde que utilizado um vidro adequado.

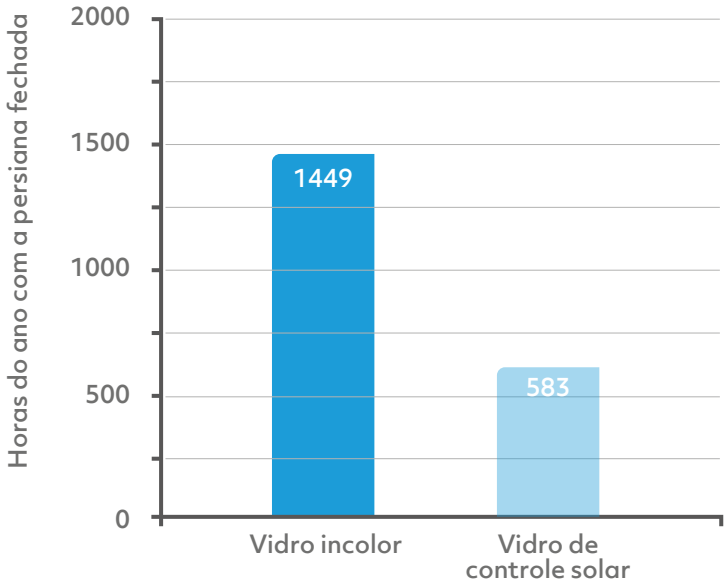


Comparação entre o consumo anual de energia em função do percentual de abertura na fachada e tipo de vidro para São Paulo. | Fonte: F. S. Westphal.

ECONOMIA DE ENERGIA EM ILUMINAÇÃO

A simulação computacional do desempenho térmico e lumínico de uma residência, com um dormitório com a janela voltada para oeste, permite demonstrar que em determinada situação o uso de um vidro com menor transmissão luminosa pode ser benéfico. Neste estudo, uma simulação foi conduzida com o uso de um vidro de controle solar (fator solar 34% e transmissão luminosa de 28%) numa janela de correr com persiana integrada. Simulou-se a necessidade de fechamento da persiana sempre que a temperatura do cômodo ultrapassasse 25 °C ou quando a radiação solar incidente na janela superasse os 200 W/m² (que equivale ao sol das 10h às 16h no verão na latitude 27°S).

Como resultado da simulação pode-se quantificar o número de horas do ano em que a persiana está completamente recolhida, ou seja, a janela está desbloqueada, proporcionando contato visual com o exterior, sem acréscimo significativo na temperatura interna do cômodo. O gráfico apresentado na figura abaixo indica que o vidro de controle solar permitiu uma redução de 866 horas, ou 60% de 1.449 horas, do total do tempo em que a persiana fica completamente fechada. Isso significa que o uso de vidro de melhor desempenho permite mais tempo de exposição à radiação solar sem aumento significativo na temperatura interna do cômodo. Esse teste foi conduzido para o clima de Florianópolis(SC). O mesmo tipo de estudo pode ser realizado para avaliar as condições de sombreamento necessárias para outros climas e orientações solares. Os resultados também dependem das características construtivas e de uso da edificação.



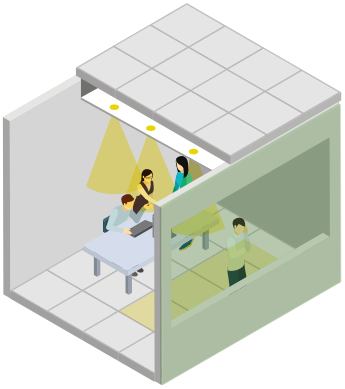
Comparativo entre horas do ano em que a persiana de uma janela voltada para oeste permanece fechada no dormitório de uma residência localizada em Florianópolis (SC) quando se usa vidro incolor e vidro de controle solar (fator solar de 34% e transmissão luminosa de 28%). | Fonte: F.S. Westphal.

A integração da luz natural com o projeto arquitetônico para promover economia de energia deve exigir a interferência no projeto elétrico da edificação, para que o sistema de iluminação artificial seja total ou parcialmente desativado à medida que a luz do dia é suficiente para manter níveis aceitáveis no interior do prédio. A figura abaixo ilustra esquematicamente essa integração. Num edifício comercial, o sistema de iluminação artificial pode ser espacialmente disposto para possibilitar a desativação progressiva de lâmpadas, à medida que haja uma boa captação de luz natural. Medidas de controle de ofuscamento e uniformidade da luz nos ambientes internos são fundamentais para alcançar elevados níveis de economia de energia.

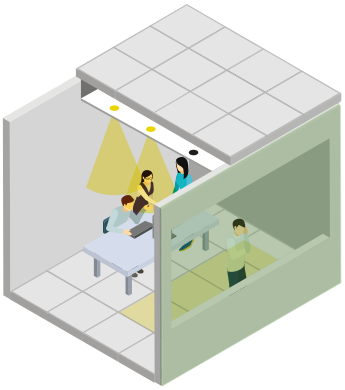
Uma simulação computacional conduzida para um edifício de escritórios na cidade de São Paulo comprovou economia de energia de até 4,7% no consumo total anual de energia elétrica, conforme mostra a ilustração abaixo.

Embora o valor percentual seja aparentemente baixo, essa economia equivale à operação completa do prédio durante duas semanas. Além disso, cabe ressaltar que a redução no consumo ocorre apenas nos sistemas de iluminação e condicionamento de ar, que são os únicos afetados por essa medida de economia. O prédio possui uma série de outros equipamentos que continuam consumindo energia normalmente, o que dificulta maiores economias percentuais.

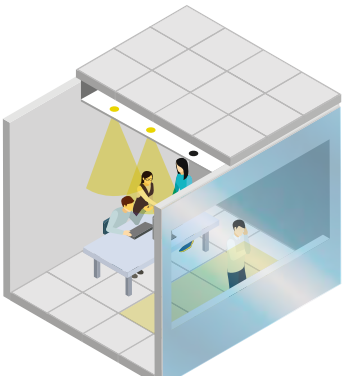
CONSUMO ANUAL DE ENERGIA ELÉTRICA



Vidro verde com persiana
5.207 MWh



Vidro verde com persiana + luz natural
5.071 MWh
-2,6%



Vidro controle solar persiana + luz natural
4.964 MWh
-4,7%

Economia de energia obtida com a Integração entre luz natural e artificial num edifício de escritórios, calculada por simulação computacional para a cidade de SãoPaulo.

COMO ESPECIFICAR

BELEZA, CONFORTO E SEGURANÇA: O BALANÇO POSITIVO DO VIDRO

Este capítulo resume os conceitos apresentados ao longo do manual, agrupando as informações para auxílio na escolha e especificação adequadas do vidro plano no projeto de edificações.

Como todo material de construção, o vidro exige cuidados na sua especificação, devendo ser observadas não somente as características que proporcionam estética e resistência, como também questões de segurança e conforto ambiental. Dessa forma, pode-se destacar os seguintes requisitos que devem ser definidos em harmonia para uma aplicação com vidro plano na construção civil:

- Estética;
- Resistência mecânica;
- Segurança;
- Isolamento acústico;
- Isolamento térmico e ganho de calor solar;
- Transmissão de luz e reflexão.

O balanço entre esses requisitos gera conflitos, que precisam ser equacionados a partir do conhecimento técnico acerca dos produtos. A garantia de sucesso de uma solução arquitetônica em vidro é resultado da boa interação entre arquiteto, projetista de esquadrias e consultoria em eficiência energética.

O quadro abaixo resume as características importantes a serem definidas pelo arquiteto, em conjunto com os demais agentes envolvidos no projeto (projetista e fornecedor dos caixilhos, consultoria em conforto ambiental e eficiência energética). Os parâmetros foram agrupados em três categorias, que serão comentadas ao longo deste capítulo.

ESTÉTICA Padrão arquitetônico	RESISTÊNCIA E SEGURANÇA Dimensão e beneficiamento	CONFORTO E EFICIÊNCIA Propriedades ópticas
Cor	Espessura	Transmissão, reflexão e absorção luminosa e energética
Reflexão Interna		
Reflexão Externa	Tamanho das chapas	Transmitância térmica
Absorção Luminosa		Serigrafia
Transmissão Luminosa	Beneficiamento (têmpera, laminação, composição insulada)	Pintura
Serigrafia e Pintura		Beneficiamento (laminação, composição insulada)

ESTÉTICA

Certamente, o primeiro parâmetro de escolha de uma aplicação em vidro na arquitetura é a estética e a possibilidade de fechar uma abertura com um elemento transparente, garantindo o contato visual com o exterior, mas com proteção dos agentes externos – intempéries.

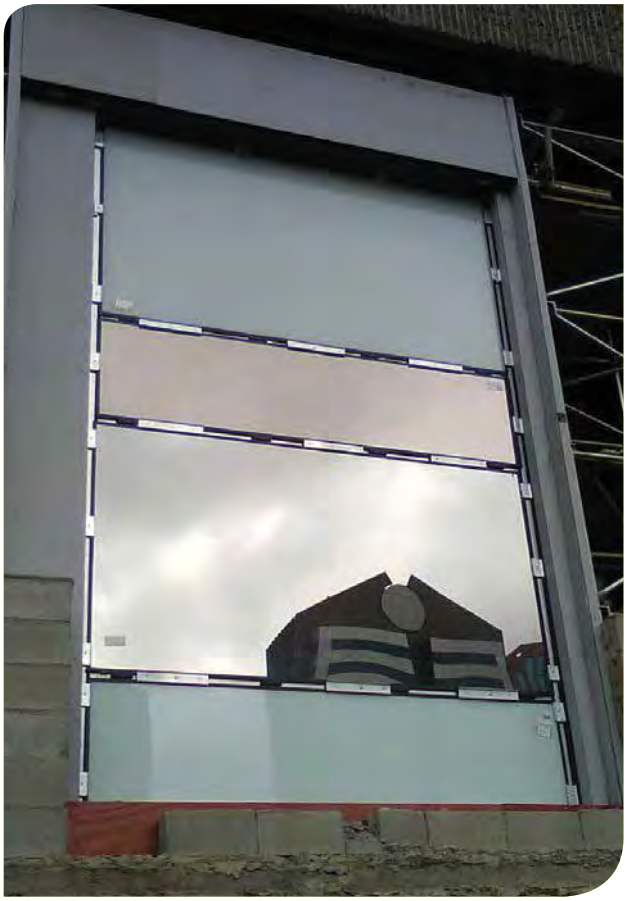
É difícil definir um vidro como "bonito". Há na verdade uma aplicação harmônica com o pro- jeto. Essa harmonia é responsabilidade do arquiteto – assim como todas as questões de segurança e conforto. No quesito estética, pode-se destacar os seguintes parâmetros que irão tornar o vidro mais evidente e integrado ao projeto arquitetônico:

PARÂMETRO	ORIENTAÇÕES	DICAS
Cor	O vidro *float* é produzido em quatro tonalidades básicas: incolor, verde, bronze ou cinza. Porém, a metalização dos vidros de controle solar pode afetar o aspecto visível dos vidros, principalmente se eles forem laminados com a superfície metalizada em contato como PVB. Além disso, o vidro pode ser pintado ou laminado com PVB colorido ainda na processadora, mudando completamente a sua cor.	Recomenda-se a instalação de uma pequena amostra de vidro em obra (chamada *mockup*), para conferir o seu aspecto visível no local. A verificação do *mockup* deve ser feita a diferentes distâncias e ângulos de visão, além de condições de céu adversa, pois sabe-se que a capacidade de reflexão do vidro muda com o ângulo de incidência da luz.
Reflexão luminosa interna e externa	Como visto no capítulo sobre Conforto Lumínico hoje podem ser fabricados vidros com diferentes padrões de reflexão interna e externa. O grau de reflexão é maior quando se olha do lado mais claro para o mais escuro. Dessa forma, os vidros em geral são mais refletivos externamente durante o dia e internamente durante a noite.	O grau de reflexão (ou "espelhamento") do vidro deve ser definido pelo arquiteto, de acordo com o aspecto e a privacidade buscados para o seu projeto. Em geral, índices de reflexão superiores a 25% já resultam num aspecto bem espelhado. O projetista deve observar, também, o efeito que a reflexão pode causar no entorno da edificação, procurando evitar o desconforto por ofuscamento. Em algumas situações, a reflexão do sol pode ser benéfica para trazer a luz natural em regiões mais sombreadas.
Absorção luminosa	Quanto maior a absorção luminosa, mais escuro é o aspecto do vidro. Além de evidenciar a cor do vidro, a absorção mais alta diminui a trasmissão luminosa para o interior do ambiente, e pode ser útil para evitar problemas de ofuscamento.	Ao optar por um vidro mais escuro, deve-se tomar cuidado para evitar altos níveis de temperaturas quando expostos ao sol. Nesses casos, vidros de controle solar e composições insuladas podem contribuir para a diminuição da temperatura superficial do vidro.

PARÂMETRO	ORIENTAÇÕES	DICAS
Transmissão luminosa	No Brasil, há uma grande disponibilidade de luz natural em todo o território nacional. Portanto, a opção por vidros mais transparentes deve ser feita sempre com muito cuidado, levando-se em conta a área de superfície envidraçada. Quanto maior a transmissão luminosa, maior a transparência do vidro.	Grandes áreas com vidros de alta transmissão luminosa podem gerar problemas de ofuscamento. Em geral, em fachadas envidraçadas no Brasil utilizam-se especificações de vidro com trasmissão luminosa inferior a 35%. É possível obter uma boa transmissão luminosa com baixo ganho de calor utilizando vidros de controle solar, serigrafias e composições insuladas.
Serigrafia e pintura	A serigrafia em vidro é feita com pintura cerâmica num processo a quente, que confere grande resistência ao desenho. Pode-se gravar diversos padrões de figuras geométricas e imagens, além de cores diferentes, que podem ser estudadas junto à processadora. Evidentemente, a serigrafia pode mudar completamente o aspecto estético da solução em vidro adotada no projeto.	A serigrafia com "bolinhas" e listras é comum para controlar a entrada de luz, principalmente na porção mais alta de vidro em fachadas inteiramente envidraçadas. A escolha pelo padrão de figura deve ser feita em conjunto com a processadora de vidro, verificando a viabilidade técnica e econômica do padrão de imagem pretendido. Figuras geométricas simples (círculos, quadrados, listras) são mais comuns e econômicas.
Curvatura	Complementando a ampla gama de padrões estéticos possíveis com o vidro plano, existe ainda a possibilidade de curvar as chapas, podendo-se gerar vidros curvos laminados, temperados, insulados e a combinação entre eles. A curvatura é feita na processadora.	Existem alguns padrões e raios de curvatura possíveis, por isso é importante estudar as opções técnicas e econômicas viáveis em conjunto com a processadora de vidros.

Parâmetros do vidro plano relacionados à estética.

As fotos abaixo mostram duas instalações de *mockup* em fachadas de edifícios comerciais em construção, para verificar o aspecto de amostras de vidro em diferentes condições de exposição à luz natural.



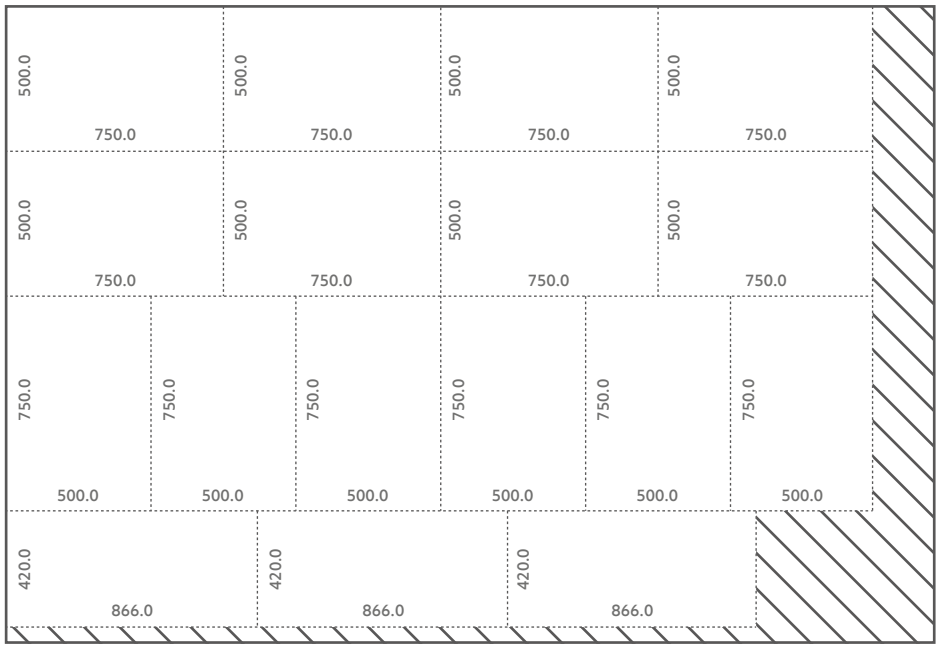
Exemplos de *mockup* instalados em obra para verificação do efeito estético do vidro de fachada. | Fonte: F.S. Westphal.

RESISTÊNCIA E SEGURANÇA

ESPESSURA E TAMANHO DAS CHAPAS

A definição do tamanho das chapas de vidro utilizadas no projeto deve levar em consideração a espessura necessária para promover a resistência a esforços (pressão de ventos e peso próprio), além do aproveitamento mais econômico das chapas originais, fornecidas pelo fabricante de vidros à processadora. Evidentemente, o tamanho das chapas também afeta o efeito estético do projeto, pois implica mais linhas visíveis na fachada, além da quantidade de perfis para fixação dos vidros.

Em geral, os fabricantes fornecem chapas em tamanho padrão de 3.210 x 2.200 mm, mas podem chegar a até 6.000 mm x 3.210 mm (as chamadas chapas "jumbo"). Para um bom aproveitamento da chapa, resultando na menor quantidade de perdas possíveis, cada processadora elabora um plano de corte, geralmente auxiliado por computador, conforme a figura abaixo. Sabendo o tamanho das chapas possíveis e o espaçamento necessário para efetuar cada corte, o arquiteto pode modular o seu projeto para resultar num aproveitamento econômico das chapas fornecidas pelo fabricante.

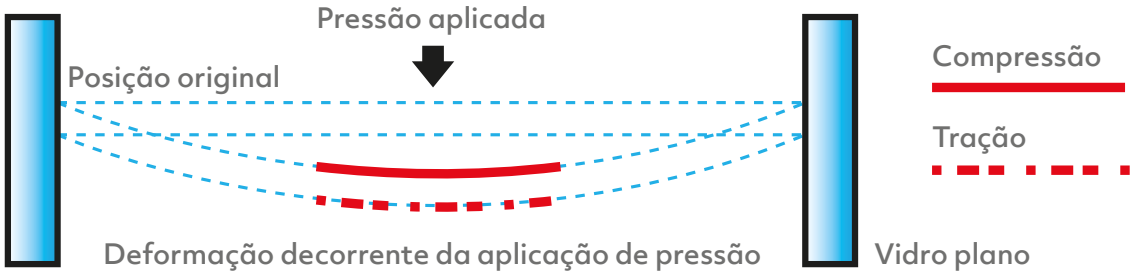


Exemplo de plano de corte de uma chapa de vidro plano. | Fonte: F. S. Westphal.

O vidro *float* é fabricado normalmente em chapas com espessura de 2 mm a 19 mm, podendo chegar a 25 mm em situações específicas. Na construção civil, a NBR 7199 prevê a utilização de vidros com espessura mínima de 3 mm. Quanto maior o tamanho da chapa de vidro a ser utilizada numa aplicação, maior deverá ser sua espessura para resistir aos esforços solicitantes.

Quando há uma força aplicada a uma placa de vidro, há uma compressão no lado que recebe a força e um esforço de tração no lado oposto. Não apenas a resistência à ruptura deve ser garantida no dimensionamento do vidro, como também a deflexão máxima deve ser atendida, evitando demonstrar um aspecto de insegurança e a movimentação excessiva das bordas, que provocariam prejuízos à sua fixação e estanqueidade.

A figura abaixo ilustra as tensões resultantes numa chapa de vidro plano, como consequência da aplicação de uma força em seu centro.



O vidro é um material elástico, ou seja, ele não sofre deformação permanente e retorna à posição original quando cessa a força aplicada sobre ele. Porém, é um material frágil. Rompe sem aviso. Apesar dessa fragilidade, o vidro é extremamente resistente à compressão, chegando a suportar pressão de até 1.000 MPa, ou seja, um cubo de 1 cm de lado pode receber uma carga de 10 toneladas sem romper. Comparada ao concreto convencional, que suporta cerca de 15 MPa, essa resistência é 66 vezes superior.

Porém, o vidro não possui a versatilidade de execução *in loco* como o concreto. Não é possível executar uma viga de vidro armada com aço, por exemplo. Por isso, as aplicações em vidro são limitadas pela sua resistência à tração, que é muito menor do que à compressão. Mas os processos de beneficiamento por têmpera e laminação permitem ampliar a resistência à tração e resultam em soluções versáteis para a aplicação dos vidros além das limitações do *float* comum.

As propriedades físicas do vidro *float*, necessárias para o cálculo de espessura e resistência, são apresentadas na NBR 7199 e estão resumidas nas seguintes tabelas.

Propriedade		Valor
Módulo de elasticidade		75.000 + 5.000 MPa
Tensão de ruptura à flexão	Vidro *float*	40 + 5 MPa
	Vidro temperado	180 + 20 MPa
Coeficiente de Poisson		0,22
Massa específica		2,5 kg/m² para cada milímetro de espessura
Dureza		Entre 6 e 7 na escala de Mohs
Coeficiente de dilatação linear entre 20 °C e 220 °C		9×10^{-6} K^{-1}
Condutividade térmica a 20 °C		1,00 W/m.K
Calor específico entre 20 °C e 100 °C		0,79 kJ/kg.K
Tensão máxima admissível		Ver tabela abaixo

Propriedades físicas do vidro *float*. | Fonte: ABNT NBR 7199.

Tipo de vidro		3 segundos	1 minuto	1 hora	1 dia	1 mês	Acima de 1 ano
Float ou impresso	4 bordas	23,3	19,3	14,9	12,4	10,0	7,2
	Qualquer outro tipo de apoio	20,0	15,2	11,7	9,7	7,9	5,7
Temperado	4 bordas	93,1	87,5	80,1	75,4	69,8	66,1
	Qualquer outro tipo de apoio	73,0	68,7	62,9	59,2	54,8	51,9

Tensão máxima admissível. | Fonte: ABNT NBR 7199.

Para determinar a tensão máxima admissível, a maior parte das aplicações enquadra-se na coluna de 3 segundos (rajadas de vento) ou acima de um ano. A NBR 7199 destaca que as tensões intermediárias devem ser consideradas, normalmente, quando o projeto possui necessidades especiais de cálculo, ou quando existe a necessidade de redundância a ser avaliada pelo projetista.

A redundância deve ser utilizada em aplicações como pisos de vidro, aquários, visores de piscina onde deve ser previsto, por segurança, a necessidade de um tempo para a evacuação do local ou isolamento de áreas.

CÁLCULO PARA DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA

A espessura e o tipo de beneficiamento (laminação e têmpera) devem ser definidos adequadamente para cada aplicação, segundo o procedimento descrito em norma. A NBR 7199 apresenta um método de cálculo, que será descrito a seguir. Cabe salientar que, no período de elaboração deste manual, a norma passava por atualização e o procedimento descrito aqui já corresponde ao projeto de revisão da NBR 7199. Portanto, para a aplicação do método com segurança, recomenda-se a consulta sempre à versão vigente da norma de cálculo.

Inicialmente, o projeto de revisão da NBR 7199 apresenta o método de cálculo dos esforços solicitantes: ação de vento e peso próprio. A pressão devida à ação do vento deve ser determinada segundo a NBR 6123 (Forças Devido ao Vento em Edificações). Para edificações de forma geométrica simples, como um paralelepípedo, pode-se seguir o procedimento a seguir.

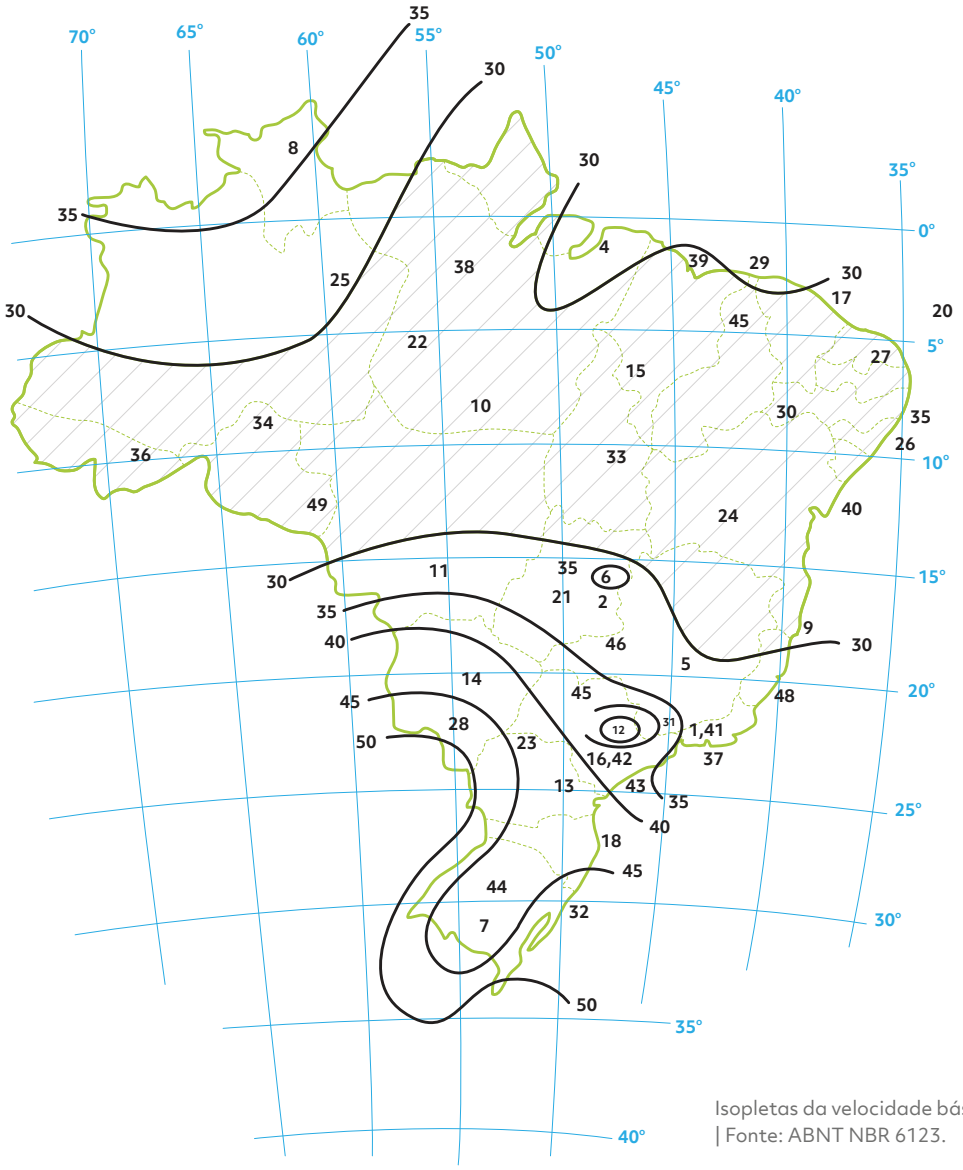
CÁLCULO DA PRESSÃO DE VENTO Pv

Calcula-se a velocidade característica do vento (Vk) para se obter a pressão dinâmica (q) e pressão de ação do vento (Pv), aplicando-se as equações listadas no quadro abaixo.

$V_k=V_o.V_1.S_2.S_3$	V_k é a velocidade característica do vento, em metros por segundo
	V_o é a velocidade básica do vento, em metros por segundo
	S_1 é um fator topográfico obtido na NBR 6123 e descrito a seguir
	S_2 é um fator que considera a influência da rugosidade do terreno, das dimensões da edificação ou parte da edificação em estudo e de sua altura sobre o terreno, obtido na NBR 6123 e descrito a seguir
	S_3 é um fator probalístico obtido na NBR 6123 e descrito a seguir
$q = 0{,}613\ V^2$	q é a pressão dinâmica do vento, em pascals
$P_v = C.q$	P_v é ação do vento, em pascals
	C é o coeficiente de forma (coeficiente aerodinâmico que leva em conta a posição do envidraçamento e as dimensões da edificação)
	q é a pressão dinâmica do vento

Equações para determinação da pressão de ação de vento. | Fonte: ABNT NBR 6123.

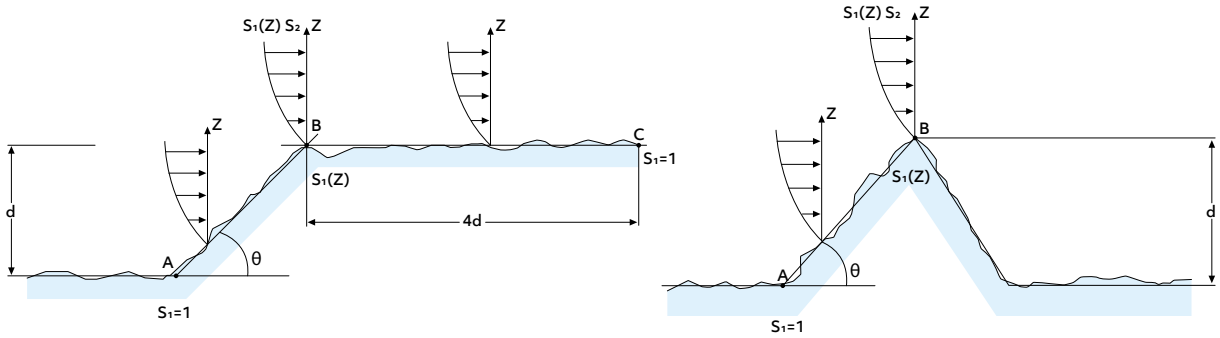
Para cálculo da velocidade característica do vento, a primeira informação a se obter é a velocidade básica do vento (V_0) na localidade da edificação. Essa velocidade corresponde ao valor medido em rajada de 3 segundos de duração, excedida em média uma vez em 50 anos, a 10 metros acima do terreno, em campo aberto e plano. O valor pode ser extraído do mapa de isopletas da NBR 6123 (curvas com mesma velocidade de vento), reproduzido na figura abaixo. Os números indicados junto aos pontos no mapa correspondem às estações meteorológicas de onde se extraíram os dados e são listadas no Anexo C da norma.



Isopletas da velocidade básica V_0 (m/s).
| Fonte: ABNT NBR 6123.

S_1: O fator topográfico S_1 leva em consideração as variações do relevo do terreno e é determinado conforme descrito no quadro abaixo. Para condições de relevo mais complexas ou onde sua influência exige maior precisão, a norma recomenda ensaios em túnel de vento ou medições no local.

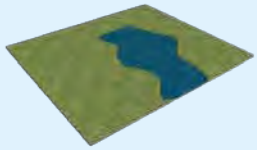
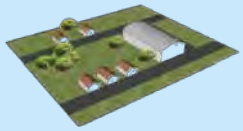
Tipo de topografia			Valor de S_1
Terreno plano ou fracamente acidentado			1,0
Vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção			0,9
Taludes e morros (figuras abaixo)	No ponto A (morros) e nos pontos A e C (taludes):		1,0
	No ponto B	$\theta \leq 3°$	$S_1(z) = 1,0$
		$6° \leq \theta \leq 17°$	$S_1 = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{d})\ tg\ (\theta - 3°) \geq 1$
		$\theta \leq 45°$	$S_1 = 1,0 + (2,5 - \frac{z}{d})\ tg\ (0,31) \geq 1$
	Interpolar linearmente para $3° < \theta < 6°$ e $17° < \theta < 45°$		
	Interpolar linearmente entre A e B e entre B e C		



Z é a altura medida a partir da superfície do terreno no ponto considerado
d é a diferença de nível entre a base e o topo do talude ou morro
θ é a inclinação média do talude ou encosta do morro

Tabela de valores de S_1 em função do tipo de topografia do terreno. | Fonte: ABNT NBR 6123.

S_2: O fator de rugosidade do terreno S_2 considera a variação da velocidade do vento em função da altura acima do solo, a influência das dimensões da edificação e, é claro, a rugosidade do entorno da edificação. Essa última é classificada pela norma em cinco categorias ilustradas no quadro abaixo.

Descrição da categoria	Exemplos	Ilustração
CATEGORIA I Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.	• Mar calmo • Lagos e rios • Pântanos sem vegetação	
CATEGORIA II Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada inferior ou igual a 1,0 m.	• Zonas costeiras planas • Pântanos com vegetação rala • Campos de aviação • Pradarias e várzeas • Fazendas sem cercas ou muros	
CATEGORIA III Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como cercas e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 3,0 m.	• Granjas e casas de campo, com exceção das partes com matos • Fazendas com cercas ou muros • Subúrbios a considerável distância do centro, com casas baixas e esparsas	
CATEGORIA IV Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual a 10 m. Esta categoria também inclui zonas com obstáculos maiores e que ainda não possam ser consideradas na categoria V.	• Zonas de parques e bosques com muitas árvores • Cidades pequenas e seus arredores • Subúrbios densamente construídos de grandes cidades • Áreas industriais plena ou parcialmente desenvolvidas	
CATEGORIA V Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados. A cota média do topo dos obstáculos é considerada igual ou superior a 25 m.	• Florestas com árvores altas, de copas isoladas • Centros de grandes cidades • Complexos industriais bem desenvolvidos	

A determinação de S_2 depende ainda das dimensões da edificação, para as quais a NBR 6123 define as classes abaixo.

Classe	Descrição
CLASSE A	Todas as unidades de vedação, seus elementos de fixação e peças individuais de estruturas sem vedação. Toda edificação na qual a maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m
CLASSE B	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal esteja entre 20 m e 50 m
CLASSE C	Toda edificação ou parte de edificação para a qual a maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m

Classes de edificações conforme suas dimensões, para determinação do fator S_2. | Fonte: ABNT NBR 6123.

A partir da categoria do relevo e classe de edificação, pode-se identificar o valor de S_2 na Tabela 2 da NBR 6123, reproduzida abaixo.

z (m)	Categoria														
	I Classe			II Classe			III Classe			IV Classe			V Classe		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,14	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Tabela de valores de S_2. | Fonte: ABNT NBR 6123, Tabela 2.

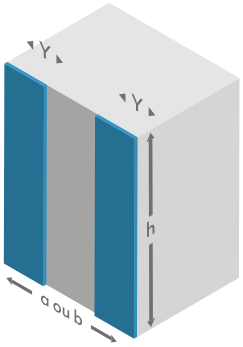
S_3: O fator S_3 foi definido a partir de análise estatística, considerando o grau de segurança requerido e a vida útil da edificação. Na falta de uma norma específica sobre segurança nas edificações ou de indicações correspondentes na norma de estruturas, os valores mínimos de S_3 são os indicados na Tabela 3 da norma, reproduzida abaixo. Esses valores são definidos para um nível de probabilidade de 63% que a velocidade V_0 seja igualada ou excedida num período de vida útil de 50 anos. Para outras condições, o Anexo B da norma apresenta um método de cálculo.

Grupo	Descrição	S_3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva (hospitais, quartéis de bombeiros e de forças de segurança, centrais de comunicação etc.)	1,10
2	Edificações para hotéis e reisdências. Edificações para o comércio e indústria com alto fator de ocupação	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação (depósitos, silos, construções ruais etc.)	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação etc.)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Valores mínimos do fator estatístico S_3. | Fonte: ABNT NBR 6123.

Definida a velocidade característica do vento pode-se calcular a pressão dinâmica (q) e na sequência a ação do vento (Pv). Para isso, é necessário determinar o coeficiente de forma (C), que leva em conta a posição do envidraçamento e as dimensões da edificação. De uma forma simplificada, pode-se usar os valores da Tabela 2 abaixo.

Y = 0,2 b ou h (adotar o menor dos dois)



Altura relativa	C em todas as fachadas	
	Zonas Y	Demais zonas
h/b < 1/2	1,7	1,5
1/2 < h/b < 3/2	2,0	1,6
h/b > 3/2	2,2	1,8

Valores do coeficiente de forma, C, para edificações paralelepipédicas ou a elas assemelhadas. | Fonte: ABNT NBR6123.

DETERMINAÇÃO DA PRESSÃO DE CÁLCULO P

Na sequência, determina-se a pressão de cálculo, levando-se em conta, também, o peso próprio do vidro, no caso de instalações não verticais. No caso de envidraçamentos onde não haja esforços provenientes do vento, deve-se considerar uma pressão de cálculo de 600 Pa, no mínimo. O quadro abaixo apresenta a equação para determinação da pressão devido ao peso próprio e da pressão final de cálculo.

Peso próprio - P_P	$P_P = 25 \times e_P$	**P_P** é o peso próprio por unidade de área, em pascals (Pa)
		25 é o resultado da multiplicação **m.g**, onde **m** é a massa específica do vidro (2,5 kg/m² para cada milímetro de espessura) e **g** é a aceleração da gravidade
		e_P é a soma das espessuras nominais da composição preestabelecida (hipótese) do vidro para o cálculo do peso próprio, em milímetros (mm)

	Vidros externos		Vidros internos	
Pressão de cálculo - P	**Verticais**	**Inclinados**	**Verticais**	**Inclinados**
	$P = 1{,}5.P_V$	$P = 1{,}5.P_V$ ou $P = 1{,}2\ (P_V + \alpha.P_P \cos\theta)$ adotar o maior valor	$P = 600$	$P = 4{,}7.P_P$ ou $P = 600 + P_P$ adotar o maior valor
	P é a pressão de cálculo, em pascals			
	P_V é a pressão devida ao vento, em pascals			
	P_P é a pressão devido ao peso próprio, em pascals			
	$\cos\theta$ é o menor ângulo que a chapa de vidro pode formar com a horizontal			
	$\alpha = 1$ para vidro temperado | $\alpha = 2$ para os demais tipos de vidro			

CÁLCULO DA ESPESSURA e_1

Definida a pressão de cálculo, a espessura (e_1) do vidro pode ser calculada aplicando-se uma das equações listadas na tabela abaixo. As fórmulas indicam a espessura mínima para a chapa de vidro em função das condições de fixação. Para o cálculo de chapas não retangulares, deve-se considerar as dimensões de um retângulo onde essa chapa possa ser inscrita. É importante salientar que essas fórmulas não se aplicam a sistemas estruturais em vidro, para os quais recomenda-se o cálculo por simulação computacional.

Fórmulas para o cálculo da espessura e_1 do vidro, em função das condições de fixação da chapa. Fonte: ABNT NBR 6123.

Vidro apoiado em quatro lados, onde L/l ≤ 2,5	$e_1 = \sqrt{\frac{S \times P}{100}}$	
Vidro apoiado em quatro lados, onde L/l > 2,5	$e_1 = \frac{l \times \sqrt{P}}{6,3}$	
Vidro apoiado em três lados, onde a borda livre é a menor	$e_1 = \frac{l \times \sqrt{P}}{6,3}$	
Vidro apoiado em três lados, onde a borda livre é o lado maior e L/l ≤ 7,5	$e_1 = \sqrt{\frac{L \times 3 \times l \times P}{100}}$	
Vidro apoiado em três lados, onde a borda livre é o lado maior e L/l > 7,5	$e_1 = \frac{3 \times l \times \sqrt{P}}{6,3}$	
Vidro apoiado em dois lados, onde a borda livre é a maior	$e_1 = \frac{L \times \sqrt{P}}{6,3}$	
Vidro apoiado em dois lados, onde a borda livre é a menor	$e_1 = \frac{l \times \sqrt{P}}{6,3}$	
e_1 é a espessura do vidro, em milímetros.		

FATOR DE REDUÇÃO C

Após aplicação das fórmulas anteriores, a espessura e_1 deve ser multiplicada pelo fator de correção c, de acordo com as condições abaixo:

- Fator de redução c = 0,9 para todos os vidros externos no piso térreo onde a extremidade superior está a menos de 6 m em relação ao piso.
- Adotar c = 1,0 para os demais casos.

VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA

Para determinar o tipo de vidro e espessura, deve-se proceder a verificação da resistência, por meio do cálculo da espessura equivalente, conforme equação abaixo.

$e_R \geq e_1 \times c$	e_R é a espessura equivalente para verificação da resistência, em milímetros
	e_1 é a espessura do vidro, calculada anteriormente em milímetros
	c é o fator de redução

A verificação é feita por iterações. Determina-se um tipo de vidro ou composição e a espessura de cada chapa. Na sequência, identifica-se o fator de equivalência conforme a composição do vidro e seus componentes. Calcula-se a espessura equivalente e_R e procede-se a verificação acima. Caso a condição não seja atendida, deve-se selecionar nova espessura de vidro ou composição.

Espessura do vidro	Tolerância
3, 4, 5, 6 mm	± 0,2 mm
8, 10, 12 mm	± 0,3 mm
15 mm	± 0,5 mm
19, 25 mm	± 1,0 mm

Para determinar a espessura da chapa, deve-se consultar os fabricantes ou a distribuidora de vidro para saber as espessuras comerciais disponíveis em função do tipo de vidro escolhido. Alguns vidros coloridos e de controle solar são fornecidos em apenas algumas espessuras. Deve-se considerar também que a norma NBR NM 294 permite tolerâncias na fabricação e o cálculo deve prever essas possíveis diferenças. Além disso, é necessário verificar as questões de segurança e a necessidade de beneficiamento do vidro, seja por laminação ou têmpera, ou a utilização de vidro aramado. As espessuras comerciais do vidro *float* comum e as tolerâncias permitidas por norma são apresentadas na tabela abaixo. Em edificações, a NBR 7199 não permite o uso de espessura inferior a 3 mm.

Os fatores de equivalência serão considerados conforme a composição do vidro e seus componentes, de acordo com a tabela abaixo.

Vidros insulados	Fator de Equivalência ε_1
Insulados com dois vidros	1,60
Insulados com três vidros	2,00
Vidros laminados	**Fator de Equivalência ε_2**
Laminado com dois vidros	1,30
Laminado com três vidros	1,50
Laminado com quatro ou mais vidros	1,60
Vidros monolíticos	**Fator de Equivalência ε_3**
Float comum	1,00
Impresso	1,10
Aramado	1,30
Temperado	0,77

Fator de equivalência em função do tipo de vidro segundo a NBR 7199.

Para o cálculo da espessura equivalente $\mathbf{e_R}$ aplica-se uma das equações listadas no quadro abaixo, dependendo do tipo de vidro previsto.

Monolítico	$e_R = \frac{e_i}{\varepsilon_3}$	e_i é a espessura nominal, em milímetros ε_3 é o fator de equivalência do vidro monolítico
Laminado	$e_R = \frac{e_i + e_j + ... + e_n}{0{,}9 \times \varepsilon_2 \times \max(\varepsilon_3)}$	$e_i + e_j + ... + e_n$ é a soma das espessuras, em milímetros ε_2 é o fator de equivalência do vidro laminado ε_3 é o fator de equivalência do vidro monolítico $\max(\varepsilon_3)$ é o valor máximo do fator ε_3
Insulado de monolíticos	$e_R = \frac{e_i + e_j}{0{,}9 \times \varepsilon_1 \times \max(\varepsilon_3)}$	$e_i + e_j$ é a soma das espessuras nominais, em milímetros ε_1 é o fator de equivalência do vidro insulado ε_3 é o fator de equivalência do vidro monolítico $\max(\varepsilon_3)$ é o valor máximo do fator ε_3
Insulado de monolítico e laminado	$e_R = \frac{e_i + \frac{e_j + e_K}{0{,}9 \times \varepsilon_2}}{0{,}9 \times \varepsilon_1 \times \max(\varepsilon_3)}$	e_i é a espessura do vidro monolítico, em milímetros $e_j + e_K$ é a soma das espessuras nominais, do vidro laminado, em milímetros ε_2 é o fator de equivalência do vidro laminado ε_1 é o fator de equivalência do vidro insulado ε_3 é o fator de equivalência do vidro monolítico $\max(\varepsilon_3)$ é o valor máximo do fator ε_3
Insulado de vidros laminados	$e_R = \frac{\frac{e_i + e_j}{0{,}9 \times \varepsilon_2} + \frac{e_k + e_l}{0{,}9 \times \varepsilon_2}}{0{,}9 \times \varepsilon_1 \times \max(\varepsilon_3)}$	$e_i + e_j$ é a soma das espessuras nominais do vidro laminado, em milímetros $e_k + e_l$ é a soma das espessuras nominais do vidro laminado, em milímetros ε_2 é o fator de equivalência do vidro laminado ε_1 é o fator de equivalência do vidro insulado ε_3 é o fator de equivalência do vidro monolítico $\max(\varepsilon_3)$ é o valor máximo do fator ε_3

Equações para cálculo da espessura equivalente para verificação da resistência. | Fonte: ABNT NBR 7199.

VERIFICAÇÃO DA FLECHA F

Definida a espessura final do vidro, é necessário verificar ainda a flecha admissível. Na análise de estruturas, flecha significa a deformação máxima de uma barra ou chapa, quando há a aplicação de uma força. A NBR 7199 apresenta a seguinte equação para cálculo da flecha, bem como os critérios admissíveis, representados na tabela abaixo.

$$f = \alpha \times \frac{P}{1{,}5} \times \frac{b^4}{e_F^{\,3}}$$

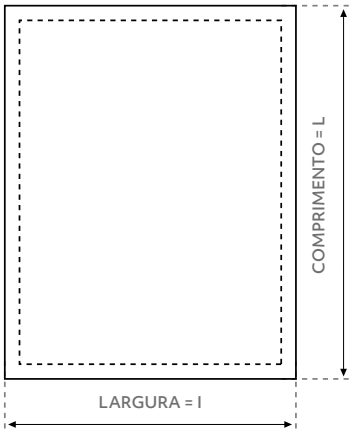
	f é a flecha em milímetros (mm)
	α é coeficiente de deformação (ver tabelas a seguir)
	b é o lado menor em metros (m), no caso de vidro apoiado em 4 lados ou tamanho da borda livre para vidro apoiado em 2 ou 3 lados
	P é a pressão de cálculo, em pascals (Pa)
	e_F é a espessura equivalente, correspondente à soma das espessuras dos vidros monolíticos ou laminados, em milímetros (mm)

Tipo de vidro e instalação	Flecha admissível no centro (mm)
Vidro exterior apoiado no perímetro	1/60 do menor lado, limitado a 30 mm
Vidro monolítico ou laminado com um lado livre	1/100 da borda livre, limitado a 50 mm
Vidro insulado com um lado livre	1/150 da borda livre, limitado a 50 mm
Nota: *Para o caso de aplicações de vidros apoiados em dois lados (não estruturais) a flecha admissível deve ser definida na etapa do projeto e acordado entre as partes*	

Flecha (deformação) admissível segundo a NBR 7199.

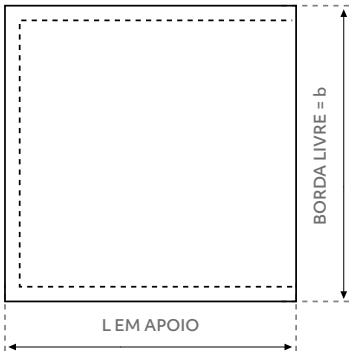
Os coeficientes de deformação são definidos pela NBR 7199 em função das condições de instalação das chapas de vidro, conforme as tabelas reproduzidas a seguir.

Vidro apoiado em 4 lados



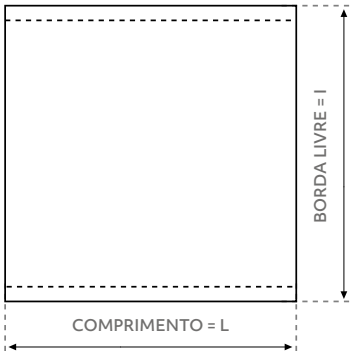
(l / L)	α
1,0	0,6571
0,9	0,8000
0,8	0,9714
0,7	1,1857
0,6	1,4143
0,5	1,6429
0,4	1,8714
0,3	2,1000
0,2	2,1000
0,1	2,1143
< 0,1	2,1143

Vidro com apoio contínuo em 3 lados



(L/b)	Borda α
0,300	0,68571
0,333	0,73143
0,350	0,80000
0,400	0,91429
0,500	1,14286
0,700	1,56286
0,800	1,71000
0,900	1,85714
1,000	2,00000
1,100	2,05714
1,200	2,11429
1,300	2,17143
1,400	2,22857
1,500	2,18571
1,750	2,31429
2,000	2,35714
3,000	2,37143
4,000	2,38571
5,000	2,38571
> 5	2,38571

Vidro apoiado em 2 lados opostos

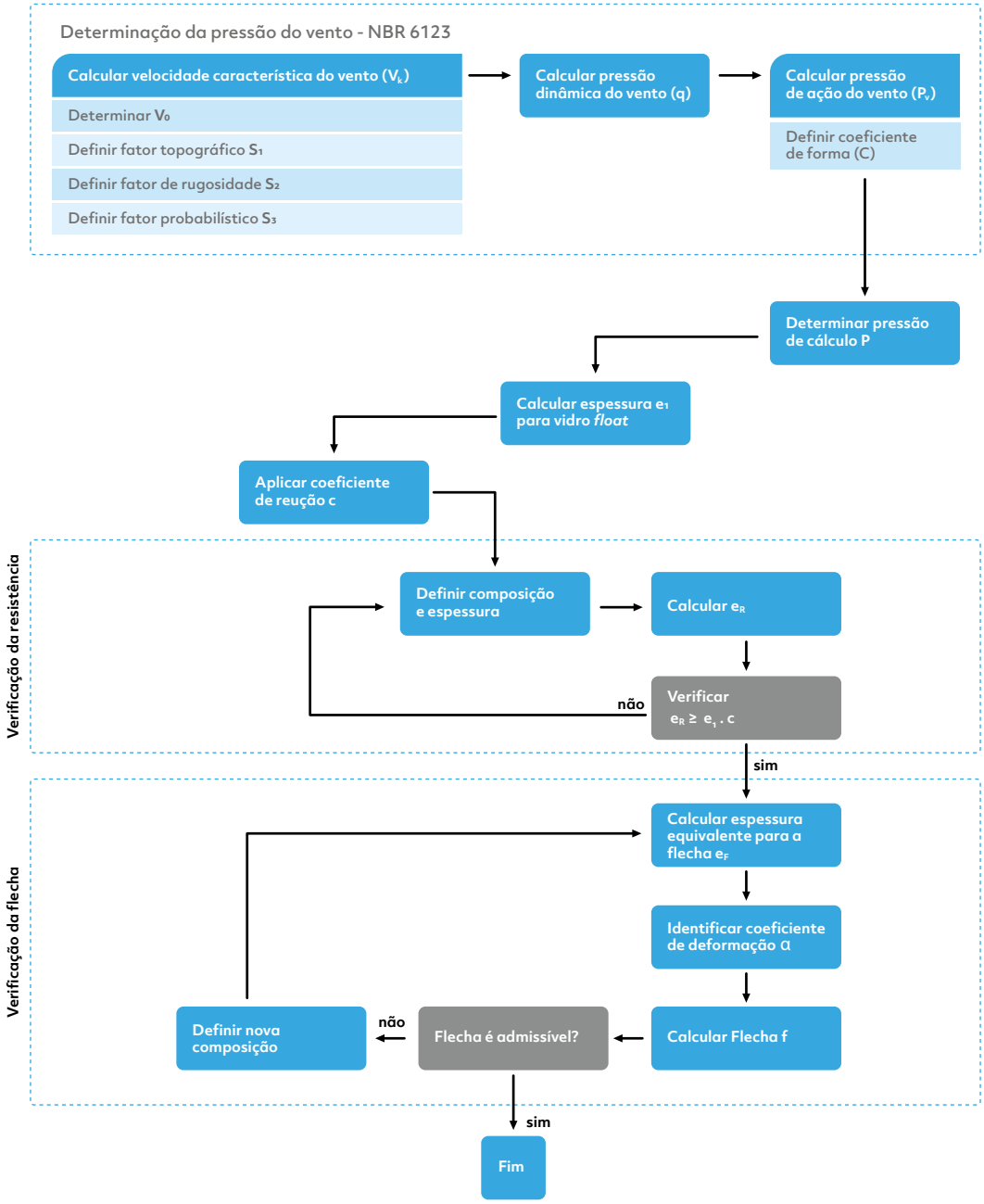


α = 2,1143

Caso o valor calculado para a flecha ultrapasse a deformação admissível pela norma, deve-se ajustar a espessura da chapa de vidro, ou mudar suas dimensões e condições de instalação. Então, deve-se refazer os cálculos para as novas condições, até que os valores de deformação fiquem dentro do permitido.

RESUMO DO PROCEDIMENTO DE CÁLCULO

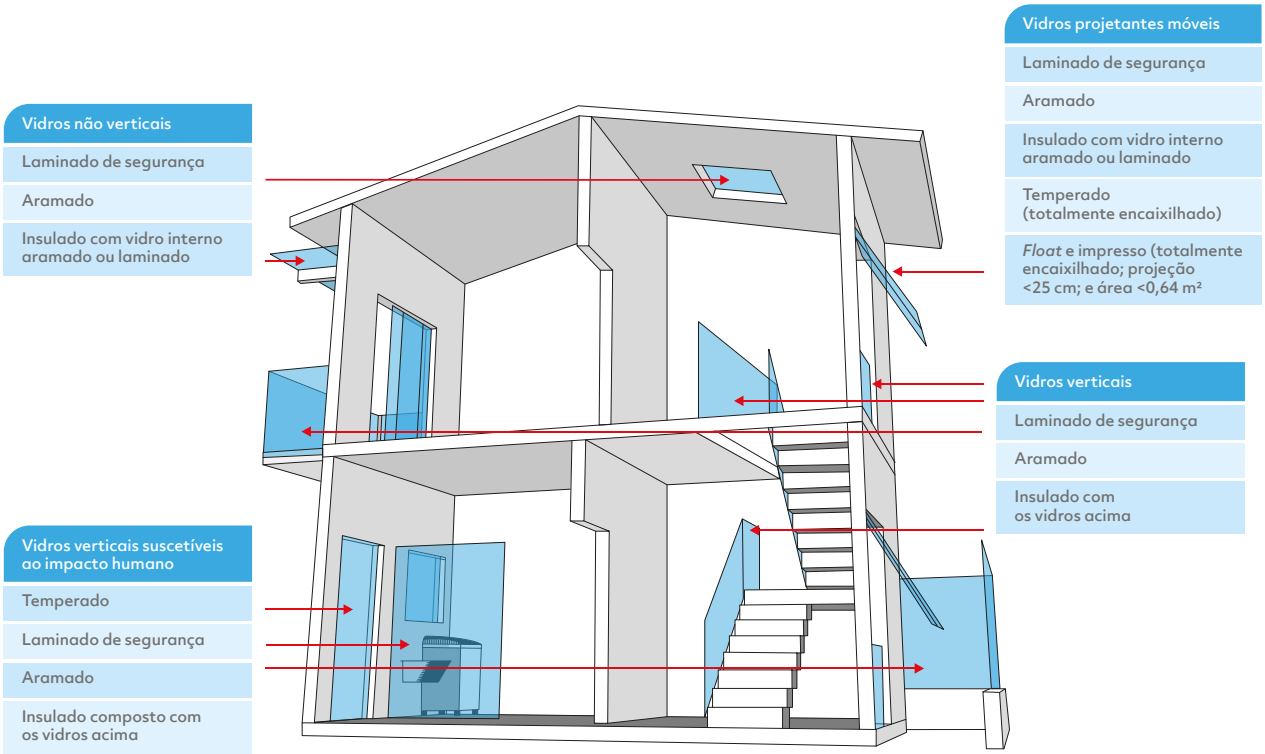
O fluxograma abaixo resume as etapas de cálculo da espessura do vidro, conforme procedimento previsto no projeto de revisão da NBR 7199.



SEGURANÇA: APLICAÇÕES

O vidro *float* comum, na sua composição monolítica, pode ser aplicado em situações onde não há possibilidade de quebra com riscos à integridade física das pessoas. Visando garantir a segurança com o uso de vidros em edificações, o projeto de revisão da NBR 7199 atualizou os critérios gerais de instalação e as aplicações onde são requeridos os vidros de segurança – laminados de segurança, temperados e aramados.

A figura abaixo ilustra essas situações para rápida consulta. O projetista deve estar atento a esses requisitos e informar ao fornecedor de vidros o local onde pretende instalar as chapas solicitadas, que devem estar de acordo com as normas de segurança.



Aplicações onde são exigidos os vidros de segurança segundo a NBR 7199.

CONFORTO AMBIENTAL E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O padrão estético do vidro no projeto arquitetônico tem relação direta com o conforto e a eficiência energética pretendidos. Mas não é necessariamente determinante no nível de desempenho do projeto. Com a diversidade de produtos de controle solar existentes no mercado, é possível alcançar bons padrões de conforto e eficiência e atender aos critérios anteriores: estética e segurança. A área do fechamento transparente, a orientação solar e a localidade do projeto são determinantes nas propriedades térmicas e lumínicas do vidro a ser utilizado, bem como dos elementos de proteção e sombreamento adicionais. Para uma cobertura envidraçada, por exemplo, a radiação solar que atinge todas as regiões do Brasil ao meio-dia do verão certamente irá provocar um aquecimento que merece atenção especial. Mesmo com o uso do melhor vidro de controle solar, elementos de sombreamento são recomendados para diminuir o desconforto localizado e reduzir o consumo de energia em climatização. O quadro a seguir resume as orientações e dicas para definição dos principais parâmetros relacionados às três grandes áreas do conforto ambiental.

CONFORTO TÉRMICO		
Parâmetro	**Orientações**	**Dicas**
Transmitância térmica	Os vidros insulados proporcionam menor transmitância térmica, reduzindo a transferência de calor por condução do ambiente mais quente para o mais frio. Esses sistemas podem ser utilizados em locais onde há grandes diferenças de temperatura entre o ambiente interno e externo ao longo do ano. Com menor transmitância térmica da composição, o vidro insulado atinge temperaturas superficiais internas mais amenas, tanto no frio quanto no calor.	O uso de vidro insulado pode ser uma boa estratégia para reduzir o desconforto por assimetria de radiação e consumo de energia em edifícios com grande área envidraçada nas fachadas e coberturas. Climas extremamente frios, como as regiões Sul e serranas no Brasil, ou extremamente quentes, como o Norte e Nordeste, são locais onde o vidro insulado pode trazer benefícios significativos.
Fator solar	O fator solar é um parâmetro orientativo, pois na prática o ganho de calor solar de um vidro varia ao longo do dia e do ano, conforme o ângulo de incidência da radiação solar e das condições de temperatura a que o vidro está submetido. Mas, em geral, quanto mais baixo o fator solar, menor o ganho de calor do vidro.	Fachadas e coberturas com grandes áreas envidraçadas no Brasil demandam a especificação de vidros com baixo fator solar, inferior a 35%. Porém, deve-se estar atento também às condições de transmissão luminosa e reflexão do vidro, evitando superfícies demasiadamente escuras ou espelhadas, que possam interferir no conforto térmico interno e externo, respectivamente. Diversas especificações de vidro de controle solar conseguem atingir baixo fator solar e diferentes condições de transmissão e reflexão de luz e calor.
Absorção e reflexão energética	A seleção preliminar do tipo de vidro para um fechamento pode iniciar pelo fator solar. Mas as demais propriedades também devem ser levadas em consideração. Uma maior absorção ou reflexão pode resultar em problemas localizados de conforto térmico interno e no entorno da edificação.	Recomenda-se a realização de simulação energética computacional, que utilize todas as propriedades térmicas do vidro já processado, para a análise das condições de conforto e consumo de energia em climatização. Tais propriedades podem ser obtidas por meio de *software* dos fabricantes ou fornecidas pela processadora de vidros.

CONFORTO LUMÍNICO		
Parâmetro	**Orientações**	**Dicas**
Transmissão luminosa	Quanto maior a transmissão luminosa, mais transparente é o vidro e mais luz ele deixa passar de um lado para o outro.	A transmissão luminosa deve ser adequada ao tipo de fechamento, se é vertical ou horizontal, bem como à área total envidraçada, tomando-se o cuidado de evitar o excesso de luz emitido ou transferido por uma superfície. Em grandes áreas envidraçadas no Brasil pode-se optar por vidros com transmissão luminosa inferior a 35%.
Controle de ofuscamento	Em alguns casos, a redução na transmissão luminosa do vidro pode diminuir o potencial de aproveitamento de luz ou afetar a estética do projeto. Elementos de sombreamento, externo ou interno ao vidro, podem ser projetados em conjunto com a fachada para controle de ofuscamento.	A aplicação de serigrafia ao vidro pode ser uma boa solução para controle da transmissão de luz do vidro, com efeito estético agradável e reduzindo o uso de elementos adicionais, tais como persianas e brises. Vidros serigrafados também podem ser utilizados como brises, proporcionando bom controle de luz, com durabilidade e baixo custo de manutenção.

CONFORTO ACÚSTICO		
Parâmetro	**Orientações**	**Dicas**
Índice de redução sonora ponderado (Rw)	O índice de redução sonora ponderado pode ser utilizado como parâmetro inicial de escolha de determinado fechamento de vidro. O valor é determinado em laboratório e apresentado em dB. Quanto mais alto o índice, maior a capacidade de isolamento do vidro.	A escolha do tipo de vidro pelo Rw deve ser apenas indicativa. Cabe uma análise detalhada da característica do ruído e da capacidade de isolamento do vidro por faixa de frequência. Além disso, a estanqueidade da esquadria é determinante no desempenho acústico do fechamento.
Espessura	O nível de isolamento acústico de um fechamento envidraçado é definido prioritariamente pela estanqueidade da esquadria. Em esquadrias bem resolvidas, isentas de frestas, o uso de vidros mais espessos pode contribuir para aumentar o isolamenlto acústico do envidraçamento.	O aumento da espessura da chapa de vidro resulta em maior massa por unidade de área, que em acústica representa maior isolamento. No entanto, de nada adianta aumentar a espessura do vidro se a esquadria não tiver o tratamento adequado, ou seja, isenta de frestas.
Beneficiamento	O vidro laminado proporciona um isolamento acústico adicional à medida que o PVB funciona como amortecedor à transmissão do som através do vidro. Vidros insulados com chapas de diferentes espessuras podem compensar as deficiências na frequência crítica do vidro. A composição de laminados insulados pode resultar em benefícios ainda maiores.	Vidros laminados e insulados podem contribuir para o isolamento acústico em grandes áreas envidraçadas ou em locais onde haja requisitos rigorosos para o controle de ruído, como em centros urbanos adensados ou na proximidade de vias de tráfego intenso.

Orientações gerais para definição dos parâmetros relacionados ao conforto ambiental.

A eficiência energética do projeto está intimamente ligada aos resultados alcançados com o padrão de conforto estabelecido anteriormente.

Se não houver um bom aproveitamento de luz natural, com controle de ofuscamento e boa uniformidade dos níveis de iluminação no ambiente, certamente o sistema de iluminação artificial será solicitado por mais tempo, evitando a economia com energia elétrica. Estratégias de educação e treinamento dos usuários podem ser necessárias para colocar em prática os conceitos de eficiência energética adotados no projeto.

Da mesma forma, do ponto de vista térmico, uma boa solução de fachada, com a especificação de vidro de controle solar adequada à orientação solar e área de abertura, pode diminuir o consumo de energia em climatização. Em ambientes com possibilidade de ventilação natural, o uso do ar-condicionado pode ser minimizado à medida que o ganho de calor pelas aberturas é reduzido com vidros de alto desempenho térmico.

Estudos por simulação computacional permitem analisar, ainda na fase de projeto, a influência de determinados parâmetros nos padrões de conforto e consumo de energia da edificação. Mas o alcance do nível de eficiência pretendido depende sempre da operação adequada dos diversos sistemas do prédio. Por isso, é importante que o projetista elabore também um plano de operação e manutenção das estratégias adotadas.

NORMAS

ATENÇÃO AO PROJETO, COM SEGURANÇA E QUALIDADE

O quadro abaixo lista as principais normas nacionais relacionadas à aplicação do vidro plano na construção civil. Tais normas tratam de critérios relacionados principalmente à segurança, desde a especificação até a instalação do vidro. Uma breve descrição do conteúdo de cada norma é apresentada nos itens seguintes.

ABNT NBR NM 293	Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios à sua aplicação, a definição de vidro de segurança
ABNT NBR NM 294	Vidro *float*
ABNT NBR NM 295	Vidro aramado
ABNT NBR NM 297	Vidro impresso
ABNT NBR NM 298	Classificação do vidro plano quanto ao impacto
ABNT NBR 7199	Vidros na construção civil - Projeto, execução e aplicações
ABNT NBR 7334	Vidros de segurança - Determinação dos afastamentos quando submetidos à verificação dimensional e suas tolerâncias - Método de ensaio
ABNT NBR 10821	Esquadrias externas para edificações
ABNT NBR 12067	Vidro plano - Determinação da resistência à tração na flexão
ABNT NBR 14207	Boxes de banheiro fabricados com vidros de segurança
ABNT NBR 14488	Tampos de vidro para móveis - Requesitos e métodos de ensaio
ABNT NBR 14564	Vidros para sistemas de prateleiras - Requisitos e métodos de ensaio
ABNT NBR 14696	Espelhos de prata
ABNT NBR 14697	Vidro laminado
ABNT NBR 14698	Vidro temperado
ABNT NBR 14718	Guarda-corpos para edificação
ABNT NBR 15198	Espelhos de prata - Beneficiamento e instalação
ABNT NBR 16015	Vidro insulado - Características, requisitos e métodos de ensaio
ABNT NBR 16023	Vidros revestimentos para controle solar - Requisitos, classificação e métodos de ensaio

Normas nacionais relacionadas à aplicação do vidro plano na construção civil.

ABNT NBR NM 293 - TERMINOLOGIA DE VIDROS PLANOS E DOS COMPONENTES ACESSÓRIOS A SUA APLICAÇÃO: Estabelece os termos aplicáveis a produtos de vidro plano em chapas e acessórios usados na construção civil. Para facilitar seu entendimento, esta norma foi dividida em subgrupos. Na seção definições gerais se estabelecem os termos relacionados às aplicações do vidro plano e suas particularidades. Na seção de ferragens e seus complementos se estabelecem os termos mais utilizados para os acessórios para a aplicação dos vidros planos. A seção do vidro estabelece os termos relacionados diretamente ao vidro, e a última seção define os defeitos do vidro plano.

ABNT NBR NM 294 – VIDRO *FLOAT*: Esta norma tem o objetivo de estabelecer as dimensões e os requisitos de qualidade em relação aos defeitos ópticos e de aspecto do vidro *float* incolor e colorido. Também estabelece a composição química e principais características físicas e mecânicas. Ela se aplica unicamente ao vidro plano fornecido em tamanho grande ou nos tamanhos previamente cortados. Como norma auxiliar cita a ABNT NBR NM 293.

ABNT NBR NM 295 – VIDRO ARAMADO: Esta norma especifica as dimensões e os requisitos mínimos de qualidade em relação aos defeitos ópticos, de aspectos e do arame metálico do vidro aramado. Ela se aplica unicamente ao vidro aramado em tamanho padrão de fabricação. Possui como norma auxiliar a ABNT NBR NM 293 - Terminologia de vidros planos e dos componentes acessórios à sua aplicação.

ABNT NBR NM 297 – VIDRO IMPRESSO: Esta norma estabelece as dimensões e os requisitos de qualidade em relação aos defeitos de aspecto do vidro plano impresso, quando em tamanho padrão de fabricação. Também estabelece a sua composição química e principais características físicas e mecânicas. Possui como principal referência normativa a ABNT NBR NM 293.

ABNT NBR NM 298 – CLASSIFICAÇÃO DO VIDRO PLANO QUANTO AO IMPACTO: Classifica os produtos de vidro plano e estabelece os requisitos e os métodos de ensaio para a sua classificação como vidro de segurança. Possui como referência normativa a ABNT NBR NM 293. Esta norma define, por meio de ensaios, os requisitos mínimos exigíveis para os vidros de segurança laminado, aramado e temperado.

ABNT NBR 7199 - VIDROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL - PROJETO, EXECUÇÃO E APLICAÇÕES: Esta norma fixa as condições que devem ser obedecidas no projeto de envidraçamento em construção civil. Ela classifica o vidro nas seguintes categorias: quanto ao tipo, transparência, acabamento das superfícies, coloração e colocação, dando diretrizes para execução e detalhamento dos componentes envidraçados. Trata também das condições nas quais o vidro deve ser armazenado e manipulado, visando sua preservação. Possui como normas auxiliares a NBR 7210 e a NBR 6123 (Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento).

ABNT NBR 7334 – VIDROS DE SEGURANÇA - DETERMINAÇÃO DOS AFASTAMENTOS QUANDO SUBMETIDOS À VERIFICAÇÃO DIMENSIONAL E SUAS TOLERÂNCIAS - MÉTODO DE ENSAIO: Prescreve o método para determinação da forma de verificação das dimensões das peças de vidros de segurança. Possui como norma auxiliar a NBR 9491 - Vidros de segurança para veículos rodoviários - Requisitos.

ABNT NBR 10821 – ESQUADRIAS EXTERNAS PARA EDIFICAÇÕES: Esta norma está dividida em três partes: terminologia, requisitos e classificação e métodos de ensaio. A parte 1 define os termos empregados na classificação de esquadrias externas utilizadas em edificações e na nomenclatura de suas partes. A parte 2, Requisitos e classificação, especifica os requisitos exigíveis de desempenho de esquadrias externas para edificações, independentemente do material. A terceira parte especifica os métodos de ensaio para a avaliação de desempenho e classificação de esquadrias externas para edificações, independentemente do tipo de material.

Esta norma visa assegurar ao consumidor o recebimento dos produtos com condições mínimas exigíveis de desempenho. Não se aplica a divisórias e fechamentos internos. Entre as principais normas auxiliares estão: NBR 7199, NBR 6123 e NBR 9050.

ABNT NBR 12067 - VIDRO PLANO DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO: Especifica um método para a determinação da resistência à tração na flexão dos vidros planos. Adicionalmente, apresenta o procedimento para a medição de flexão máxima oriunda do carregamento, a ser determinado sempre que houver interesse.

ABNT NBR 14207 - BOXES DE BANHEIRO FABRICADOS COM VIDROS DE SEGURANÇA: Esta norma especifica os requisitos mínimos, em termos de segurança, para os materiais utilizados no projeto e na instalação de boxes de banheiro fabricados a partir de painéis de vidro de segurança para uso em apartamentos, casas, hotéis e outras residências. Cita como normas auxiliares: NBR 14697, NBR 14698, NBR 8094, NBR NM293 e NBR NM 298.

ABNT NBR 14488 - TAMPOS DE VIDRO PARA MÓVEIS - REQUISITOS E MÉTODOS DE ENSAIO: Esta norma especifica as exigências de desempenho necessárias para garantir a segurança da aplicação de vidro, utilizado na composição de mesas, aparadores e similares. Cita como normas auxiliares: NBR13966, NBR 14697, NBR 14698, NBR NM 293, NBR NM 294 e NBR NM 297.

ABNT NBR 14564 - VIDROS PARA SISTEMAS DE PRATELEIRAS - REQUISITOS E MÉTODOS DE ENSAIO: Especifica as exigências de desempenho e medidas lineares necessárias para garantir a segurança da aplicação de vidro plano utilizado na composição de sistemas de prateleiras. Possui como referências normativas: NBR 13821 e NBR 14355; e a norma britânica BS 7449 (*Inclusion of glass in the construction of furniture, other than tables or trolleys, including cabinets, shelving systems and wall hung or free standing mirrors*).

ABNT NBR 14696 - ESPELHOS DE PRATA: Especifica os requisitos gerais, métodos de ensaio para garantir a durabilidade e a qualidade dos espelhos de prata manufaturados. Possui como referências normativas: NBR 8094, NBR 8095, NBR 8824, NBR 11003, NBR 14355, NBR 15198, NBR NM 293 e NBR NM 294; e internacional: ASTM D3363 (*Standard test method for film hardness by pencil test*).

ABNT NBR 14697- VIDRO LAMINADO: Esta norma especifica os requisitos gerais, métodos de ensaio e cuidados necessários para garantir a segurança e a durabilidade do vidro laminado em suas aplicações na construção civil e na indústria moveleira, bem como a metodologia de classificação deste produto como vidro de segurança. Cita como norma auxiliar a ISO 9060 (*Solar energy - Specification and classification of instruments for measuring hemispherical solar and direct solar radiation*).

ABNT NBR 14698 - VIDRO TEMPERADO: Esta norma especifica os requisitos gerais, métodos de ensaio e cuidados necessários para garantir a segurança, a durabilidade e a qualidade do vidro temperado plano em suas aplicações na construção civil, na indústria moveleira e nos eletrodomésticos da linha branca. Também fornece a metodologia de classificação deste produto como vidro de segurança.

ABNT NBR 14718 - ESQUADRIAS - GUARDA-CORPOS PARA EDIFICAÇÃO - REQUISITOS, PROCEDIMENTOS E MÉTODOS DE ENSAIO: Esta norma especifica os requisitos e métodos de ensaio para guarda-corpos para edificação, externos ou internos, para uso privativo ou coletivo, instalados em edificações habitacionais, comerciais, industriais, esportivas, culturais, religiosas, turísticas, educacionais, de saúde e de terminais de passageiros.

ABNT NBR 15198 - ESPELHOS DE PRATA - BENEFICIAMENTO E INSTALAÇÃO: Especifica os requisitos mínimos para beneficiamento e instalação dos espelhos de prata, de maneira a garantir a durabilidade e a segurança do produto. Cita como referências normativas as normas: NBR 14696, NBR 7199 e NBR NM 293.

ABNT NBR 16015 - VIDRO INSULADO - CARACTERÍSTICAS, REQUISITOS E MÉTODOS DE ENSAIO: Estabelece as características, requisitos e métodos de ensaio do vidro insulado plano utilizado na construção civil e unidades de condicionamento térmico e acústico. Possui como referência normativa as seguintes normas: NBR 7199, NBR 13866, NBR 14697, NBR 14698, NBR 15737, NBR NM 293 e NBR NM 294.

ABNT NBR 16023 – VIDROS REVESTIDOS PARA CONTROLE SOLAR – REQUISITOS, CLASSIFICAÇÃO E MÉTODOS DE ENSAIO: Estabelece as características e propriedades e especifica os requisitos gerais e métodos de ensaio, para garantir a qualidade e o desempenho dos vidros revestidos para controle solar. Possui como referências normativas as seguintes normas nacionais: NBR 8094, NBR 8095, NBR 8824, NBR NM 293, NBRNM294; e internacionais: CIEN15.2 (*Colorimetry*), UNE-EM410 (*Vidrio para la edificación – Determinación de las características luminosas y solares de los a cristalamientos*), UNE-EM 673 (*Vidrio em la construcción – Determinación del coeficiente de transmisión térmica* (Valor U) – Método de cálculo), UNE-EM 12898 (*Vidrio para la edificación – Determinación de la emisividad*).

GLOSSÁRIO

ASSIMETRIA DE RADIAÇÃO: Ocorre numa edificação ou cômodo, quando uma de suas superfícies está numa temperatura muito diferente das demais. Isso é muito comum em galpões, onde o telhado, geralmente sem forro, atinge temperaturas muito elevadas em relação às paredes e ao piso. Essa assimetria na temperatura das superfícies causa o desconforto térmico das pessoas que ocupam a edificação, devido a diferença sentida no ganho de calor por radiação entre um lado e outro do corpo humano, ou entre a cabeça e os pés. Em ambientes com muita área envidraçada (janelas ou coberturas), essa condição pode ocorrer em situações onde o vidro está muito quente ou muito frio.

AUTOPORTANTES (FACHADAS, ESTRUTURAS): São estruturas executadas com vidros temperados e laminados sem o uso de caixilhos, ou seja, os vidros atuam como elementos estruturais cumprindo as funções das vigas e pilares, existindo apenas elementos de fixação entre as peças. No Brasil, é muito comum a execução de um tipo de estrutura chamado "spider glass", onde o desenho dos elementos metálicos de fixação das chapas de vidros lembra uma "aranha".

BENEFICIAMENTO (DE VIDROS): Trata-se do processamento do vidro *float*, que resulta na obtenção de vidros temperados, laminados, insulados, curvos, serigrafados, pintados, acidados etc.

BRISE: É um elemento de proteção solar externo à janela, podendo ser fixo ou móvel. Em algumas regiões do Brasil é chamado também de quebra-sol ou para-sol.

COATING: É o revestimento metálico aplicado ao vidro e que proporciona a capacidade de controle solar, podendo resultar em vidros com baixo fator solar e alta transmissão luminosa. O *coating* pode ser aplicado ao vidro *float* no final da fabricação, mas com o vidro ainda quente, no processo chamado *hard-coating* (também chamado de processo pirolítico, por ser a quente); ou após a fabricação do vidro, no processo *soft-coating*.

CONDUÇÃO (DE CALOR): É o fenômeno de transferência de calor que ocorre num material sólido, quando há a diferença de temperatura entre duas de suas superfícies.

CONDUTIVIDADE TÉRMICA: É a capacidade de condução de calor de um material, medida em W/m.K (watt por metro Kelvin), ou seja, representa quantos watts de calor atravessam 1 metro de espessura de um material quando este está submetido a uma diferença de 1 K, ou 1 °C.

CONVECÇÃO: É o fenômeno de transferência de calor que ocorre entre um material líquido ou gasoso, quando há o contato dele com material sólido mais frio (perda de calor) ou mais quente (ganho de calor).

EMISSIVIDADE: É a capacidade de um material em emitir calor por radiação, quando ele está numa temperatura mais alta do que as superfícies ao seu redor. É uma propriedade medida em laboratório. A maioria dos materiais de construção possui emissividade da ordem de 0,90. O vidro comum possui emissividade igual a 0,84. Vidros de controle solar com *coating* de baixa emissividade podem chegar a valores 0,01. Isso significa que o material tem baixa capacidade de emitir calor por radiação.

ENVOLTÓRIA: Corresponde ao conjunto de componentes construtivos que compõem o fechamento externo de uma edificação, ou seja, paredes, janelas, portas, cobertura e piso.

ESPECTRO DA RADIAÇÃO SOLAR: É a representação da radiação solar em função das faixas de comprimento de ondas que a compõem.

ESTIRADO (VIDRO): É o processo de fabricação do vidro no qual a massa vítrea é puxada entre dois cilindros.

EVA: É a sigla para *Ethylene Vinyl Acetate* (em inglês), ou etileno acetato de vinila. Material sintético que pode ser utilizado como camada intermediária na fabricação de vidros laminados.

FACE (DO VIDRO): Nome dado a cada superfície do vidro, e que recebe uma numeração crescente sempre iniciando pelo ambiente externo. Dessa forma, um vidro monolítico tem a face 1 voltada para o exterior e a face 2 voltada para o interior de uma edificação. Essa nomenclatura foi convencionada para possibilitar a especificação da superfície do vidro que deverá ter um revestimento metálico (*coating*), por exemplo. Um vidro laminado com dois vidros monolíticos possui 4 faces. Um vidro insulado com dois laminados possui 8 faces, e assim por diante.

FATOR SOLAR: Coeficiente que representa o quanto de calor atravessa um vidro quando exposto à radiação solar. É medido em laboratório.

FATOR U: Ver Transmitância Térmica.

LOW-E: Abreviação para *low emissivity* (em inglês), ou baixa emissividade. Corresponde aos vidros de controle solar que possuem o *coating* com baixa emissividade, geralmente inferior a 0,20 (ver Emissividade).

MONOLÍTICO (VIDRO): É o vidro composto de uma única chapa, que não é laminado ou insulado.

OFUSCAMENTO: É o desconforto visual causado por grande diferença de contraste no campo de visão das pessoas. Pode ocorrer de forma direta, quando uma pessoa trabalha de frente para uma janela, por exemplo, e durante o dia a janela fica muito mais clara do que o seu entorno. E pode ocorrer de forma indireta, quando, por exemplo, a pessoa está trabalhando de costas para uma abertura e o reflexo desta na tela do computador atrapalha o desempenho da atividade visual.

PAF: Sigla para Percentual de Abertura da Fachada. Representa a parte da fachada que permite a passagem de luz para o ambiente interno. Mesmo num prédio revestido de vidro, dificilmente a fachada terá 100% de PAF, pois sempre existem elementos opacos por trás do vidro, necessários para a construção da envoltória, tais como pilares, vigas, lajes e peitoris.

POSIÇÃO (DO VIDRO): Nome dado a cada superfície do vidro. É o sinônimo para face do vidro (ver Face).

PRATELEIRA DE LUZ: Elemento construtivo utilizado principalmente na porção superior de janelas verticais com o objetivo de refletir a luz para o interior do ambiente. Assemelha-se a uma prateleira, mas deve ter o seu desenho e revestimento adequadamente projetados para não obstruir a captação e reflexão da luz e não pode servir como depósito de materiais.

PVB: Sigla para Polivinil Butiral. Material plástico que pode ser utilizado como camada intermediária na fabricação de vidros laminados.

RECOZIMENTO (VIDRO RECOZIDO): Etapa ao final do processo de fabricação do vidro *float* que consiste no resfriamento gradual das chapas de vidro. Para não haver a quebra do vidro *float*, ele não pode ser resfriado rapidamente e por isso passa por esse processo de reaquecimento controlado.

SELETIVIDADE (DO VIDRO DE CONTROLE SOLAR): Corresponde à capacidade do vidro de controlar a passagem de luz e calor. O Índice de Seletividade é a razão entre Transmissão Luminosa e Fator Solar.

SERIGRAFIA: Processo de pintura do vidro realizado a quente, garantindo um acabamento final de alta durabilidade. Possui limitações na resolução da imagem a ser gravada no vidro. Por isso, geralmente a serigrafia é utilizada para gravação de formas geométricas (listras, círculos, quadrados) com o intuito de controlar a transmissão de luz e calor. Muito utilizado para evitar o ofuscamento em grandes áreas envidraçadas.

SPANDREL GLASS: É o vidro utilizado para cobrir elementos construtivos em uma fachada ou cobertura, ou seja, é um vidro utilizado como material de revestimento.

TÊMPERA (PROCESSO): Processo controlado no qual o vidro (depois de fabricado) é submetido a altas temperaturas e resfriado na sequência, resultando em grande resistência mecânica.

TRANSMISSÃO ENERGÉTICA: Capacidade do vidro em permitir a passagem de calor da radiação solar.

TRANSMISSÃO LUMINOSA: Capacidade do vidro em permitir a passagem de luz da radiação solar.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA: Também denominada *U-value*, em inglês, ou Fator U, em português. Representa o quanto de calor atravessa um metro quadrado de um componente construtivo qualquer, quando submetido a uma diferença de temperatura. Sua medida é dada em $W/m^2.K$ (watt por metro quadrado Kelvin), ou seja, indica quantos watts de calor atravessam 1 m^2 do componente quando este está submetido a uma diferença de 1 K, ou 1 °C.

USINAGEM: Processo de alteração do vidro, quando este recebe cortes e furos para a futura colocação de suportes e fixadores. No caso de vidro temperado, a usinagem deve ocorrer antes da têmpera, pois o corte posterior pode levar à quebra do vidro. Também devem ser tomados os cuidados com espaçamentos mínimos entre os furos ou entre os furos e as extremidades do vidro, para evitar a quebra, mesmo após a têmpera.

VISION GLASS: É a denominação dada para o vidro utilizado nas fachadas ou janelas na altura da visão dos ocupantes internos da edificação, ou seja, é a parcela da fachada através da qual as pessoas têm contato visual com o exterior.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AGC FLAT GLASS EUROPE. *All About Glass*. Bruxelas: AGC, [2008], 439 p.

ANDREIS, Cínthia; BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando S. Desempenho energético de fachadas envidraçadas em climas brasileiros. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 15., Maceió, 2014. Anais... Maceió: ANTAC, 2014, p. 926 - 935.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDRO PLANO. *Vidro de A a Z*. Disponível em: <http://abravidro.org.br/fique-por-dentro/vidro-de-a-a-z/>. Acesso em: 15 mar. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7199: *Vidros na construção civil - projeto, execução e aplicações*. Rio de Janeiro, 2016. 57 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 16023: *Vidros revestidos para controle solar – requisitos, classificação e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro, 2011. 25 p.

BESEN, Priscila; WESTPHAL, Fernando S. Uso de vidro duplo e vidro laminado no Brasil: avaliação do desempenho energético e conforto térmico por meio de simulação computacional. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 14 Juiz de Fora, 2012. Anais... Juiz de Fora: ANTAC, 2012. p. 2820- 2826.

BISTAFA, Sylvio, R. Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. São Paulo: Blucher, 2011, 2ª ed., 378 p.p.

CEBRACE. *Cebrace 40 anos*.São Paulo: Êxito, 2014. 126 p.

G. JAMES GROUP. *G. James is Glass:* Handbook. Australia: G. James Group, [20--?], 106 p.

GUARDIAN. *Manual Técnico:* Build With Light. [S.l.]: Guardian Industries Corp., 2010, 36 p.

KNAACK, Ulrich; AUER, Thomas; KLEIN, Tillmann; BILOW, Marcel. *Façades:* Principles of Construction. Berlin: Birkhäuser, 2007. 135 p.

LBNL – Lawrence Berkeley National Laboratory. Window 7.2. Berkeley, 2015.

PILKINGTON. *Global Glass Handbook 2012:* Architectural Products. UK: NSG Group, 2012, 226 p.

SAINT-GOBAIN GLASS. *Glass Guide*. [S.l.]: SGG, 2006. 536 p.

SAINT-GOBAIN GLASS. *Manual do Vidro*. França: SGG, 2010. 536 p.

SCHITTICH, Christian; STAIB, Gerald; BALKOW, Dieter; SCHULER, Matthias; SOBEK, Werner. *Glass Construction Manual*. Berlin: Birkhäuser, 1999. 328 p.

VIRACON. *Product Guide 2013*. Owatonna, MN, USA: Viracon, 2013. 144 p.

WESTPHAL, Fernando Simon. *Referencial Técnico:* Vidro e Eficiência Energética em Edificações. São Paulo: ABIVIDRO, 2010. 34 p.

APÊNDICE

LISTA DE PROPRIEDADES TÉRMICAS E LUMINOSAS DE VIDROS PLANOS

Lista de propriedades térmicas e luminosas: Vidros que podem ser usados em composição monolítica, laminada e insulada

Fabricante	Processo	Produto	Espessura (mm)	TE	REe	REi	TL	RLe	RLi	Ɛe	Ɛi	FS	U-W/m².K	IS
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 14	4	0.14	0.33	0.38	0.15	0.38	0.35	0.89	0.49	0.24	4.80	0.63
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 14	6	0.13	0.32	0.38	0.15	0.37	0.35	0.89	0.49	0.24	4.70	0.63
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 14	8	0.13	0.30	0.38	0.15	0.37	0.35	0.89	0.49	0.24	4.70	0.63
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 20	4	0.17	0.28	0.35	0.19	0.32	0.33	0.89	0.55	0.28	4.90	0.68
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 20	6	0.17	0.26	0.35	0.18	0.31	0.33	0.89	0.55	0.28	4.90	0.64
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 20	8	0.16	0.25	0.35	0.18	0.31	0.33	0.89	0.55	0.28	4.80	0.64
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 32	4	0.29	0.18	0.25	0.30	0.22	0.23	0.89	0.65	0.40	5.20	0.75
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 32	6	0.28	0.17	0.25	0.30	0.21	0.23	0.89	0.65	0.39	5.10	0.77
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW CLEAR 32	8	0.27	0.17	0.25	0.30	0.21	0,23	0.89	0.65	0.39	5.10	0.77
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 14	4	0.09	0.19	0.38	0.13	0.30	0.35	0.89	0.49	0.23	4.80	0.57
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 14	6	0.07	0.15	0.38	0.12	0.27	0.35	0.89	0.49	0.22	4.70	0.55
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 14	8	0.06	0.13	0.38	0.11	0.23	0,35	0.89	0.49	0.22	4.70	0.50
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 20	4	0.11	0.16	0.35	0.16	0.26	0.33	0.89	0.55	0.26	4.90	0.62
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 20	6	0.09	0.13	0.35	0.15	0.23	0.33	0.89	0.55	0.25	4.90	0.60
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 20	8	0.08	0.11	0.35	0.14	0.20	0,33	0.89	0.55	0.24	4.80	0.58
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 32	4	0.19	0.11	0.24	0.27	0.18	0.23	0.89	0.65	0.33	5.20	0.82
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 32	6	0.15	0.10	0.24	0.25	0.16	0.23	0.89	0.65	0.31	5.10	0.81
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 32	8	0.13	0.09	0.24	0.23	0.14	0.23	0.89	0.65	0.29	5.10	0.79
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 32	4	0.19	0.11	0.24	0.27	0.18	0.23	0.89	0.65	0.33	5.20	0.82
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 32	6	0.15	0.10	0.24	0.25	0.16	0.23	0.89	0.65	0.31	5.10	0.81
AGC	Monolítico	SUNLUX SHADOW VERDE 32	8	0.13	0.09	0.24	0.23	0.14	0.23	0.89	0.65	0.29	5.10	0.79
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW CLEAR 14	4+4	0.12	0.27	0.38	0.15	0.36	0.35	0.89	0.49	0.24	4.60	0.63
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW CLEAR 20	4+4	0.15	0.23	0.35	0.18	0.31	0.33	0.89	0.55	0.27	4.80	0.67
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW CLEAR 32	4+4	0.25	0.15	0.24	0.30	0.21	0.23	0.89	0.65	0.37	5.00	0.81
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW VERDE 14	4+4	0.08	0.16	0.38	0.13	0.29	0.35	0.89	0.49	0.23	4.60	0.57
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW VERDE 20	4+4	0.10	0.14	0.35	0.16	0.25	0.33	0.89	0.55	0.25	4.80	0.64
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW VERDE 32	4+4	0.17	0.1	0.24	0.26	0.17	0.23	0.89	0.65	0.32	5.00	0.81
AGC	Laminado com incolor	SUNERGY CLEAR	4+4	0.49	0.08	0.10	0.67	0.09	0.10	0.89	0.28	0.56	4.00	1.20
AGC	Laminado com incolor	STOPSOL CLASSIC CLEAR	4+4	0.41	0.19	0.28	0.37	0.26	0.34	0.89	0.89	0.51	5.60	0.73
AGC	Laminado com incolor	STOPRAY LAMISMART 24	4+4	0.14	0.42	0.33	0.24	0.35	0.28	0.89	0.89	0.25	5.60	0.96
AGC	Mono	SUNLUX SHADOW AZUL	4	0.20	0.20	0.33	0.23	0.22	0.28	0.89	0.53	0.32	4.87	0.72
AGC	Mono	SUNLUX SHADOW AZUL	6	0.20	0.19	0.33	0.23	0.21	0.28	0.89	0.53	0.32	4.82	0.72
AGC	Mono	SUNLUX SHADOW AZUL	8	0.19	0.18	0.33	0.23	0.21	0.28	0.89	0.53	0.32	4.78	0.72
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW AZUL	4+4	0.18	0.16	0.33	0.23	0.21	0.28	0.89	0.53	0.31	4.74	0.73
AGC	Mono	SUNLUX SHADOW 60	4	0.55	0.12	0.16	0.57	0.14	0.17	0.89	0.82	0.63	5.60	0.91
AGC	Mono	SUNLUX SHADOW 60	6	0.54	0.11	0.16	0.57	0.14	0.17	0.89	0.82	0.62	5.53	0.92
AGC	Mono	SUNLUX SHADOW 60	8	0.52	0.11	0.16	0.56	0.14	0.17	0.89	0.82	0.61	5.47	0.93
AGC	Laminado com incolor	SUNLUX SHADOW 60	4+4	0.48	0.10	0.16	0.56	0.14	0.17	0.89	0.82	0.57	5.42	0.97
CEBRACE	Monolítico	INCOLOR	6	0.79	0.07	0.07	0.88	0.08	0.08	0.89	0.89	0.82	5.69	1.07
CEBRACE	Monolítico	VERDE	6	0.48	0.06	0.06	0.76	0.07	0.07	0.89	0.89	0.59	5.69	1.29
CEBRACE	Monolítico	EMERALD	6	0.34	0.05	0.05	0.64	0.06	0.06	0.89	0.89	0.48	5.87	1.34
CEBRACE	Monolítico	BRONZE	6	0.44	0.05	0.05	0.48	0.05	0.05	0.89	0.89	0.56	5.69	0.86
CEBRACE	Monolítico	EXTRA CLEAR	6	0.59	0.08	0.08	0.91	0.08	0.33	0.89	0.89	0.89	5.69	1.02
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE ST 108	6	0.06	0.36	0.45	0.08	0.43	0.38	0.89	0.13	0.14	3.60	0.55
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE ST 114	6	0.11	0.26	0.46	0.13	0.30	0.44	0.89	0.45	0.23	4.60	0.54
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE ST 120	6	0.16	0.25	0.32	0.20	0.31	0.59	0.89	0.67	0.29	5.16	0.69
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE ST 420	6	0.10	0.14	0.32	0.17	0.24	0.27	0.89	0.67	0.26	5.16	0.64

Lista de propriedades térmicas e luminosas: Vidros que podem ser usados em composição monolítica, laminada e insulada

Fabricante	Processo	Produto	Espessura (mm)	TE	REe	REi	TL	RLe	RLi	Ɛe	Ɛi	FS	U-W/m².K	IS
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE ST 436	6	0.19	0.11	0.21	0.31	0.17	0.18	0.89	0.80	0.35	5.47	0.89
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE ST 158	6	0.51	0.14	0.16	0.58	0.18	0.19	0.89	0.87	0.59	5.64	0.97
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE ST 166	6	0.62	0.21	0.25	0.66	0.29	0.31	0.89	0.89	0.66	5.69	1.00
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE STR 428	6	0.17	0.19	0.42	0.20	0.36	0.51	0.89	0.89	0.32	5.69	0.62
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE STB 120	6	0.18	0.18	0.36	0.22	0.21	0.29	0.89	0.70	0.31	5.23	0.69
CEBRACE	Monolítico	COOL LITE STB 136	6	0.30	0.14	0.26	0.36	0.17	0.17	0.89	0.77	0.42	5.40	0.84
CEBRACE	Monolítico	REFLECTA INCOLOR	6	0.42	0.30	0.39	0.34	0.45	0.52	0.89	0.89	0.48	5.69	0.70
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 108 + INCOLOR	4+4	0.07	0.40	0.34	0.08	0.43	0.32	0.89	0.90	0.19	5.56	0.43
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 114 + INCOLOR	4+4	0.12	0.30	0.29	0.15	0.34	0.33	0.89	0.89	0.26	5.56	0.57
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 120 + INCOLOR	4+4	0.15	0.25	0.20	0.21	0.30	0.21	0.89	0.89	0.29	5.56	0.71
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 420 + INCOLOR	4+4	0.11	0.16	0.20	0.19	0.25	0.21	0.89	0.89	0.28	5.56	0.66
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 136 + INCOLOR	4+4	0.30	0.17	0.10	0.38	0.20	0.13	0.89	0.89	0.42	5.56	0.91
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 436 + INCOLOR	4+4	0.22	0.11	0.11	0.34	0.17	0.12	0.89	0.89	0.37	5.56	0.91
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 158 + INCOLOR	4+4	0.49	0.12	0.10	0.62	0.14	0.12	0.89	0.89	0.58	5.56	1.05
CEBRACE	Laminado	COOL LITE ST 166 + INCOLOR	4+4	0.62	0.14	0.15	0.75	0.20	0.20	0.89	0.89	0.68	5.56	1.11
CEBRACE	Laminado	COOL LITE STR 428 + INCOLOR	4+4	0.24	0.21	0.27	0.26	0.04	0.38	0.89	0.89	0.37	5.56	0.70
CEBRACE	Laminado	COOL LITE STB 120 + INCOLOR	4+4	0.16	0.18	0.22	0.21	0.21	0.25	0.89	0.89	0.32	5.56	0.67
CEBRACE	Laminado	COOL LITE STB 136 + INCOLOR	4+4	0.28	0.15	0.02	0.36	0.16	0.16	0.89	0.89	0.42	5.56	0.86
CEBRACE	Laminado	REFLECTA INCOLOR + INCOLOR	4+4	0.41	0.30	0.28	0.38	0.44	0.43	0.89	0.89	0.48	5.56	0.79
CEBRACE	Laminado	COOL LITE BRN 130 + INCOLOR	4+4	0.19	0.22	0.18	0.31	0.18	0.13	0.89	0.89	0.33	5.56	0.93
CEBRACE	Laminado	COOL LITE BRN 148 + INCOLOR	4+4	0.32	0.14	0.14	0.48	0.12	0.12	0.89	0.89	0.45	5.56	1.06
CEBRACE	Laminado	COOL LITE BRS 131 + INCOLOR	4+4	0.21	0.27	0.13	0.32	0.31	0.09	0.89	0.89	0.33	5.56	0.96
CEBRACE	Laminado	COOL LITE BRB 127 + INCOLOR	4+4	0.16	0.17	0.12	0.27	0.20	0.09	0.89	0.89	0.32	5.56	0.84
CEBRACE	Laminado	COOL LITE BRZ 130 + INCOLOR	4+4	0.20	0.24	0.12	0.30	0.17	0.10	0.89	0.89	0.33	5.56	0.88
CEBRACE	Laminado	COOL LITE KNT 140 + INCOLOR	4+4	0.22	0.28	0.23	0.34	0.23	0.18	0.89	0.89	0.34	5.56	1.00
CEBRACE	Laminado	COOL LITE KNT 440 + INCOLOR	4+4	0.17	0.15	0.22	0.30	0.20	0.18	0.89	0.89	0.33	5.56	0.93
CEBRACE	Laminado	COOL LITE KNT 155 + INCOLOR	4+4	0.32	0.19	0.18	0.47	0.14	0.12	0.89	0.89	0.43	5.56	1.09
CEBRACE	Laminado	COOL LITE KNT 455 + INCOLOR	4+4	0.23	0.12	0.15	0.41	0.14	0.11	0.89	0.89	0.39	5.56	1.07
CEBRACE	Laminado	COOL LITE KNT 164 + INCOLOR	4+4	0.41	0.17	0.13	0.58	0.12	0.08	0.89	0.89	0.51	5.56	1.15
CEBRACE	Laminado	COOL LITE KBT 140 + INCOLOR	4+4	0.22	0.24	0.26	0.32	0.24	0.26	0.89	0.89	0.35	5.56	0.91
CEBRACE	Laminado	COOL LITE KS 133 + INCOLOR	4+4	0.21	0.34	0.24	0.33	0.33	0.16	0.89	0.89	0.42	5.56	1.02
CEBRACE	Laminado	COOL LITE SKN 154 + INCOLOR	4+4	0.24	0.38	0.39	0.48	0.22	0.25	0.89	0.89	0.33	5.56	1.46
CEBRACE	Laminado	COOL LITE SKN 154 + VERDE	4+4	0.20	0.38	0.19	0.44	0.22	0.21	0.89	0.89	0.30	5.56	1.46
CEBRACE	Laminado	COOL LITE SKN 154 + EMERALD	4+4	0.17	0.38	0.12	0.39	0.22	0.18	0.89	0.89	0.27	5.56	1.42
CEBRACE	Laminado	COOL LITE SKN 165 + INCOLOR	4+4	0.29	0.33	0.36	0.56	0.20	0.21	0.89	0.89	0.38	5.56	1.48
CEBRACE	Laminado	COOL LITE SKN 165 + VERDE	4+4	0.23	0.33	0.17	0.52	0.21	0.19	0.89	0.89	0.33	5.56	1.55
CEBRACE	Monolítico*	COOL LITE KNT 140	6	0.26	0.22	0.26	0.41	0.21	0.05	0.89	0.89	0.10	3.48	1.22
CEBRACE	Monolítico*	COOL LITE KNT 440	6	0.18	0.11	0.26	0.35	0.17	0.05	0.89	0.89	0.10	3.48	1.25
CEBRACE	Monolítico*	COOL LITE KNT 155	6	0.36	0.17	0.02	0.52	0.15	0.03	0.89	0.89	0.14	3.64	1.21
CEBRACE	Monolítico*	COOL LITE KNT 455	6	0.02	0.09	0.03	0.45	0.12	0.03	0.89	0.89	0.14	3.64	1.32
CEBRACE	Monolítico*	COOL LITE KNT 164	6	0.46	0.13	0.16	0.63	0.11	0.02	0.89	0.89	0.14	3.62	1.21
CEBRACE	Monolítico*	COOL LITE KBT 140	6	0.27	0.20	0.28	0.40	0.22	0.11	0.89	0.11	0.35	3.51	1.14
CEBRACE	Monolítico*	COOL LITE SKN 154 II	6	0.26	0.29	0.54	0.54	0.15	0.22	0.89	0.01	0.32	3.13	1.70
GUARDIAN	Monolítico	CHROME ON CLEAR	6	0.31	0.24	0.17	0.35	0.31	0.10	0.88	0.69	0.40	5.20	0.87
GUARDIAN	Monolítico	LB52 ON CLEAR	6	0.48	0.13	0.17	0.52	0.17	0.17	0.88	0.83	0.57	5.50	0.90
GUARDIAN	Monolítico	N14 ON CLEAR	6	0.12	0.29	0.43	0.14	0.32	0.40	0.88	0.32	0.22	4.20	0.62
GUARDIAN	Monolítico	NEUTRAL ON CLEAR	6	0.37	0.23	0.14	0.43	0.30	0.07	0.88	0.73	0.46	5.30	0.93
GUARDIAN	Monolítico	RB20 ON CLEAR	6	0.18	0.21	0.37	0.21	0.22	0.32	0.88	0.54	0.30	4.80	0.71
GUARDIAN	Monolítico	REFLECT GUARDIAN ON CLEAR	6	0.37	0.35	0.44	0.25	0.33	0.26	0.88	0.89	0.43	5.70	0.57
GUARDIAN	Monolítico	SILVER 20 ON CLEAR	6	0.16	0.29	0.32	0.19	0.33	0.26	0.88	0.37	0.26	4.40	0.74
GUARDIAN	Monolítico	SILVER 32 ON CLEAR	6	0.29	0.20	0.24	0.32	0.24	0.22	0.88	0.70	0.40	5.20	0.80
GUARDIAN	Monolítico	SUNLIGHT ON CLEAR	6	0.63	0.11	0.13	0.66	0.13	0.14	0.88	0.87	0.69	5.60	0.96

Lista de propriedades térmicas e luminosas: Vidros que podem ser usados em composição monolítica, laminada e insulada

Fabricante	Processo	Produto	Espessura (mm)	TE	REe	REi	TL	RLe	RLi	Ɛe	Ɛi	FS	U-W/m².K	IS
GUARDIAN	Laminado	CHROME ON CLEAR	4+4	0.29	0.23	0.12	0.34	0.27	0.11	0.88	0.88	0.40	5.60	0.86
GUARDIAN	Laminado	LB52 ON CLEAR	4+4	0.48	0.12	0.09	0.56	0.14	0.10	0.88	0.88	0.57	5.60	0.97
GUARDIAN	Laminado	N14 ON CLEAR	4+4	0.13	0.32	0.28	0.16	0.34	0.31	0.88	0.88	0.26	5.60	0.61
GUARDIAN	Laminado	NEUTRAL ON CLEAR	4+4	0.34	0.20	0.10	0.42	0.24	0.09	0.88	0.88	0.45	5.60	0.92
GUARDIAN	Laminado	RB20 ON CLEAR	4+4	0.18	0.23	0.27	0.22	0.23	0.29	0.88	0.88	0.32	5.60	0.68
GUARDIAN	Laminado	REFLECT GUARDIAN ON CLEAR	4+4	0.40	0.31	0.29	0.31	0.41	0.41	0.88	0.88	0.47	5.60	0.67
GUARDIAN	Laminado	SILVER 20 ON CLEAR	4+4	0.15	0.31	0.24	0.19	0.32	0.35	0.88	0.88	0.28	5.60	0.68
GUARDIAN	Laminado	SILVER 32 ON CLEAR	4+4	0.27	0.20	0.15	0.33	0.23	0.17	0.88	0.88	0.40	5.60	0.83
GUARDIAN	Laminado	SUNLIGHT ON CLEAR	4+4	0.60	0.10	0.08	0.69	0.11	0.09	0.88	0.88	0.67	5.60	1.03
GUARDIAN	Laminado	AG43 ON CLEAR	4+4	0.26	0.36	0.27	0.39	0.31	0.19	0.88	0.88	0.35	5.60	1.12
GUARDIAN	Laminado	NEUTRAL 40 ON CLEAR	4+4	0.27	0.26	0.20	0.38	0.22	0.15	0.88	0.88	0.38	5.60	1.00
GUARDIAN	Laminado	NP50 ON CLEAR	4+4	0.31	0.34	0.28	0.47	0.25	0.19	0.88	0.88	0.39	5.60	1.20
GUARDIAN	Laminado	RB40 ON CLEAR	4+4	0.26	0.29	0.26	0.35	0.29	0.24	0.88	0.88	0.37	5.60	0.95
GUARDIAN	Monolítico*	AG43 ON CLEAR	6	0.31	0.33	0.30	0.46	0.28	0.07	0.88	0.06	0.36	3.30	1.27
GUARDIAN	Monolítico*	NEUTRAL 40 ON CLEAR	6	0.31	0.23	0.23	0.43	0.21	0.05	0.88	0.12	0.38	3.60	1.14
GUARDIAN	Monolítico*	NP50 ON CLEAR	6	0.37	0.30	0.31	0.54	0.23	0.08	0.88	0.05	0.41	3.30	1.31
GUARDIAN	Monolítico*	RB40 ON CLEAR	6	0.31	0.25	0.29	0.42	0.24	0.12	0.88	0.09	0.37	3.40	1.13

*Os vidros monolíticos indicados por asterisco não podem ser usados com o coating exposto, devendo ser obrigatoriamente laminados ou insulados, com a face 2 voltada ao PVB ou à câmara de ar.

TE	Transmissão Energética (ou Solar)
REe	Reflexão Energética externa
REi	Reflexão Energética interna
TL	Transmissão Luminosa
RLe	Reflexão Luminosa externa
RLi	Reflexão Luminosa interna
Ɛe	Emissividade externa
Ɛi	Emissividade interna
FS	Fator solar
U-W/m².K	Transmissão térmica
IS	Índice de Seletividade (calculado automaticamente na tabela: TL/FS)

Abividro
Associação Brasileira das Indústrias de Vidro

ABIVIDRO - 2020

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE VIDRO

PRESIDENTE - LEOPOLDO GARCES CASTIELA
SUPERINTENDENTE - LUCIEN BELMONTE

COORDENAÇÃO GERAL
LUIZ JORGE PINHEIRO

ORGANIZADOR
FERNANDO SIMON WESTPHAL

PROJETO GRÁFICO, EDITORAÇÃO E MÍDIA DIGITAL
IRIS WORLDWIDE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)
Manual do vidro plano / organizador Fernando Simon Westphal. -
- São Paulo : Abividro, 2016. Bibliografia
ISBN 978-85-5778-000-2
1. Vidro plano - Indústria 2. Vidro plano - Indústria
- História 3. Vidro plano - Manual I. Westphal, Fernando Simon.
16-08521 CDD-666.109
Índices para catálogo sistemático:
1. Vidro plano : Indústria : História 666.109