

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Fábio Carlos Pinheiro

RA: 002200300553 – 10º Semestre

**EVOLUÇÃO DO USO DO VIDRO COMO MATERIAL DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Itatiba

2007

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

Fábio Carlos Pinheiro

RA: 002200300553 – 10º Semestre

**EVOLUÇÃO DO USO DO VIDRO COMO MATERIAL DE
CONSTRUÇÃO CIVIL**

Monografia apresentada à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia Civil da Universidade São Francisco, sob orientação do Profº Dr. Alberto Luiz Francato, como exigência parcial para conclusão do curso de graduação.

Itatiba

2007

**Dedico esse trabalho a toda minha família, em
especial à minha esposa, meu pai e minhas filhas.**

AGRADECIMENTOS

Ao concluir esse trabalho, meus agradecimentos são dirigidos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para concretização desse sonho.

Em especial ao Profº Dr. Alberto Luiz Francato, por me orientar nesse trabalho, ao Profº Adão Marques, pelas recomendações e sugestões, e aos demais professores, pela dedicação em transmitir todo conhecimento necessário à minha formação acadêmica.

À minha família, pela compreensão nos momentos em que tive que me ausentar da presença deles e me dedicar aos estudos, sobretudo à minha esposa Vanessa, meu pai Gregório e minhas filhas Isabella e Yasmin.

Aos meus amigos e companheiros de curso João Paulo, Ednéa Gava, Adriana Cintra, Edson Gilmar e Daniela Alves, pelos ótimos momentos que passamos juntos ao longo desses cinco anos.

"A mente que se abre a uma nova idéia jamais voltará ao seu tamanho original"

Albert Einstein

RESUMO

O presente trabalho visa realizar pesquisas sobre a evolução do uso do vidro como material de construção civil, desde o seu descobrimento até os dias atuais, buscando demonstrar as principais tecnologias utilizadas, tanto na fabricação como no beneficiamento, especificação e instalação. Esse trabalho de pesquisa inicia-se na apresentação da história do vidro, relatando como teria sido o seu surgimento, quais povos se destacaram na sua fabricação e de que forma se iniciou a produção de vidro no Brasil. Em seguida, é apresentada a composição química do vidro e suas propriedades físicas. Também é realizado um estudo sobre os principais tipos de vidros utilizados na construção civil, o vidro float e o vidro estirado, sendo demonstrado o processo de fabricação de ambos. Os principais tipos de beneficiamento de vidros também foi objeto de pesquisa, sendo descritas as características dos vidros laminados, temperados, duplos, entre outros. Além disso, são abordados conceitos sobre o uso do vidro na construção civil, buscando demonstrar os fatores fundamentais na especificação dos vidros, bem como as principais tecnologias empregadas na instalação e os requisitos estabelecidos pelas normas brasileiras vigentes. Ao final, são apresentados dados estatísticos sobre o desempenho da indústria do vidro nos últimos anos, relativos ao faturamento anual, capacidade de produção, investimento, geração de empregos, entre outros. Desta forma, foi possível apresentar um breve histórico sobre o vidro e sua utilização na construção civil.

Palavras-chave: VIDROS, CONSTRUÇÃO CIVIL, ESPECIFICAÇÃO

ABSTRACT

This work aims to perform searches on the evolution of the use of glass as a material for civil building, since its discovery until today, seeking demonstrate the key technologies used, both in manufacturing and in the processing, specification and installation. This work is the search begins with the presentation of the history of glass, as was reporting its beginnings, what people are highlighted in their production and how it was began the production of glass in Brazil. Then, it shows the chemical composition of the glass and its physical properties. It is also carrying out a study on the main types of glass used in construction, the glass and float glass, and are shown the process of manufacture of both. The main types of processing of glass was also subject to search, and described the characteristics of the glass laminate, temperate, doubles, among others. Also, concepts are discussed on the use of glass in the building, searching demonstrate the fundamental factors in the specification of the glass, and the main technology used in the installation and the requirements set by Brazilian standards in force. In the end, are presented statistics on the performance of the glass industry in recent years, for the annual billing, production capacity, investment, creation of jobs, among others. This way, it was possible to present a brief history about glass and its use in the civil building.

Key words: GLASS, CONSTRUCTION, SPECIFICATION

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS	xi
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo.....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 A História do Vidro	14
2.2 Definição.....	17
2.3 Propriedades Físicas	18
2.3.1 Propriedades Mecânicas	18
2.3.2 Dilatação Linear.....	18
2.4 Tipos de vidros utilizados na construção civil.....	19
2.5 Fabricação de Vidros Float.....	19
2.5.1 Forno de Fusão	20
2.5.2 Banho (float)	20
2.5.3 Galeria de Recozimento	20
2.5.4 Inspeção Automática	21
2.5.5 Lavagem, Recorte e Armazenamento	21
2.6 Fabricação de Vidros Estirados.....	21
2.7 Beneficiamento de Vidros.....	22
2.7.1 Vidro Laminado.....	22
2.7.2 Vidro Temperado	24
2.7.3 Vidro Serigrafado.....	24
2.7.4 Vidro Curvo.....	25
2.7.5 Vidro Acidado	25
2.7.6 Vidro Jateado.....	25
2.7.7 Vidro Espelhado ou Espelho	25
2.7.8 Vidro Duplo ou Insulado	25
2.7.8.1 Processo de equalização de Vidros Insulados	27
2.7.9 Vidros Especiais	28
3 USO DO VIDRO NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	30
3.1 Aplicações	30
3.2 Especificações.....	30

3.2.1 Transmissão Luminosa.....	30
3.2.2 Radiação Solar	31
3.2.3 Controle Térmico	33
3.2.4 Controle Acústico.....	35
3.2.5 Estética / Decoração.....	38
3.2.6 Segurança	38
3.2.7 Cálculo da Espessura.....	39
3.3 Recomendações.....	45
3.4 Instalação de Vidros Comuns / Laminados e Insulados.....	46
3.4.1 Caixilhos	46
3.4.1.1 Rebaixo aberto.....	47
3.4.1.2 Rebaixo fechado.....	47
3.4.1.3 Calços	48
3.4.2 Vidro Exterior Colado - VEC (Glazing)	50
3.5 Instalação de Vidros Temperados	51
3.5.1 Caixilhos	52
3.5.2 Autoportante	52
3.5.3 Vidro Exterior Articulado - VEA ou Spider Glass	55
3.6 Desempenho da Indústria do Vidro	57
4 CONCLUSÃO.....	61
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Componentes Químicos do Vidro	17
FIGURA 2 – Produção de vidros float.....	20
FIGURA 3 – Vidro armazenado em cores.....	21
FIGURA 4 – Esquema de Montagem do Vidro Laminado com PVB	23
FIGURA 5 – Esquema montagem vidro duplo	26
FIGURA 6 – Deformação em vidro duplo (côncavo)	27
FIGURA 7 – Equalização de vidro duplo	28
FIGURA 8 – Esquema de Incidência de Luz sobre o Vidro.....	31
FIGURA 9 – Esquema de Incidência de Energia Solar sobre o Vidro.....	32
FIGURA 10 – Esquema de Incidência de Luz sobre o Vidro.....	33
FIGURA 11 – Modos de Propagação de Calor	34
FIGURA 12 – Isolamento de Vidros Comuns	36
FIGURA 13 – Mapa com a Velocidade do Vento no Brasil, dividido por regiões.	40
FIGURA 14 – Critério para determinação do coeficiente de forma C	42
FIGURA 15 – Rebaixo aberto	47
FIGURA 16 – Rebaixo fechado	48
FIGURA 17 – Posicionamento dos calços.....	50
FIGURA 18 – Instalação em VEC.....	51
FIGURA 19 – Foto de fachada com instalação em VEC.....	51
FIGURA 20 – Recomendações para Projetos de Vidros Temperados Autoportantes ..	54
FIGURA 21 – Disposição das Ferragens	54
FIGURA 22 – Detalhe do furo no vidro para instalação em VEA.....	55
FIGURA 23 – Absorção dos esforços	56
FIGURA 24 – Tipos de fixações.....	56
FIGURA 25 – Modelos de suporte	57
FIGURA 26 – Comparativo entre os Seguintes do Setor Vidreiro	59

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Coeficientes de Dilatação Linear	18
TABELA 2 – Tipos de Vidros	19
TABELA 3 – Valores de Coeficiente U	35
TABELA 4 – Alguns Vidros e seus Respective Índices de Redução Acústica R_w	37
TABELA 5 – Valores do coeficiente de forma C	42
TABELA 6 – Tipo de Vidro x Coeficientes de Correção	44
TABELA 7 – Dimensões máximas de chapa de vidro comum	45
TABELA 8 – Dimensões dos calços	49
TABELA 9 – Desempenho Global do Setor Vidreiro em 2006	58
TABELA 10 – Histórico de Faturamento do Setor Vidreiro (milhões R\$).....	58
TABELA 11 – Histórico de Empregos no Setor Vidreiro (mil)	59
TABELA 12 – Perfil do Seguimento de Vidros Planos	60

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

E = Módulo de Elasticidade

V_k = Velocidade característica do vento, em m/s.

V₀ = Velocidade básica do vento, em m/s

ABREVIATURAS

Abividro = Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro

a.C. = Antes de Cristo

PE = Pernambuco

EUA = Estados Unidos da América

NBR = Norma Brasileira Regulamentada

PVB = Polivinil Butiral

UV = Ultravioleta

μm = Micron

dB = Decibéis

Hz = Hertz

W = Watts

P_v = Pressão devida ao vento, em Pa;

p_p = Peso próprio por unidade de área, em Pa;

PVC = Policloreto de vinila

VEC = Vidro Exterior Colado

VEA = Vidro Exterior Articulado

1 INTRODUÇÃO

Considerado um material nobre por excelência, o vidro teve sua origem a cerca de 4.000 a.C. Povos da Mesopotâmia, Egito, Síria, Grécia entre outros, utilizavam o vidro na fabricação de amuletos, adornos, jarros, vasos, etc, mas foi por volta de 100 a.C que os romanos inventaram o vidro plano e começaram a utilizá-lo em janelas.

O interesse do homem pelo uso do vidro na construção civil se deu graças a sua capacidade de proporcionar transparência, sinônimo de luz aos ambientes da edificação, que pode ser explorada de forma plena ou discreta.

No início, a utilização do vidro tinha por objetivo apenas deixar passar a luz e proteger contra intempéries. Devido ao grande avanço tecnológico alcançado nos últimos anos, o vidro passou a desempenhar um papel fundamental nas construções modernas, combinando sua característica principal de transparência com outras propriedades, tais como: controle acústico, controle térmico, proteção contra riscos de ferimentos, barreira contra raios ultravioleta, proteção contra disparos de armas de fogo, proteção contra incêndios e, até mesmo, decoração de interiores.

Diante de tantos atributos diferentes, existe o desafio de especificar a melhor solução para cada tipo de obra e, para isso, são necessárias as seguintes definições:

Tipo de aplicação: Em que local o vidro será aplicado. Exemplo de aplicações: fachadas, guarda-corpos, vitrine, divisórias, coberturas, etc.

Tipo de vidro: Dependendo do local onde o vidro será instalado deve existir um ou mais tipos de vidro recomendado. Nesta etapa, deve-se levar em consideração todas as características de controle acústico, controle térmico, segurança, entre outros, necessárias à obra. Exemplo de tipos de vidros: comum, laminado, temperado, duplo, etc.

Dados do local: Para um correto dimensionamento é importante conhecer a velocidade do vento na região, o tipo de topografia, a rugosidade do terreno, a altura de instalação e os coeficientes de pressão.

Instalação: Devem ser verificados os detalhes da instalação, tais como: tipo de fixação, quantos lados da chapa de vidro ficaram apoiados, equipamentos necessários, etc.

Os profissionais da construção civil ainda desconhecem ou não possuem muitas informações sobre vidros. Sendo assim, com o estudo apresentado pretende-se contribuir para o conhecimento das características dos vidros, demonstrando o processo de fabricação dos principais vidros utilizados na construção civil e os fatores a serem considerados durante a especificação e dimensionamento.

Será demonstrado também os tipos de instalações mais empregados e alguns cuidados a serem observados durante a instalação dos vidros, de modo que o leitor possa se situar quanto ao estado da arte no campo de aplicação de vidros na construção civil.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo fazer um levantamento bibliográfico sobre a utilização do vidro como material para construção civil.

Inicialmente, serão apresentados dados sobre o surgimento do vidro e sua evolução tecnológica até os dias atuais, em seguida, serão citados os principais tipos de beneficiamento e os métodos de instalação mais empregados atualmente. Assim, pretende-se organizar informações em um trabalho acadêmico sobre este material, não deixando apenas para o setor tecnológico e comercial.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A História do Vidro

Segundo a Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro - Abividro, não se sabe ao certo o período e o povo que descobriu o vidro. Sabe-se, no entanto, que egípcios, sírios, fenícios, assírios, babilônios, gregos e romanos, já realizavam trabalhos com o vidro. Devido a isto não é possível atribuir a descoberta do vidro a um único povo e a uma única época. No entanto, o historiador romano Pliny atribui aos fenícios a descoberta acidental do vidro. A origem teria sido casual: ao preparar uma fogueira numa praia nas costas da Síria para aquecer suas refeições, improvisaram fogões usando blocos de salitre e soda. Passado algum tempo, notaram que do fogo escorria uma substância brilhante que se solidificava imediatamente. Estaria então descoberto o vidro.

Os povos da Mesopotâmia e os egípcios já conheciam as técnicas rudimentares de sua fabricação, em 2700 a.C., pois em escavações arqueológicas nas proximidades de Bagdá fora encontrado um cilindro de vidro azul, datado daquele período. No Egito, o mais remoto exemplo de vidro é um fragmento também azul escuro, uma espécie de amuleto, onde está escrito o nome de Antef II, faraó da 11ª Dinastia (2133 - 1991 a.C.).

A Abividro afirma que a arte do vidro floresceu no Egito no século 1500 a.C. Os artistas a serviço dos faraós da 18ª Dinastia conheciam a fórmula de uma pasta de vidro maleável, com a qual faziam contas de vidro e adornos pessoais. Algumas destas peças foram encontradas em perfeito estado de conservação, no sarcófago de Tutancamon¹. Os egípcios, primeiros a utilizar o vidro na fabricação de embalagens (vasilhas abertas como jarros e tigelas), também produziam recipientes para cosméticos, bálsamo e frascos para perfumes. Entre estes o mais comum era o alabastro, primeiro na forma de tubo, depois em moldes curvos, com duas pequenas alças, no estilo de ânfora grega. No alabastro guardava-se o col, tintura para escurecer as pálpebras e realçar o brilho dos olhos, utilizado por homens e mulheres da antiguidade em todo o Oriente.

Na Mesopotâmia, onde foram encontrados vidros com 4 mil anos de existência, a produção de melhor qualidade aparece no século VIII a.C., com peças assírias. Um vaso foi encontrado na urna funerária do rei Sargon II, que reinou na Assíria entre 701-705 a.C. Nas tabuinhas de Assurbanípal (668-626 a.C.) descobertas em Nínive, há referências às

¹ Tutancamon foi um faraó do Antigo Egito que faleceu ainda na adolescência. Era provavelmente filho e genro de Akhenaton (o faraó que instituiu o culto de Aton, o deus Sol) e filho de Nefertiti. Casou-se aos 10 anos com Ankhsenpaaton que, mais tarde, trocava o seu nome para Ankhsenamun. Assumiu o trono quando tinha cerca de nove anos, restaurando os antigos cultos aos deuses e os privilégios do clero (principalmente o do deus Amon de Tebas) e morreu, aos dezenove anos, sem herdeiros.

fórmulas de fabricação de vidro, em código só recentemente decifrado. Na Grécia dos tempos micênicos, foram encontrados vasos de vidro manufaturados com técnicas egípcias.

Ainda segundo a Abividro, no Egito, na Mesopotâmia, Síria ou Grécia, a produção de vidro na antigüidade exigia grandes esforços dos artistas e operários, na sua maioria escravos. Os elementos básicos de sua composição: sílica, cálcio, cal, barrilha e potássio, eram basicamente os mesmos de hoje, mas produziam vidro opaco e arenoso. Os fornos pequenos, o vasilhame de barro, a dificuldade para conseguir altas temperaturas e atingir o grau de fusão necessário dificultavam as tarefas. Com a técnica de fole aplicada ao forno, introduzida no Egito, conseguiu-se aumentar o calor e assim tornar a massa vítrea mais maleável, mas o vidro até o séc. VI a.C. era produzido em escala reduzida para uso e adorno exclusivo dos nobres.

A descoberta da técnica do sopro (fabricação de vidro oco: garrafas, potes, copos, bulbos, etc.) na Síria e em Alexandria, quando Roma já estendia seu domínio sobre o Oriente Médio, marca um grande momento na história do vidro. Por volta do ano 100 a.C. os romanos iniciaram a produção de vidro por sopro dentro de moldes prensados, aumentando em muito a possibilidade de fabricação em série das manufaturas (vasilhas simples e objetos requintados de arte). Eles foram os primeiros a inventar e usar o vidro para janelas.

Durante o Império Romano, houve um grande desenvolvimento dessa atividade, com apogeu no século XIII, em Veneza. A presença de fornos naquela cidade era causa de constantes incêndios, assim um decreto de 1291 concentrou as fábricas na ilha de Murano (entre o mar Adriático e encostas Alpinas na Itália). Este decreto, além de isolar os fornos, possibilitava uma rígida vigilância para evitar que os segredos da arte do vidro saíssem dessa região.

De acordo com a Abividro, a França já fabricava o vidro desde a época dos romanos. Com a iniciativa de Colbert (ministro das finanças de Luís XIV), incrementaram-se as atividades comerciais e foi criado o privilégio para várias empresas privadas, aumentando impostos sobre produtos importados. Em 1665, concedeu à Manufacture Royale des Glaces o privilégio para a fabricação do vidro escoado, dando origem a Saint-Gobain. Esta empresa contou com incentivos protecionistas a seu favor, como os pesados impostos sobre os cristais provenientes de Veneza. A Saint-Gobain introduziu em 1700 na sua fábrica um processo de laminação de vidro plano desenvolvido por Louis Lucas Nehon. Este processo consiste em correr um rolo sobre o vidro despejado sobre uma mesa. Este sistema permitia a produção de grandes placas de vidro. O cristal escoado ou vidro plano foi o produto que por três séculos caracterizou a Saint-Gobain.

Em 1952, o Sr. Pilkington, dono de uma das fábricas de vidro, na Inglaterra, iniciou as pesquisas sobre como fabricar vidro que apresentasse um melhor equilíbrio entre suas faces, quando passou pela pia da cozinha e vislumbrou que a água e o óleo não se

misturavam, mantendo cada um suas características próprias. Assim, em 1959, a empresa Pilkington desenvolveu um processo revolucionário para fabricação de vidro plano, o float-glass. Este processo consistiu no vidro fundido flutuar de forma contínua num banho de estanho, que assegura perfeita planicidade à face do vidro em contato com o metal. Pelo efeito do seu próprio peso e do calor, a face superior se torna perfeitamente plana, polida e com espessura uniforme. Com a tecnologia patenteada pela empresa (única empresa com estrutura familiar entre as quatro líderes mundiais), a mesma não monopolizou seu acesso, mas acabou por licenciar sua utilização a um elevado custo. A Pilkington tornou-se a maior produtora de float-glass do mundo.

Segundo a Abividro, a história da indústria do vidro no Brasil iniciou-se com as invasões holandesas (1624/35), em Olinda e Recife (PE), onde a primeira oficina de vidro foi montada por quatro artesões que acompanharam o príncipe Maurício de Nassau. A oficina fabricava vidros para janelas, copos e frascos. Com a saída dos holandeses a fábrica fechou.

O vidro voltou a entrar no mapa econômico do país a partir de 1810, quando em 12 de janeiro daquele ano, o português Francisco Ignácio da Siqueira Nobre recebeu carta régia autorizando a instalação de uma indústria de vidro no Brasil. A fábrica instalada na Bahia produzia vidros lisos, de cristal branco, frascos, garrafões e garrafas. Ela entrou em operação em 1812. Em 1825 fechou em função das grandes dificuldades financeiras, burocráticas, trabalhistas e, a concorrência de produtos estrangeiros e a ira dos portugueses.

Em 1895, foi fundada em São Paulo a Vidraria Santa Marina, hoje um dos grandes grupos industriais do país. Em 1900, a fábrica já produzia 20 mil garrafas de vidro verde por dia. Em 1903, a Santa Marina transformou-se em sociedade anônima e cinco anos mais tarde produzia um milhão de garrafas mensalmente, 2 m² de vidro para vidraça em 24 horas e empregava 650 operários. Alta produtividade para uma fábrica que só em 1921 instalaria máquinas automáticas com capacidade diária de 460 mil garrafas.

O empreendedor Nadir Figueiredo passou de importador a produtor de vidro em 1935, ao adquirir duas fábricas em São Paulo e mais tarde, com a montagem de uma terceira. Atento aos progressos da tecnologia na área do vidro, após a Segunda Guerra Mundial, foi aos EUA estudar novos processos de produção, que adotou em sua nova fábrica, inteiramente automática. Nesta fábrica consegue produzir 72 mil copos por dia, o que representou um notável avanço para indústria brasileira da época.

Da Grã-Bretanha, veio o grupo Pilkington, que em 1978 adquiriu a Providro, fábrica de vidro laminado e a Blindex, que opera no mercado de vidros para veículos automotores.

2.2 Definição

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas principais qualidades são a transparência e a dureza.

O vidro distingue-se de outros materiais por várias características: não é poroso nem absorvente e é ótimo isolador (dielétrico). Possui baixo índice de dilatação e condutividade térmica, suporta pressões de 5.800 a 10.800 kg/cm². Os principais componentes químicos do vidro estão ilustrados na Figura 1.

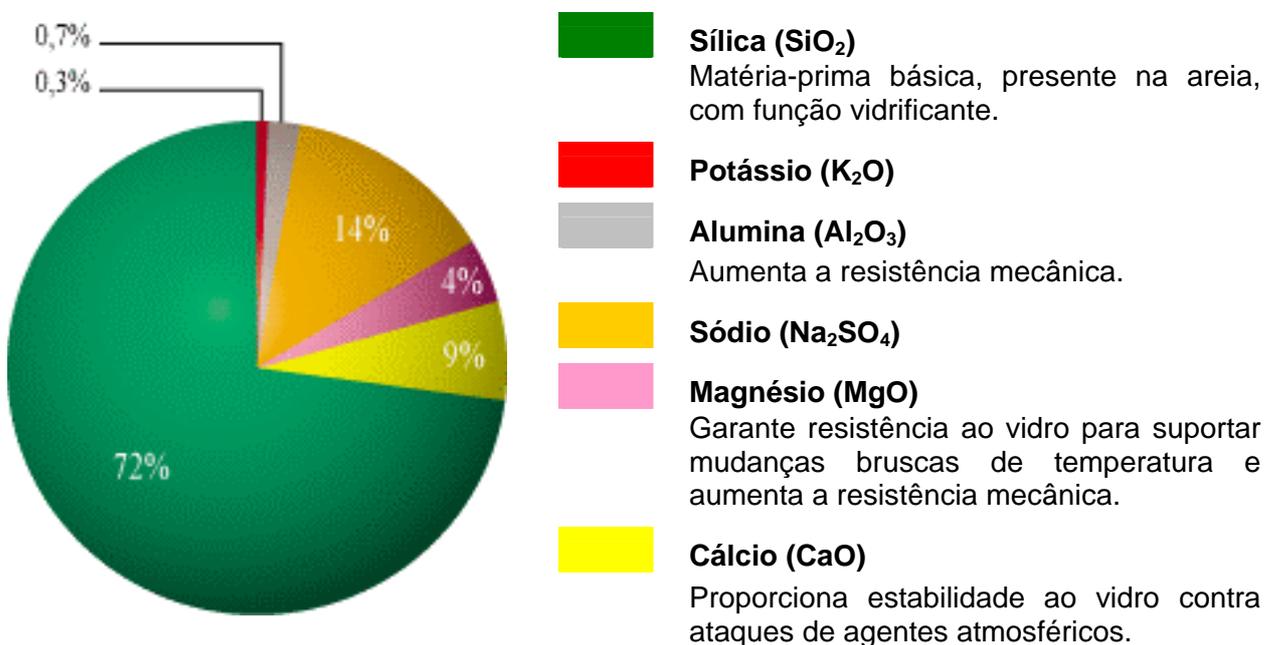


FIGURA 1 – Componentes Químicos do Vidro

FONTE: <http://www.cebrace.com.br/telas/vidro/default.asp>

(acesso: 26 outubro 2007)

A sucata de vidro, limpa e selecionada, é usada para auxiliar a fusão, pois diminuem o consumo energético, aumentam a capacidade de extração e também aumentam a vida útil dos fornos. Os vidros coloridos são produzidos acrescentando-se à composição corantes como o Selênio (Se), Óxido de Ferro (Fe₂O₃) e Cobalto (Co₃O₄) para atingir as diferentes cores.

2.3 Propriedades Físicas

2.3.1 Propriedades Mecânicas

Segundo a NBR 7199:1989:

Módulo de elasticidade: $E = 750.000 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 50.000$

Tensão de ruptura á flexão: Para vidro recozido: $400 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 50$

Para vidros de segurança temperado: $1.800 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 200$

Coefficiente de Poisson: 0,22

Peso específico: $2.500 \text{ Kgf/cm}^3 \pm 50$

Dureza: entre 6 e 7 na escala de Mohs

Índice de refração: 1,52

Tensão admissível de flexão: Para vidros recozidos: $O = 130 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 20$;

Para vidro de segurança temperado: $O = 600 \text{ Kgf/cm}^2 \pm 40$.

2.3.2 Dilatação Linear

A dilatação linear é expressa por um coeficiente que mede o alongamento em unidade de comprimento por uma variação de 1°C . Este coeficiente é geralmente dado para um intervalo de temperatura de 20 a 300°C . O coeficiente de dilatação linear do vidro é de 0,000009.

Exemplo: Uma chapa de vidro de 2m de comprimento (2000 mm) aquecido a 30°C sofrerá um alongamento de: $2000 \times 0,000009 \times 30 = 0,54 \text{ mm}$.

A Tabela 1 demonstra os coeficientes de dilatação linear dos principais materiais utilizados na construção civil.

TABELA 1 – Coeficientes de Dilatação Linear

Material	Coeficiente de dilatação linear (1°C)	Relação aproximada
Madeira (pinheiro)	4×10^{-6}	0,5
Tijolo	5×10^{-6}	0,5
Pedra (cálcica)	5×10^{-6}	0,5
Vidro	9×10^{-6}	1,0
Aço	12×10^{-6}	1,4
Cimento (argamassa)	14×10^{-6}	1,5
Alumínio	23×10^{-6}	2,5
Cloreto de Polivinil (PVC)	70×10^{-6}	8,0

FONTE: Manual do vidro (2000, p.6)

2.4 Tipos de vidros utilizados na construção civil

Atualmente são utilizados basicamente dois tipos de vidros na construção civil, o vidro float e o vidro estirado, porém é possível obter uma gama infinita de produtos através de variações no processo de fabricação ou através de beneficiamento do vidro após a fabricação. A Tabela 2 demonstra alguns tipos de vidros produzidos a partir de variações no processo de fabricação.

TABELA 2 – Tipos de Vidros

Vidro base	Tipo	Descrição
Float	Incolor	Também conhecido como "Cristal Incolor", consiste na produção do vidro float sem corantes, buscando maior transparência.
	Colorido	Consiste na adição de corantes à massa do vidro para obtenção de cores como cinza, bronze, verde e azul.
	Refletivo "on line"	Também conhecido como "Vidro Pirolítico", consiste na deposição de óxidos metálicos a massa do vidro antes do completo resfriamento.
	Refletivo "off line"	Consiste na deposição de óxidos metálicos na chapa de vidro float através de um processo a vácuo.
	Espelhos	Consiste na deposição sucessiva de prata e aplicação de camadas de tinta protetora em vidro float, visando obter um índice de reflexão luminosa de aproximadamente 85%.
Estirado	Comum	Trata-se da fabricação do vidro incolor ou colorido pelo processo de estiramento, porém apresenta qualidades ópticas e de planicidade inferiores ao do vidro float.
	Impresso	Consiste na produção do vidro estirado em vários desenhos e relevos, de acordo com o formato dos rolos no processo de fabricação.
	Aramado	Consiste na adição de uma malha de aço inoxidável de 1/2" de trama ao vidro estirado, é considerado um vidro de segurança, pois ao quebrar os fragmentos ficam presos à malha de aço.

2.5 Fabricação de Vidros Float

Nas construções atuais, o vidro passou a ser amplamente utilizado e suas aplicações requerem características ópticas, planimétricas e de resistência com alto desempenho e qualidade, que somente pode ser alcançado através do processo de fabricação float. A Figura 2 ilustra as etapas de fabricação do vidro float.

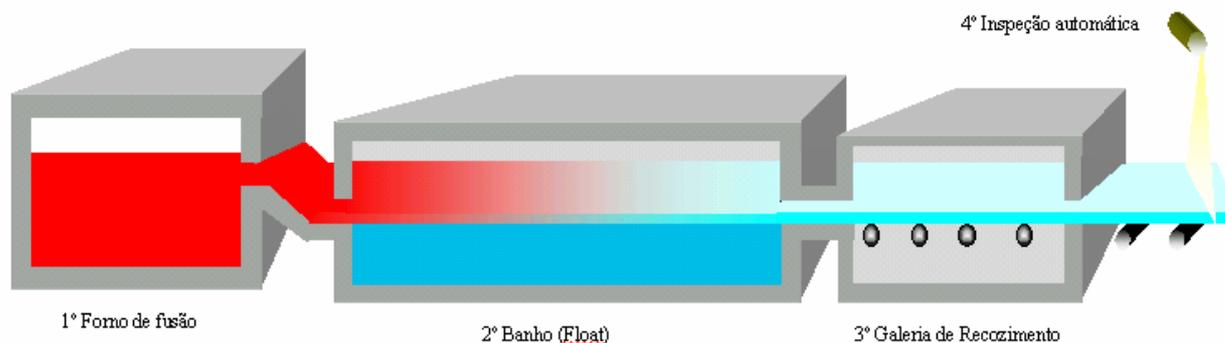


FIGURA 2 – Produção de vidros float

2.5.1 Forno de Fusão

A mistura de areia com os demais componentes do vidro é dirigida até o forno de fusão através de correias transportadoras. À mistura vitrificável é adicionado o vidro partido (caco) para diminuir a temperatura de fusão. Com temperatura de até 1600° C a mistura é fundida, em seguida é feita a afinação, durante a qual o vidro fundido é tornado homogêneo e liberto de bolhas gasosas, e por último, é realizado o acondicionamento térmico onde o vidro pouco viscoso é resfriado até que a sua viscosidade corresponda às exigências do processo de transformação.

2.5.2 Banho (float)

A massa é derramada em uma piscina de estanho líquido, fundido a cerca de 1000°C, em um processo contínuo chamado “Float Bath” (Banho Float). Devido à diferença de densidade entre os materiais, o vidro flutua sobre o estanho, ocorrendo um paralelismo entre as duas superfícies. Essa é a condição para que a qualidade óptica superior do vidro float seja atingida. A partir desse ponto é determinada a espessura do vidro, através da velocidade da linha, quanto maior a velocidade, menor a espessura resultante. As espessuras nominais mais utilizadas são: 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10,12, 15 e 19 mm.

2.5.3 Galeria de Recozimento

Na saída do banho de estanho, a chapa de vidro agora rígida, passa pela estenderia que é um túnel de arrefecimento. A temperatura do vidro é reduzida gradualmente até aproximadamente 120°C. O resfriamento lento passa a ser depois ao ar livre. Este processo

permite libertar o vidro de todas as tensões internas que provocariam a sua quebra no momento do corte.

2.5.4 Inspeção Automática

Antes de ser recortada, a folha de vidro é inspecionada por um equipamento chamado “scanner”, que utiliza um feixe de raio laser para identificar eventuais falhas no produto. Caso haja algum defeito decorrente da produção do vidro, ele será refugado e posteriormente reciclado.

2.5.5 Lavagem, Recorte e Armazenamento

A última etapa do processo de fabricação consiste na lavagem do vidro, em seguida a chapa de vidro frio até aqui contínua é recortada em dimensões pré-programadas, através de um processo automático e com o vidro em movimento, finalmente o vidro é armazenado na forma de colares (racks metálicos). A Figura 3 ilustra o vidro armazenado em colares.



FIGURA 3 – Vidro armazenado em colares

FONTE: http://www.cebrace.com.br/Telas/Vidro/Seg_Armazenagem.asp
(acesso: 26 outubro 2007)

2.6 Fabricação de Vidros Estirados

O vidro estirado mais utilizado na construção civil é o vidro impresso. Uma das principais características do vidro impresso são os desenhos dispostos de forma uniforme que tem a propriedade de difundir a luz e os raios solares, mantendo a privacidade dos ambientes sem perder luminosidade.

O vidro estirado tem como característica principal a translucidez, e é fabricado através de sistema industrial semelhante ao do vidro float, no que diz respeito às matérias-primas e insumos básicos utilizados, tendo como principal diferença a utilização de dois cilindros metálicos na saída do forno por onde passa o vidro já elaborado, sendo que o cilindro superior é liso e o inferior detém em sua superfície a gravação do desenho que se deseja imprimir no vidro. O espaçamento entre os dois cilindros determina a espessura do produto acabado.

Após a estiragem, o vidro plano que ainda não está completamente rígido, é conduzido por um conjunto de rolos, chamado de estenderia, onde ocorre o seu processo de resfriamento de maneira lenta e gradual. Em seguida, o vidro é cortado em chapas, nos tamanhos programados, passando pelo processo de controle de qualidade, embalagem, armazenagem e expedição.

2.7 Beneficiamento de Vidros

2.7.1 Vidro Laminado

O vidro laminado é composto por duas ou mais chapas de vidro intercaladas com uma ou mais películas de material plástico denominado Polivinil Butiral (PVB) ou através da aplicação de resina entre os vidros.

Na fabricação do vidro laminado com PVB as chapas de vidro são lavadas, em seguida é aplicada a película de PVB entre os vidros que seguem para uma estufa pré-aquecida a aproximadamente 300°C, ao final da estufa o vidro passa por uma calandra onde é prensado fazendo a pré-colagem.

Por último, o vidro é colocado na autoclave onde permanece por aproximadamente 06 horas submetido à temperatura em torno de 135°C e 12 Bars de pressão. A laminação com PVB é utilizada há mais tempo e é adotada pelas grandes empresas do ramo para aplicação nos setores da construção civil e automobilístico. A Figura 4 ilustra a montagem do vidro laminado com PVB.

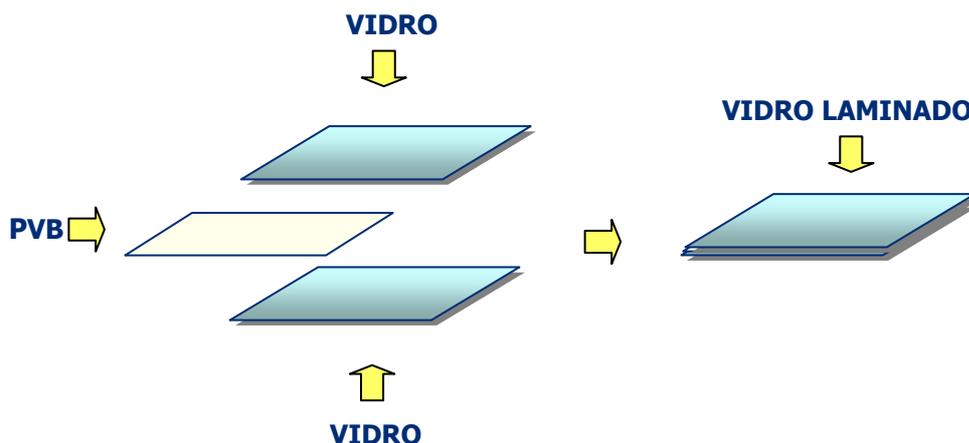


FIGURA 4 – Esquema de Montagem do Vidro Laminado com PVB

Já o vidro laminado com resina é mais recente e permite a criação de maior variedade de produtos, sendo que, no Brasil, esse processo de laminação foi adotado principalmente pelas indústrias de médio porte do setor. A laminação com resina é dividida em dois grupos: resinas bicomponentes (poliéster) e monocomponentes (acrílico). Na produção de laminados com resinas bicomponentes o processo é bastante manual. Os catalisadores líquidos são misturados em um vasilhame e despejado por meio de funil especial para dentro das chapas montadas com um espaçador adesivo fixado nas bordas do vidro. A cura é feita em temperatura ambiente ou por meio de aquecimento em um forno. No processo com monocomponente é utilizada uma bomba peristáltica para introduzir o material monocomponente entre as chapas. A cura é feita através de lâmpadas que emitem radiação ultravioleta (UV).

O vidro laminado é considerado um vidro de segurança, pois, caso venha a quebrar, seus fragmentos permanecem presos à película plástica intermediária, reduzindo as chances de acidentes. Além disso, não é necessária a substituição imediata do vidro quebrado. Outras características do vidro laminado são:

Proteção de ambientes: Dependendo da composição (multilaminado), o vidro laminado pode ser utilizado como barreira antivandalismo, antiarrombamento ou blindagem, sendo à prova de balas de diversos tipos de calibre.

Controle sonoro: São eficazes na redução do nível de ruídos indesejáveis, pois as vibrações sonoras são absorvidas pelo PVB e pelo próprio vidro.

Barreira contra raios UV: Os vidros laminados com PVB e alguns tipos de resina filtram os raios ultravioletas, minimizando o desbotamento e o envelhecimento de móveis e objetos interiores, sem interferir no crescimento das plantas.

Controle solar: Os vidros laminados com float colorido (verde, bronze e cinza) permitem um moderado controle da luz e calor do ambiente, sendo possível criar uma barreira ainda mais eficaz utilizando vidros refletivos.

Trabalhabilidade: Vidros laminados podem ser cortados após o processo de laminação, o que possibilita ajustes nas medidas das peças de vidro.

2.7.2 Vidro Temperado

Trata-se de um vidro que foi submetido a um tratamento térmico de têmpera, onde o vidro é aquecido de forma controlada, elevando sua temperatura a aproximadamente 700°C e, em seguida, resfriado bruscamente, provocando tensões internas que tornam o vidro até cinco vezes mais resistente a choques mecânicos e também aumenta sua resistência a choques térmicos, mantendo as características de aparência, transmissão luminosa e composição química. A têmpera pode ser realizada através de processo vertical ou horizontal.

No forno vertical, o vidro é suspenso por pinças metálicas, de modo que, durante o aquecimento, as pinças penetram ligeiramente no vidro, enquanto ele, por ação de seu próprio peso, se deforma localmente nas regiões de sustentação. O resultado é o surgimento das “marcas de pinças” que provocam distorções na visibilidade, prejudicando alguns tipos de utilização do produto.

Já no forno horizontal, o vidro é suportado por rolos especiais que eliminam as marcas de pinça, assim como as deformações causadas pelo próprio peso. O resultado é um produto de melhor qualidade óptica.

Além disso, em caso de quebra, o vidro temperado fragmenta-se em pequenas partículas de bordas geralmente não cortantes e sem pontas, minimizando os riscos de ferimento profundo.

As diferenças de temperatura entre dois pontos de um mesmo vidro provocam sobre ele tensões que podem ocasionar a chamada “quebra térmica”. Quando essa diferença de temperatura for maior que 25°C será necessário o uso de vidro temperado, uma vez que esse pode suportar diferenças de temperatura de até 200°C.

2.7.3 Vidro Serigrafado

Existem dois tipos de processos para a fabricação de vidros serigrafados: o processo a frio ou o processo a quente. O processo de fabricação a frio consiste na aplicação de tinta ao vidro, geralmente através de telas serigráficas, cuja cura é feita utilizando luz ultravioleta (UV). Já no processo de fabricação a quente é feita a aplicação de esmalte cerâmico

composto por fundente a base de vidro e corantes, em seguida, o vidro passa pelo processo de têmpera para que haja a fundição do esmalte ao vidro, portanto, todo vidro serigrafado fabricado a partir desse processo deve ser temperado.

2.7.4 Vidro Curvo

Consiste no encurvamento do vidro, colocando o mesmo sobre um molde instalado dentro do forno de curvatura e elevando a sua temperatura gradativamente até que o vidro obtenha o formato do molde. O vidro curvo pode ser utilizado monolítico, ou seja, uma única lâmina curvada, ou beneficiado através do processo de laminação, têmpera, etc.

2.7.5 Vidro Acidado

O vidro acidado é fabricado a partir da aplicação de uma solução ácida no vidro que ataca sua superfície de forma controlada, tornando-a fosca. O vidro pode ser acidado por completo ou parcialmente, inclusive criando desenhos, texturas, letras ou formas geométricas. Os vidros acidados são de fácil limpeza, por não acumularem gordura.

2.7.6 Vidro Jateado

O processo de jateamento se dá por meio de jato de areia ou a laser, aplicado sobre a superfície do vidro e sua função, assim como no vidro acidado, consiste em tornar o vidro fosco. Também é possível jatear o vidro por completo, parcialmente, criar desenhos, texturas, letras ou formas geométricas, porém o vidro jateado pode acumular gordura dificultando sua limpeza.

2.7.7 Vidro Espelhado ou Espelho

O vidro espelhado ou, simplesmente, espelho é produzido a partir da deposição de metais como prata, alumínio ou cromo sobre uma de suas faces. Em seguida, esse metal é protegido por camadas de tinta, que evitam a corrosão da camada metálica e, por consequência, o surgimento de manchas pretas. A espelhação do vidro à base de prata é um dos métodos mais difundidos no mundo.

2.7.8 Vidro Duplo ou Insulado

O vidro duplo, também conhecido como insulado, é um conjunto de duas ou mais chapas de vidro, intercaladas por uma câmara de ar desidratado ou gases como nitrogênio,

argônio, entre outros, podendo ser composto por qualquer tipo de vidro, o que permite combinar diferentes propriedades, por exemplo, a resistência mecânica do vidro temperado (externamente) com a proteção térmica, acústica e a segurança dos vidros laminados refletivos.

A câmara de ar ou gás é formada por um perfil espaçador em todo o perímetro, contendo em seu interior um dissecante (tamis molecular) para desidratar o ambiente entre os vidros evitando o embaçamento, em seguida, são aplicadas duas selagens: a selagem primária (butil), aplicada na lateral do perfil para que não haja troca gasosa entre a câmara e o ambiente, e a selagem secundária (silicone ou polisulfeto), aplicada sobre o perfil e entre as faces dos vidros, para garantir a estabilidade do conjunto. A Figura 5 ilustra o esquema de montagem do vidro duplo.

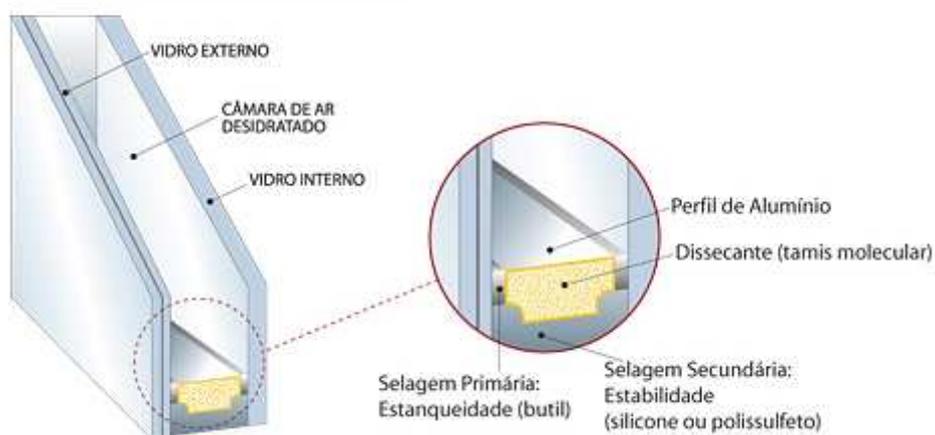


FIGURA 5 – Esquema montagem vidro duplo

FONTE: http://www.glassec.com.br/prod_duploins.php

(acesso: 26 outubro 2007)

A selagem secundária é responsável por manter a estabilidade do conjunto, evitando que os esforços de cisalhamento façam o vidro deslizar, comprometendo sua integridade, porém é necessária a escolha do selante adequado. A selagem com polisulfeto reduz o tempo de cura e apresenta um custo menor quando comparado com o silicone estrutural, no entanto, o polisulfeto não resiste aos ataques de raios ultravioleta (UV), podendo comprometer a aderência do conjunto e ocasionar o desprendimento dos vidros, por isso, quando os vidros permanecerem expostos aos raios UV, é necessária a utilização de silicone estrutural.

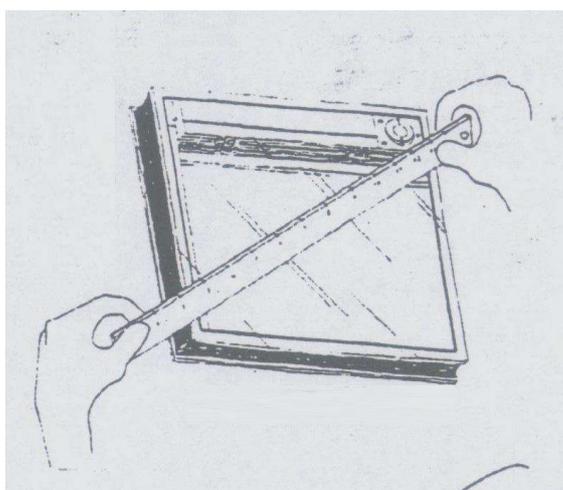
Outro item importante a ser ressaltado é o tempo de cura do selante, pois, caso esse tempo não seja devidamente respeitado, poderá ocorrer o deslizamento dos vidros, gerando

instabilidade do conjunto, infiltração de água dentro da câmara de ar e, até mesmo, desprendimento dos vidros.

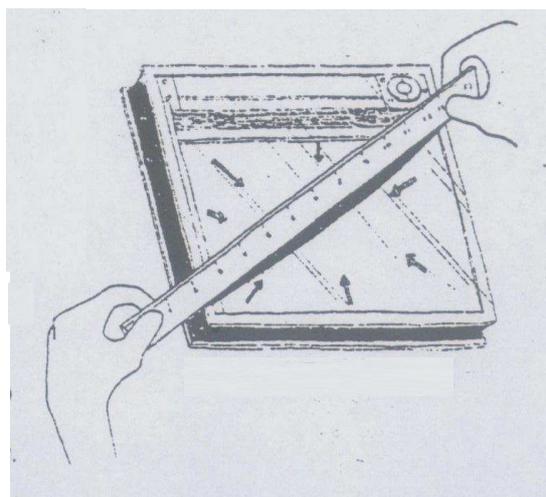
2.7.8.1 Processo de equalização de Vidros Insulados

Quando existir uma diferença de altitude entre o local de fabricação do vidro duplo e a obra que ultrapasse 300 m, poderá ocorrer a deformação dos vidros, deixando-os côncavos, caso a altitude seja menor e, conseqüentemente, a pressão atmosférica seja maior, ou convexos, caso a altitude seja maior e a pressão atmosférica menor. Nessas circunstâncias, se faz necessária à realização da equalização, ou seja, a abertura da câmara de ar através da válvula fixada no perfil de alumínio durante a fabricação do vidro duplo, de modo a equalizar a pressão atmosférica local com a pressão atmosférica dentro da câmara.

É possível identificar a ocorrência das deformações utilizando uma régua posicionada na diagonal do vidro e verificando se não há frestas entre a régua e o vidro, conforme ilustra a Figura 6.



a) Peça sem defeito

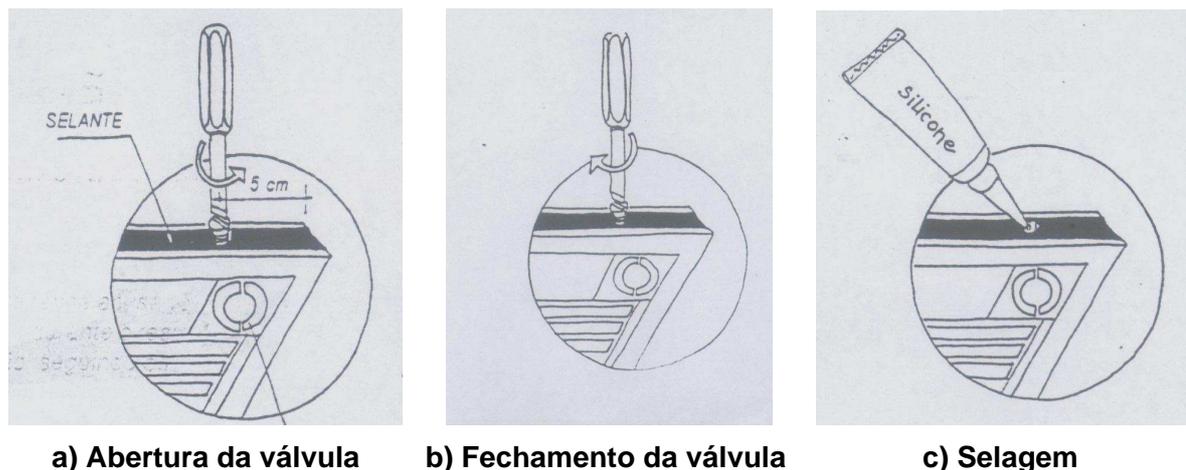


b) Peça com defeito

FIGURA 6 – Deformação em vidro duplo (côncavo)

FONTE: Catálogo Screenline (2003)

Depois de identificada a deformação, realiza-se então a equalização, abrindo a válvula com o auxílio de uma chave de fenda e deixando equalizar por cerca de 10 minutos, ao final desse período, a câmara é novamente fechada e selada com silicone. A Figura 7 ilustra os passos para realização da equalização.



a) Abertura da válvula

b) Fechamento da válvula

c) Selagem

FIGURA 7 – Equalização de vidro duplo**FONTE: Catálogo Screenline (2003)**

2.7.9 Vidros Especiais

Além dos vidros citados acima, existe uma vasta gama de vidros especiais utilizados para fins específicos, mas sempre visando o conforto e o bem estar humano.

A seguir serão citados alguns exemplos de vidros especiais e a finalidade a qual se destina.

Vidro autolimpante: é um vidro fabricado com a deposição de uma camada transparente de material mineral fotocatalítico e hidrofílico sobre a chapa de vidro. O vidro autolimpante aproveita os raios UV e a água da chuva para eliminar a sujeira e os resíduos que se acumulam no exterior. O desempenho da ação autolimpante pode variar dependendo da quantidade e do tipo de sujeira nos vidros, a exposição total à luz solar e à chuva e a inclinação do vidro. Para ativar o revestimento, o vidro deve ser exposto à luz natural por alguns dias, sendo que o período de tempo requerido dependerá também da estação do ano e da direção do vidro.

Vidro antireflexo: Trata-se de um vidro que recebeu uma camada anti-reflexo durante o processo de fabricação, cujo objetivo é reduzir a reflexão do vidro. Esse tipo de vidro é indicado para vitrines de lojas, museus, exposições, *show rooms* e situações em que se necessite de nitidez e visibilidade.

Vidro antichamas: São vidros com capacidade de formar uma barreira contra a ação do fogo, podendo ser simples ou duplo, sendo que o tempo de proteção depende das propriedades do vidro. Os vidros simples possuem composição química específica para o combate das chamas, porém transmitem muito calor por radiação. Já os vidros duplos podem ser preenchidos por um gel polímero, com alta percentagem de água e sais orgânicos, de modo que, no caso de incêndio, o gel se transforma numa crosta, que é

altamente isolante, e o calor latente da evaporação da água absorve muito da energia calorífica.

Vidro extra-clear: É um vidro mais claro e transparente que o padrão, uma vez que sua massa contém menos adição de ferro, por isso, é ideal para vidros com bordas aparentes e serigrafados, pois essa característica reforça e assegura o tom da tinta aplicada sem comprometer o resultado final.

Vidros baixo emissivos ou low-E: São vidros que possuem uma camada superficial composta por materiais que tem a propriedade intrínseca de baixa emissão para a radiação térmica. Essa camada permite diminuir as perdas térmicas através do vidro, principalmente quando são incorporados em um vidro duplo. Tais vidros são indicados para ambiente em que seja necessário um isolamento térmico elevado, pois melhora o conforto interno, reduzindo o efeito de parede fria, bem como os riscos de condensação e os gastos com climatização.

3 USO DO VIDRO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

3.1 Aplicações

Atualmente o vidro é amplamente utilizado na construção civil por se tratar de um material de alta tecnologia, multifuncional e estético. Trata-se de um material que não requer acabamento e a manutenção necessária consiste apenas na limpeza periódica.

O vidro pode ser aplicado em: fachadas, coberturas, guarda-corpos, pisos, vitrines, divisórias, blindagens, visores de piscinas, boxe para banheiro, revestimento de paredes, entre outros.

3.2 Especificações

Ao especificar o vidro para determinada obra deve-se levar em consideração o uso ao qual se destina, identificando quais as necessidades e os atributos necessários para o conforto dos usuários, levando em consideração os seguintes aspectos: transmissão luminosa, radiação solar, controle térmico, controle acústico, estética/decoração e segurança. Deve-se calcular a espessura adequada para que o vidro a ser utilizado resista aos esforços solicitantes.

3.2.1 Transmissão Luminosa

A transmissão luminosa em um ambiente é o fator essencial para o bem estar, desenvolvimento e saúde das pessoas que fazem uso da edificação.

Para garantir uma boa transmissão luminosa ao ambiente é fundamental dimensionar corretamente os vãos da edificação e buscar posicioná-los o mais alto possível, de modo que seja possível iluminar os pontos mais distantes da edificação.

A escolha do vidro adequado é outro fator primordial na incidência de luz, pois quanto mais elevada for a transmissão de luz do vidro, maior e mais importante será a quantidade de luz que incidirá no ambiente. A translucidez dos vidros impressos e dos vidros foscos, tais como: o jateado, o acidado ou, até mesmo, o laminado opaco, permitem que a luz penetre de forma difusa, garantindo a transmissão luminosa e preservando a intimidade, necessária em determinados locais. Por outro lado, o excesso de transmissão luminosa pode causar ofuscamento quando mal dimensionado.

Quando a luz incide sobre a face do vidro, uma parte é transmitida diretamente ao ambiente, outra parte é refletida pelo vidro e uma terceira parte é absorvida pelo próprio vidro, conforme ilustrado pela Figura 8.

Os valores de transmissão direta, reflexão e absorção dos vidros, referentes à transmissão luminosa, são tabelados e fornecidos pelas empresas fabricantes e beneficiadoras de vidros, podendo ser consultados durante a especificação.

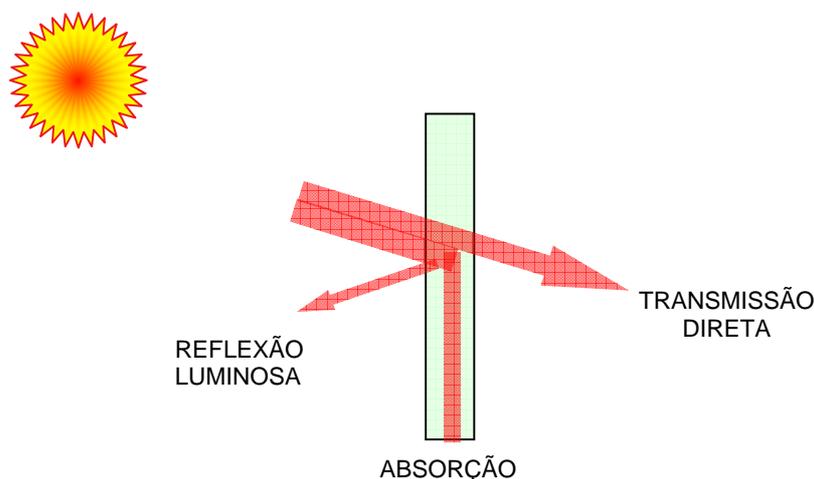


FIGURA 8 – Esquema de Incidência de Luz sobre o Vidro

Fonte: Manual do Vidro (2000, p. 537)

3.2.2 Radiação Solar

Segundo o Manual do Vidro (2000), a radiação solar é composta por 3% de raios ultravioletas, 42% raios de luz visível e 55% de raios infravermelhos, sendo que os raios ultravioletas possuem comprimento de onda de 0,28 μm a 0,38 μm , os raios de luz visível de 0,38 μm a 0,78 μm e os raios infravermelhos de 0,78 μm a 2,5 μm .

A radiação solar que penetra no ambiente através do vidro é absorvida pelos objetos e paredes internas que, ao aquecer, refletem uma radiação térmica que se concentra no ambiente, dando origem ao chamado “efeito de estufa”, o mesmo acontece, por exemplo, em um carro estacionado ao sol e com os vidros fechados.

Outro efeito da radiação solar é o fenômeno de descoloração, que afeta principalmente as cores orgânicas, cujas ligações químicas são geralmente menos estáveis que as ligações de pigmentação mineral. A alteração das cores dos objetos expostos à radiação solar resulta da degradação progressiva das ligações moleculares dos corantes sob a ação da radiação solar, principalmente dos raios ultravioletas e, em menor proporção, dos raios de luz visível. Esse fenômeno de descoloração pode ser combatido utilizando vidros laminados com capacidade de barrar os raios ultravioletas, como por exemplo, os vidros laminados com PVB.

Quando a radiação solar incide sobre o vidro é dividida em três partes:

Transmissão direta: É a parte transmitida diretamente ao ambiente. A relação entre a energia transmitida e a energia incidente é expressa pelo fator de transmissão energética.

Reflexão energética: É a parte refletida para o exterior da edificação. A relação entre essa energia refletida e a energia incidente é expressa pelo fator de reflexão energética.

Absorção energética: É a parte absorvida pelo vidro antes de ser reenviada, simultaneamente, para o interior e para o exterior da edificação. A relação entre a energia absorvida e a energia incidente é expressa pelo fator de absorção. Para um vidro simples, o fator de energia reenviada para o exterior corresponde a dois terços do fator de absorção, enquanto que o fator de energia reenviado para o interior corresponde a apenas um terço do fator de absorção.

A soma da transmissão direta e da transmissão indireta é igual à energia total que penetra no ambiente. A razão entre a energia total e a energia solar incidente dá origem ao fator solar, sendo que quanto menor o fator solar de um determinado vidro, melhor será a sua barreira contra a radiação solar.

A Figura 9 ilustra a incidência de energia solar sobre o vidro.

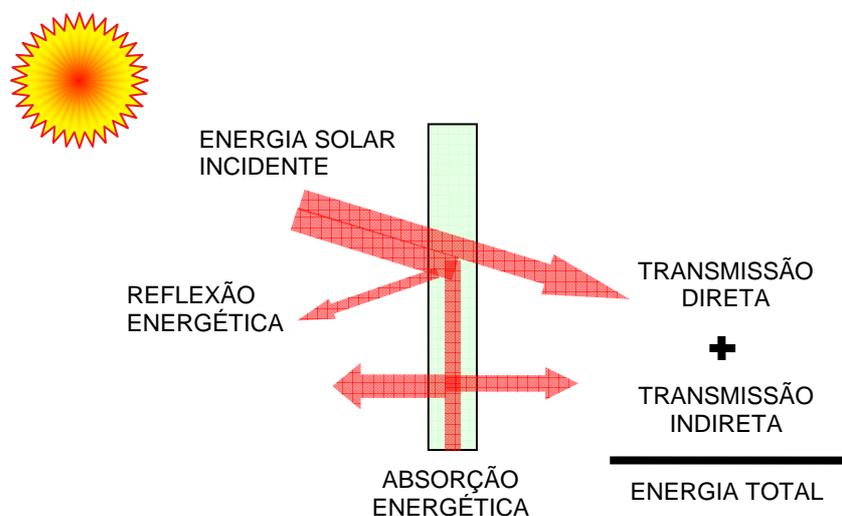


FIGURA 9 – Esquema de Incidência de Energia Solar sobre o Vidro

Fonte: Manual do Vidro (2000, p. 537)

A partir do fator de transmissão, do fator de reflexão e do fator de absorção, é possível traçar uma curva para o conjunto de comprimentos de ondas que constituem as curvas espectrais do vidro. Para uma dada incidência, a curvatura vai depender da cor do vidro, da sua espessura e, no caso de vidros refletivos, depende dos óxidos metálicos que constituem a camada refletiva. A Figura 10 ilustra um exemplo de curva espectral para o fator de transmissão de dois vidros de mesma espessura, porém com cores diferentes.

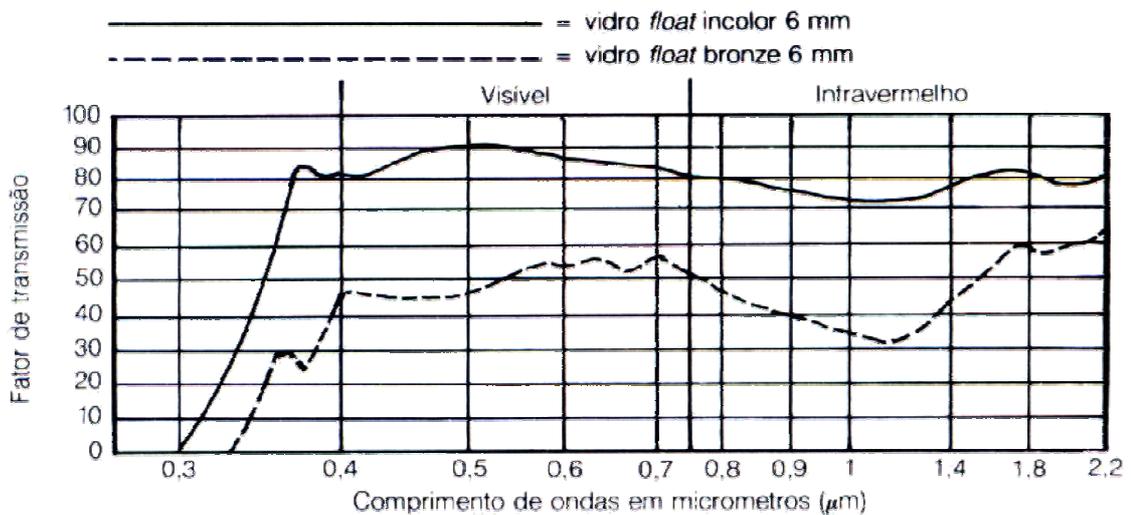


FIGURA 10 – Esquema de Incidência de Luz sobre o Vidro

Fonte: Manual do Vidro (2000, p. 18)

Os valores de fator de transmissão energética, fator de reflexão energética, fator de absorção energética e o fator solar dos vidros, referentes à radiação solar, são tabelados e fornecidos pelas empresas fabricantes e beneficiadoras de vidros, podendo ser consultados durante a especificação.

3.2.3 Controle Térmico

A troca térmica através de uma parede pode ocorrer segundo três modos diferentes de propagação:

Condução: É a transferência de calor de um ponto para outro do corpo ou entre dois corpos em contato direto. Essa transferência efetua-se sem deslocamento de matéria.

Convecção: É a transferência de calor entre a superfície de um sólido e de um fluido líquido ou gasoso. Essa transferência é acompanhada por um deslocamento de matéria.

Radiação: É a transferência de calor que resulta de uma troca por radiação entre dois corpos que se encontram a diferentes temperaturas. A radiação é proporcional à emissividade dos corpos.

A Figura 11 ilustra os três modos diferentes de propagação.

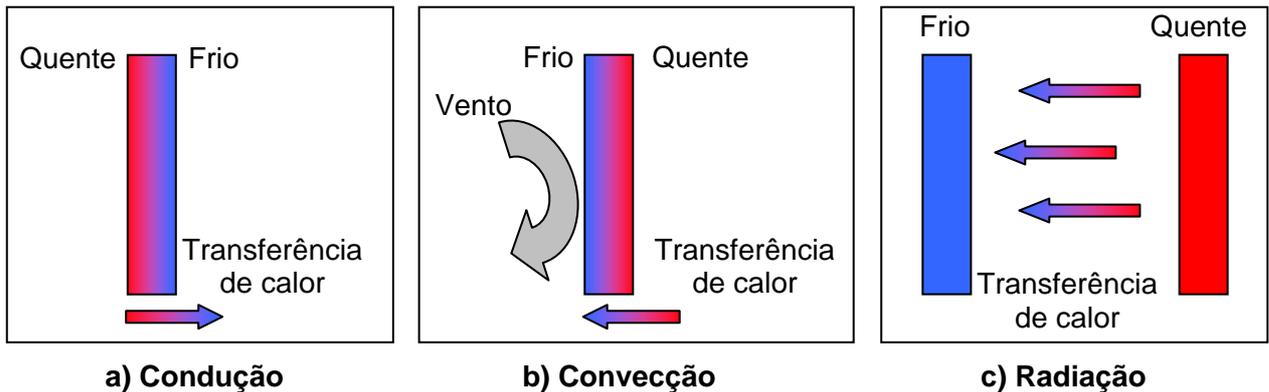


FIGURA 11 – Modos de Propagação de Calor

Fonte: Manual do Vidro (2000, p. 23)

Quando um vidro está em contato com o ar, realiza troca de calor por condução e por convecção com esse ar e por radiação através do ambiente. Essas transferências térmicas são expressas pelo chamado coeficiente U, que representa o fluxo de calor por m^2 de vidro para uma diferença de temperatura entre o interior e o exterior de um local. Quanto menor o valor do coeficiente U, menor será a troca de calor entre os ambientes, ou seja, melhor será o isolamento térmico.

Uma forma de diminuir o valor do coeficiente U é utilizando vidros de baixa emissividade, os chamados vidros Low-E, que possuem uma camada superficial que reduz a emissividade do vidro, melhorando o desempenho quanto ao controle térmico. A emissividade é uma característica dos corpos de transferir calor por radiação, de modo que, quanto menor a emissividade, menor será a transferência de calor para o ambiente.

Outra forma de diminuir o valor do coeficiente U é utilizando vidros duplos, cuja câmara de ar desidratado limita as trocas térmicas por condução e convecção, tirando proveito da baixa condutividade térmica do ar. Essas transferências térmicas podem ser ainda mais reduzidas substituindo o ar que se encontra na câmara por um gás mais pesado, como, por exemplo, o argônio, que apresenta uma condutividade térmica mais baixa.

Desse modo, pode-se dizer que, no inverno, vidros com coeficiente U baixo proporcionam um isolamento térmico ao ambiente, reduzindo a transferência de calor e aumentando o conforto térmico, enquanto que, no verão, o conforto térmico dependerá não somente de um baixo coeficiente U, mas também de um baixo fator solar, conforme visto no item 3.2.2 desse trabalho.

A Tabela 3 demonstra alguns valores de coeficiente U para alguns vidros utilizados na construção civil.

TABELA 3 – Valores de Coeficiente U

Produto / Composição	Coeficiente U [W/(m².K)]	Fator Solar
Vidro Simples de 4mm	5,8	0,85
Vidro Simples de 6mm	5,7	0,80
Vidro Duplo / Vidro Simples 4mm + Câm. 12 + Vidro Simples 4mm – com ar	2,9	0,75
Vidro Duplo / Vidro Simples 6mm + Câm. 16 + Vidro Simples 6mm – com ar	2,7	0,70
Vidro Duplo / Vidro Low-E 6mm + Câm. 16 + Vidro Simples 6mm – com ar	1,6	(*)
Vidro Duplo / Vidro Low-E 6mm + Câm. 16 + Vidro Simples 6mm – com argônio	1,3	(*)

(*) Depende do vidro de baixa emissividade a ser utilizado – Low-E.

Fonte: Manual do Vidro (2000, p. 24 – 27)

3.2.4 Controle Acústico

O controle acústico é um dos fatores mais importantes na especificação de vidros para edificações, pois dependendo da localização da obra, o controle acústico é fundamental para o conforto do ambiente. O controle acústico consiste em minimizar a passagem do som criando uma barreira que reduza o nível de ruído transmitido de um ambiente para outro.

O som é caracterizado por seu nível, intensidade sonora e nível de pressão, que pode ser medido através de um equipamento denominado decibelímetro, cujo resultado é expresso em decibéis (dB), numa escala logarítmica. Uma diferença de 1 dB para mais ou para menos pode ser percebida pelo ouvido humano, sendo que, se o som for acrescido ou diminuído em 10 dB, tem-se a sensação de que o som foi duplicado ou reduzido pela metade. Porém, esse tipo de medição permite obter apenas o nível global de um ruído, sem levar em consideração a diferença da sensibilidade do ouvido humano de acordo com a frequência sonora, ou seja, sons graves, médios e agudos. A frequência do som representa o número de vibrações por segundo, medidos em Hertz (Hz).

Para realização de estudos sobre controle acústico, deve-se verificar a perda de transmissão sonora em dB para cada frequência de som incidente, dentro de uma faixa de frequência pré-estabelecida. A Figura 12 demonstra o comportamento acústico de vidros comuns de 4mm e 8mm, ao longo de todo o espectro de frequência compreendido entre 100 e 4000 Hz. Na referida figura, observa-se que o vidro de 08 mm possui frequência crítica em torno de 1600 Hz, enquanto que o vidro de 04 mm possui frequência crítica por volta de 3150 Hz.

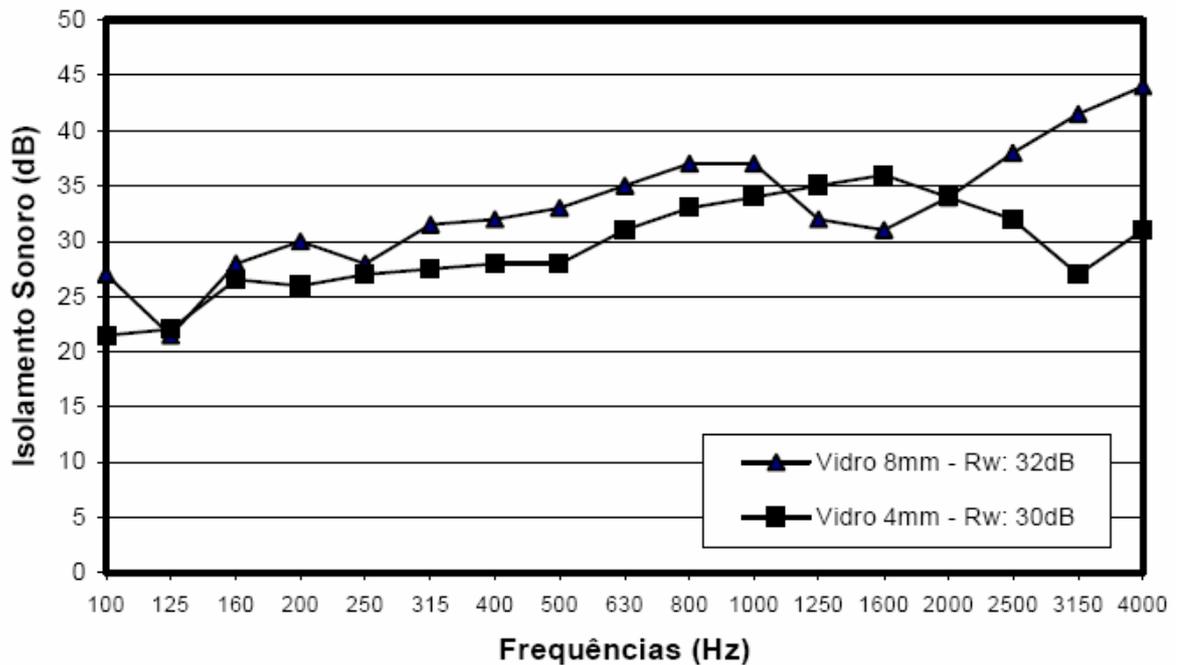


FIGURA 12 – Isolamento de Vidros Comuns

Fonte: Manual do Vidro (2000, p. 31)

Uma forma mais simplificada para o estudo do controle acústico pode ser realizada por meio de um número único que representa a capacidade de isolamento de um vidro. Como exemplo, é possível citar o Índice de Redução Acústica R_w , que consiste em comparar os níveis de isolamento sonora de um vidro, medidos a partir de 16 bandas de terços de oitavas de 100 Hz a 3150 Hz, com uma curva de referência, e o Isolamento Global em dB (A), que é obtido pela diferença dos níveis de pressão sonora na sala de emissão e na sala de recepção, ambos ponderados em uma curva, designada por curva (A), obtendo um valor único representativo do isolamento. A Tabela 4 demonstra alguns tipos de vidros e seus respectivos Índices de Redução Acústica R_w .

TABELA 4 – Alguns Vidros e seus Respectivos Índices de Redução Acústica R_w .

Tipo de Vidro	Composição	Espessura Nominal (mm)	R_w (dB)
Vidro Simples	-	6	31
	-	8	32
	-	10	33
Vidro Duplo Simétrico	Vidro 4mm + Câm. 12mm + Vidro 4mm	20	30
	Vidro 4mm + Câm. 16mm + Vidro 4mm	24	30
	Vidro 8mm + Câm. 16mm + Vidro 8mm	32	34
Vidro Duplo Assimétrico	Vidro 4mm + Câm. 12mm + Vidro 6mm	22	33
	Vidro 4mm + Câm. 16mm + Vidro 8mm	28	35
	Vidro 10mm + Câm. 12mm + Vidro 4mm	26	35
Vidro Duplo com Laminado Simples	Vidro 8mm + Câm. 20 + (Vidro 4mm + 2 PVB's 0,38mm + Vidro 4mm)	36	38
	Vidro 8mm + Câm. 20 + (Vidro 4mm + 4 PVB's 0,38mm + Vidro 4mm)	36	40
	Vidro 8mm + Câm. 20 + (Vidro 6mm + 2 PVB's 0,38mm + Vidro 8mm)	42	41
Vidro Duplo com Laminado Acústico	Vidro 8mm + Câm. 12 + (Vidro 4mm + 1 PVB Acústico 0,50mm + Vidro 4mm)	28	40
	Vidro 10mm + Câm. 12 + (Vidro 4mm + 1 PVB Acústico 0,50mm + Vidro 4mm)	30	41
	Vidro 8mm + Câm. 20 + (Vidro 4mm + 2 PVB's Acústico 0,50mm + Vidro 4mm)	36	40
	(Vidro 6mm + 2 PVB's Acústico 0,50mm + Vidro 4mm) + Câm. 20 + (Vidro 4mm + 2 PVB's Acústico 0,50mm + Vidro 4mm)	38	47

Fonte: Manual do Vidro (2000, p. 32)

O comportamento do vidro quanto ao controle acústico varia de acordo com a espessura e a composição, de modo que cada vidro possui uma frequência crítica, na qual vibra com mais facilidade, reduzindo o controle acústico. Espessuras menores possuem frequência crítica situada nas frequências mais altas.

Durante a especificação dos vidros deve-se levar em conta a frequência crítica, buscando garantir um desempenho homogêneo em todas as frequências. Para isso, pode-se melhorar o desempenho acústico do vidro com o aumento da espessura, utilização de vidros duplos com câmara de ar desidratado ou gás específico, ou ainda, composições assimétricas, cujas frequências críticas sejam diferentes e a atuação em conjunto possa compensar a deficiência um do outro. Atualmente existem vidros laminados especiais com

PVB acústico, onde o efeito da frequência crítica é minimizado, assegurando uma homogeneidade de desempenho em todas as frequências.

3.2.5 Estética / Decoração

Atualmente existe uma gama enorme de produtos em vidros, que proporcionam uma variedade de efeitos, colorações e utilizações, desde a total transparência até a opacidade absoluta.

Essa variedade de produtos pode ser utilizada com funções estéticas no exterior da edificação ou como decoração de interiores.

Na decoração de interiores é comum a utilização de vidros planos, curvos, opacados, serigrafados, impressos e espelhos como divisórias, portas internas, revestimento de paredes, mobiliário, entre outros.

3.2.6 Segurança

Durante a especificação é fundamental definir os riscos eminentes e o tipo de segurança necessário à edificação, podendo haver uma variação de um ambiente para outro.

Os potenciais de choques são de diversas naturezas e o desempenho do vidro depende de dois fatores: o nível de energia transmitido no momento do(s) impacto(s), ou seja, a intensidade de força no impacto, e a superfície máxima de contato durante o choque.

Desse modo, é possível afirmar que a proteção oferecida pelo vidro é proporcional à superfície máxima de contato e à energia transmitida, sendo que quanto maior a superfície máxima de contato, maior será a energia necessária para ultrapassar a proteção

Para proteção contra os riscos de lesões em caso de choques acidentais, a queda de objetos em coberturas e contra a queda de pessoas, a NBR7199 (1989) recomenda o uso de vidros laminados de segurança ou aramados, devidamente dimensionados, conforme cargas acidentais apuradas. Eventualmente, pode-se utilizar um vidro temperado laminado para aumentar a resistência mecânica do vidro.

Na proteção contra o vandalismo e a intrusão é recomendado o uso de vidros laminados com películas especiais ou vidros multilaminados, ou seja, vidros laminados com várias camadas, cuja função não é garantir a integridade da edificação, mas sim proporcionar o tempo necessário para fuga ou pedido de ajuda.

Já para a proteção contra armas de fogo, é necessário que o fabricante realize ensaios conforme requisitos estabelecidos pela NBR15000, visando classificar o produto quanto ao nível de blindagem, e possua homologação do Exército. Geralmente são utilizados vidros multilaminados, podendo ser utilizado uma placa de policarbonato em uma das camadas. Outra característica importante do vidro destinado à proteção contra armas de fogo é a proteção contra os estilhaços, sendo necessária a aplicação de um filme na face interna do vidro, visando impedir que os estilhaços sejam arremessados contra os ocupantes.

Outra questão relacionada a segurança é a proteção contra incêndios. O material vidro não é combustível, porém podem ser associados a outros materiais combustíveis, tais como PVB ou silicone. Por outro lado, existem vidros fabricados exclusivamente para a proteção contra incêndios, que permitem isolar temporariamente o ambiente contra a fumaça, impedindo que haja risco de asfixia, e também contra a radiação intensa de calor, não permitindo que haja risco de queimaduras graves. A proteção pode ser feita por um vidro simples, cuja composição química estabelece uma barreira contra incêndios, por um vidro laminado com película interna que protege contra o fogo, ou até mesmo por um vidro duplo, cujo espaço entre os vidros é preenchido por um gel aquoso abundante que reage em presença do fogo e é capaz de bloquear a energia do incêndio. Todos esses vidros são ensaiados em laboratório visando satisfazer a três critérios principais:

- a) Resistência ou estabilidade (R);
- b) Estanqueidade às chamas e aos gases (E);
- c) Isolamento térmico durante o ensaio (I).

Excepcionalmente, podem ser considerados critérios opcionais ou complementares, como por exemplo, o fluxo térmico máximo (W), medido em kW/m². Ao final do ensaio são atribuídas classificações ao vidro, levando em consideração os critérios acima citados e a duração. Por exemplo, se o vidro permaneceu estável e estanque durante 30 minutos, é classificado como RE 30, já se o vidro permaneceu estanque e isolante durante 60 minutos, é classificado como EI 60.

3.2.7 Cálculo da Espessura

Geralmente, o cálculo da espessura é realizado a partir da chapa de vidro que apresenta a situação mais crítica de instalação, levando em consideração as dimensões, a pressão de cálculo e as condições de apoio. Na maioria dos casos, o resultado encontrado é adotado para todos os vidros da fachada, pois um cálculo específico para cada vidro ocasionaria espessuras diferentes e, conseqüentemente, sistema de fixação com características diferentes, dificultando assim a instalação. O cálculo pode ser realizado

através de software específico, como por exemplo, o Software Rubis[®], ou através da fórmula de Timoshenko, conforme estabelecido pelo Manual do Vidro (2000), que será demonstrado a seguir.

A primeira etapa do cálculo consiste em determinar a pressão de vento incidente na edificação, conforme critérios estabelecidos pela NBR 6123. Inicialmente, calcula-se a velocidade característica do vento (V_k), em m/s, a partir da seguinte Equação 1.

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad \dots\dots\dots[1]$$

Onde:

V_k = Velocidade característica do vento, em m/s.

V_0 = Velocidade básica do vento, em m/s. A NBR 6123 estabelece a velocidade básica do vento, dividida em regiões, para todo o Brasil, conforme ilustra a Figura 13.

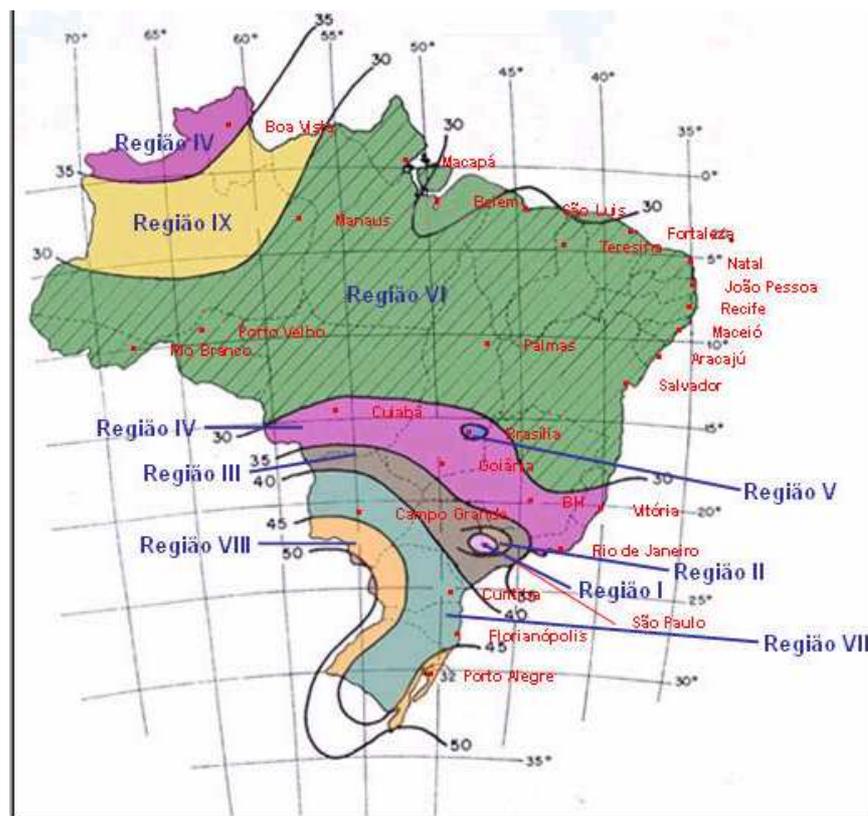


FIGURA 13 – Mapa com a Velocidade do Vento no Brasil, dividido por regiões.

FONTE: <http://www.cebrace.com.br/especificacao/Pressao/?sid=95702761514469>
(acesso: 24 outubro 2007)

S_1 = Fator topográfico, sendo que cada tipo de topografia está relacionado a um fator específico. A NBR 6123 estabelece três tipos de topografia:

- Plano e pé de morro;
- Pico de morro;
- Vales Profundos.

S_2 = Fator que considera a influência da rugosidade do terreno, levando em consideração os obstáculos existentes. A NBR 6123 estabelece os seguintes tipos de rugosidade:

- Mar, rios, lagos ou campos sem vegetação;
- Zona costeira plana, região com baixos obstáculos (< 1m);
- Subúrbios ou bairros residenciais (altura média dos obstáculos 3m);
- Cidades pequenas (altura média dos obstáculos 10m);
- Grandes centros (altura média dos obstáculos 25m)

S_3 = É um fator probabilístico obtido na NBR 6123.

Em seguida, determina-se a pressão dinâmica do vento (q), em Pa, de acordo com a Equação 2.

$$q = 0,613 \cdot V k^2 \dots\dots\dots[2]$$

Finalmente, determina-se a pressão do vento, utilizando a Equação 3:

$$P_v = C \cdot q \dots\dots\dots[3]$$

Onde:

C = É o coeficiente de forma ou coeficiente aerodinâmico, que leva em consideração a posição do vidro e as dimensões da edificação. Os critérios para determinação do valor do coeficiente de forma C estão ilustrados na Figura 14 e demonstrados na Tabela 5.

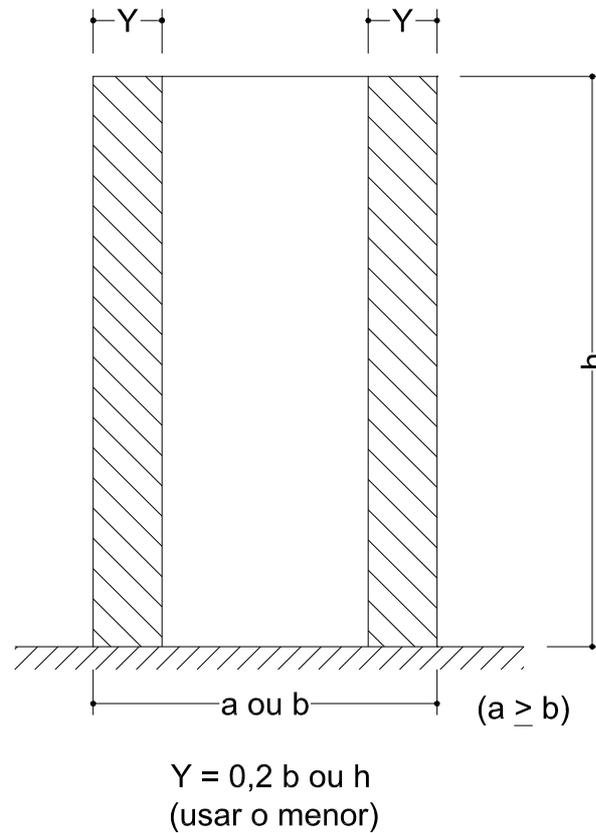


FIGURA 14 – Critério para determinação do coeficiente de forma C
FONTE: NBR 7199 (1989, p. 10)

TABELA 5 – Valores do coeficiente de forma C

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

FONTE: NBR 7199 (1989, p. 10)

Segundo a NBR 7199 (1989), para as chapas de vidro não verticais ou suscetíveis de se inclinarem em relação à horizontal durante os movimentos das subdivisões dos caixilhos, deve ser considerado o peso próprio da chapa por unidade de área pp, para efeito do cálculo da espessura.

Depois de determinar a pressão do vento, é possível calcular a pressão de cálculo, através da Equação 4:

$$P = 1,2(P_v + pp \cdot \cos \theta) \dots\dots\dots[4]$$

Onde:

P = Pressão de cálculo em Pa;

P_v = Pressão devida ao vento, em Pa;

pp = Peso próprio por unidade de área, em Pa;

θ = Menor ângulo que a chapa de vidro pode formar com a horizontal;

1,2 = Coeficiente para levar em conta os esforços devidos à limpeza e manutenção.

Segundo a NBR 7199 (1989), no caso de envidraçamentos onde não haja esforços devido ao vento, deve-se considerar uma pressão de cálculo de 600 Pa, no mínimo.

A seguir serão apresentadas as fórmulas de Timoshenko para cálculo da espessura de vidros comuns utilizados em caixilhos móveis, nas quais:

e = Espessura do vidro, em milímetro;

L = Maior lado do vidro, em metro;

l = Menor lado do vidro, em metro;

S = Área do vidro, em metro quadrado;

P = Pressão de cálculo, em Pa;

bl = Comprimento da borda livre.

Chapa de vidro apoiado em 4 lados:

- $L/l \leq 3$ (Equação 5):

$$e = \sqrt{\frac{S \cdot P}{72}} \dots\dots\dots[5]$$

- $L/l > 3$ (Equação 6):

$$e = \frac{l \cdot \sqrt{P}}{4,9} \dots\dots\dots[6]$$

Chapa de vidro apoiado em 3 lados:

- Borda livre = Lado menor (Equação 7):

$$e = \sqrt{\frac{S \cdot P}{72}} \dots\dots\dots[7]$$

- Borda livre = Lado maior e $L/l < 9$ (Equação 8):

$$e = \sqrt{\frac{3 \cdot S \cdot P}{72}} \dots\dots\dots[8]$$

- Borda livre = Lado maior e $L/l > 9$ (Equação 9):

$$e = \frac{3 \cdot l \cdot \sqrt{P}}{4,9} \dots\dots\dots[9]$$

Chapa de vidro apoiado em 2 lados (Equação 10):

$$e = \frac{bl \cdot \sqrt{P}}{4,9} \dots\dots\dots[10]$$

Para os vidros em caixilho fixo, o valor calculado para vidros em caixilhos móveis deve ser multiplicado por um coeficiente de redução igual a 0,9, exceto quando tratar-se de cobertura.

A espessura equivalente para outros tipos de vidros pode ser obtida multiplicando o valor encontrado no cálculo anterior por um coeficiente de correção, conforme ilustra a Tabela 6.

TABELA 6 – Tipo de Vidro x Coeficientes de Correção

Tipo de Vidro		Coeficiente de correção
Vidro aramado		1,20
Vidro termo-endurecido ou semi-temperado		0,90
Vidro Temperado	Se $P < 900$ Pa	0,75
	Se $P \geq 900$ Pa	0,80
Vidro Laminado	Duplo	1,30
	Triplo	1,60
Vidor Duplo ou Insulado	Duplo	1,50
	Triplo	1,70

FONTE: Manual do Vidro (2000, p. 370)

No caso de vidros laminados e vidros duplos a espessura equivalente é igual à soma das espessuras dos vidros componentes.

A espessura nominal mínima de vidros comuns é de 3mm e as dimensões máximas por espessura estão descritas na Tabela 7.

TABELA 7 – Dimensões máximas de chapa de vidro comum

Espessura nominal ¹⁾ (mm)	Largura máxima ²⁾ (m)	Altura máxima ³⁾ (m)
3	0,3	0,5
4	0,6	1,3
5	1,0	1,8
6	1,40	2,30
¹⁾ Acima de 6 mm, o estabelecimento das dimensões máximas fica sujeito a estudos especiais. ²⁾ Menor dimensão da chapa. ³⁾ Maior dimensão da chapa.		

FONTE: NBR 7199 (1989, p. 13)

3.3 Recomendações

Antes de iniciar as instalações dos vidros é necessário tomar algumas precauções para evitar possíveis danos aos vidros, conforme descrito abaixo:

Cuidado no manuseio: Deve-se verificar a presença de sinais de impacto, como trincas, lascas ou quebras, causadas durante o transporte ou descarregamento, pois, mesmo que esses defeitos fiquem ocultos no caixilho, devido à dilatação e contração poderá haver fissuras posteriores.

Defeitos oriundos da fabricação: Deve-se verificar se o vidro não apresenta defeitos como bolhas, manchas, falha na metalização, sujeira interna (no caso do vidro laminado), etc.

Acabamento das bordas: O acabamento das bordas deve ser uniforme e conforme especificado no projeto, pois falhas no acabamento podem ocasionar fissuras ou comprometer a estética da obra.

Medida dos vidros: Deve-se medir as peças a serem instaladas e comparar com as medidas especificadas no projeto, considerando as tolerâncias especificadas pelo projetista ou conforme normas brasileiras vigentes. Vidros com medidas menores podem prejudicar a instalação, gerando frestas entre os vidros ou entre o vidro e o caixilho, já os vidros com medidas maiores diminuem a folga estabelecida no projeto, podendo gerar fissuras devido ao contato entre os materiais durante a dilatação dos mesmos.

Caixilhos: O quadro do caixilho deve ser estável quanto à rigidez e forma e resistir às ações combinadas dos agentes exteriores (carga de vento, cargas acidentais, etc),

movimentação da edificação e peso próprio do vidro. Segundo a NBR 7199 (1989), a deflexão máxima instantânea deve ser inferior $L/175$ do vão, sendo L o comprimento livre do perfil em análise, não podendo exceder o limite de 2 cm em qualquer um dos seus perfis. Quando houver previsões de deformações estruturais na obra, deve-se tornar o caixilho independente da estrutura. Caso o caixilho seja metálico, esse deve ser inoxidável ou protegido contra oxidação, através de pintura ou tratamento adequado, compatível com o material de vedação a ser utilizado, já em casos de caixilhos de madeira ou de concreto, esses devem receber pelo menos uma camada de pintura de fundo em todo o rebaixo (parte do caixilho onde o vidro é instalado).

Rebaixo: Os rebaixos devem estar isentos de umidade, gordura, oxidação, poeira ou outras impurezas e, quando expostos a intempéries, devem conter furos de drenagem para evitar acúmulo de água em seu interior.

Vedação: As vedações devem resistir às solicitações de esforços transmitidas pelo vidro e serem constituídas de material imputrescível para evitar danos ao vidro. Todos os acessórios de vedação deverão permanecer suficientemente flexíveis para permitir movimentos diferenciais entre os vidros e os caixilhos sem ruptura da estanqueidade. De acordo com a NBR 7199 (1989), não é permitido a instalação com uso de massa em caixilhos de PVC e em aplicações com uso de vidro laminado ou vidro duplo (insulado)

Segurança do local: Os locais sob as áreas de instalação devem ser interditados ou protegidos adequadamente durante sua execução.

3.4 Instalação de Vidros Comuns / Laminados e Insulados

Todo vidro requer uma correta especificação e algumas atenções especiais para satisfazer a segurança e a estética, garantindo a qualidade e a vida útil das suas aplicações.

Como exemplo é possível citar o sistema de vedação, pois, no caso do vidro laminado, deficiências nesse sistema e posterior contato com solventes orgânicos utilizados para limpeza, podem provocar reações químicas com o Polivinil Butiral (PVB) ou resina, polímeros utilizados na união de duas lâminas de vidro, ocasionando a formação de bolhas nas bordas e posterior delaminação do conjunto.

Esse mesmo problema pode ser causado pela fixação do vidro através do uso de silicone inadequado, por isso recomenda-se somente o uso de silicone neutro.

3.4.1 Caixilhos

O caixilho é a parte da esquadria onde se fixam os vidros, no caso de caixilhos verticais, os principais tipos são as portas e janelas e no caso de caixilhos horizontais, é

possível citar as coberturas e marquises. Os caixilhos são divididos em dois tipos: Rebaixo aberto e Rebaixo fechado.

3.4.1.1 Rebaixo aberto

A NBR 7199 (1989) estabelece que esse tipo de instalação só é admitido para vidros de até 4 mm de espessura. Quando utilizado caixilho de madeira, é necessário utilizar dispositivos de fixação para melhorar a sustentação das chapas de vidro, tais como pregos sem cabeça ou cavilhas. A menor dimensão do rebaixo não deve ser inferior a 10 mm. A Figura 15 ilustra a instalação de vidros em rebaixo aberto.

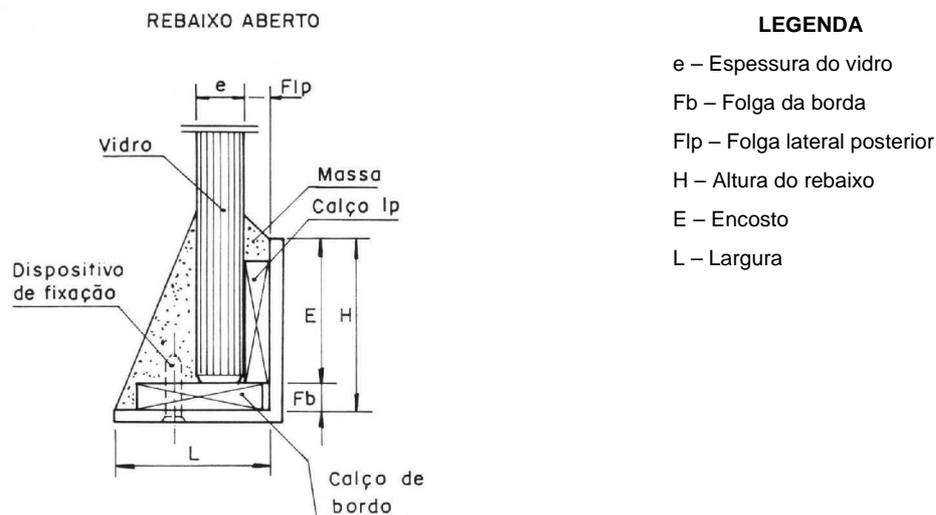


FIGURA 15 – Rebaixo aberto

FONTE: NBR 7199 (1989, p.15)

3.4.1.2 Rebaixo fechado

Para assegurar uma melhor aderência, tanto do vidro como dos acessórios de vedação, é recomendado o uso de rebaixo fechado. O rebaixo deve permitir um posicionamento correto dos calços de apoio e uma base estável para o vidro. A Figura 16 ilustra a instalação de vidros em rebaixo fechado.

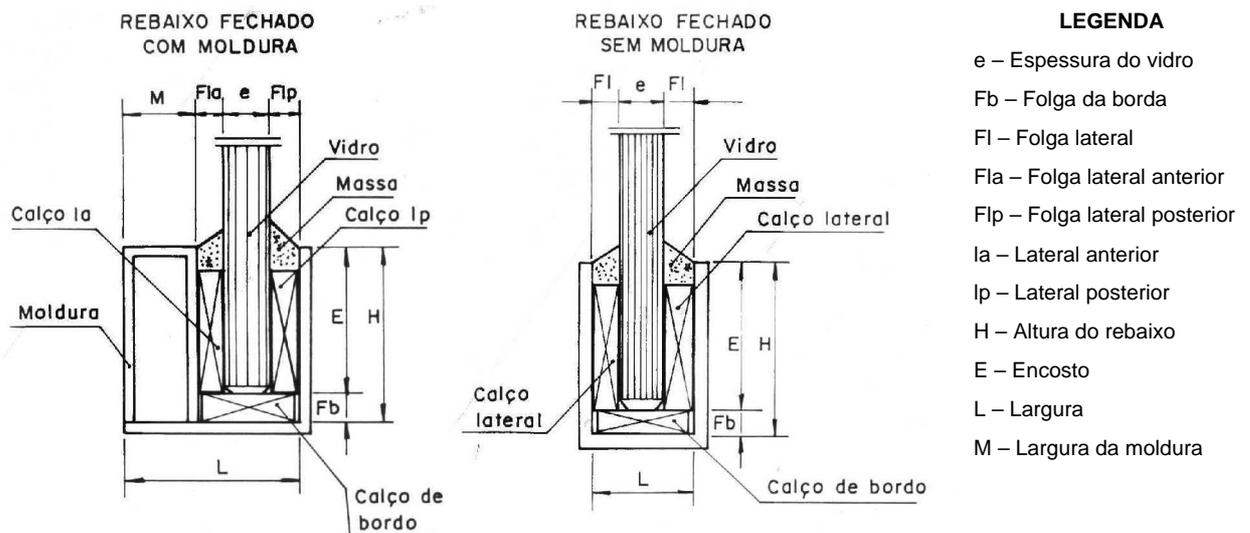


FIGURA 16 – Rebaixo fechado

FONTE: NBR 7199 (1989, p.15)

3.4.1.3 Calços

A principal função dos calços é assegurar e manter o posicionamento correto do vidro no caixilho. Os calços são pontuais e evitam o contato entre vidros e caixilhos e permitem transferir o peso do vidro para pontos precisos do caixilho. Existem três tipos de calços:

Calços de apoio ou calços de bordo de apoio: São posicionados no fundo do rebaixo e transmitem o peso do vidro para o caixilho.

Calços periféricos ou calços de bordo complementar: São colocados nas laterais e na parte superior do caixilho para evitar que o vidro deslize, principalmente em caixilhos móveis (janelas/portas de abrir, de correr, basculante, maximar, etc)

Calços laterais: São colocados em contato com as faces do vidro, buscando transferir para o caixilho as solicitações perpendiculares ao plano do vidro.

Materiais putrescíveis, higroscópicos e que escoem com o tempo sob pressão não devem ser utilizados como calços. As dimensões apropriadas para cada tipo de calços devem atender os valores especificados na Tabela 8.

TABELA 8 – Dimensões dos calços

	Calços de apoio		Calços periféricos		Calços laterais	
Largura	Necessária para que a totalidade da espessura do vidro repouse sobre os calços. Na prática no mínimo igual a espessura aumentada de uma tolerância lateral.		Necessária para que a totalidade da espessura do vidro repouse sobre os calços.		Suficiente para apoiar o vidro, mas ao mesmo tempo não provoque descontinuidade na vedação da junta	
Comprimento	Em neoprene: L (mm)= 30 x (Área do vidro m ²). Em materiais sintéticos com dureza de 70 shores: L= 50 mm		Pelo menos igual a 50 mm.		Pelo menos igual a 50 mm.	
Espessura	p (m)	e (mm)	p (m)	e (mm)	p (m)	e (mm)
(função do meio-perímetro: p = P/2, em metros).	$p \leq 2,5$	3	$p \leq 2,5$	3	$p \leq 2,5$	3
	$2,5 < p \leq 5$	4	$2,5 < p \leq 5$	4	$2,5 < p \leq 5$	4
	$5 < p \leq 7$	5	$5 < p \leq 7$	5	$5 < p \leq 7$	5
	$p > 7$	6	$p > 7$	6	$p > 7$	6

FONTE: Manual do vidro (2000, p.435/436)

Ainda segundo a NBR 7199 (1989), os calços de borda são posicionados em geral entre 1/10 e 1/15 da dimensão do respectivo lado da chapa, a partir do canto do vidro, nos caixilhos fixos, de abrir, maximar, de correr, guilhotina e basculante. No caso dos caixilhos pivotantes, os calços de borda de apoio são posicionados em relação ao eixo de rotação, conforme ilustra a Figura 17.

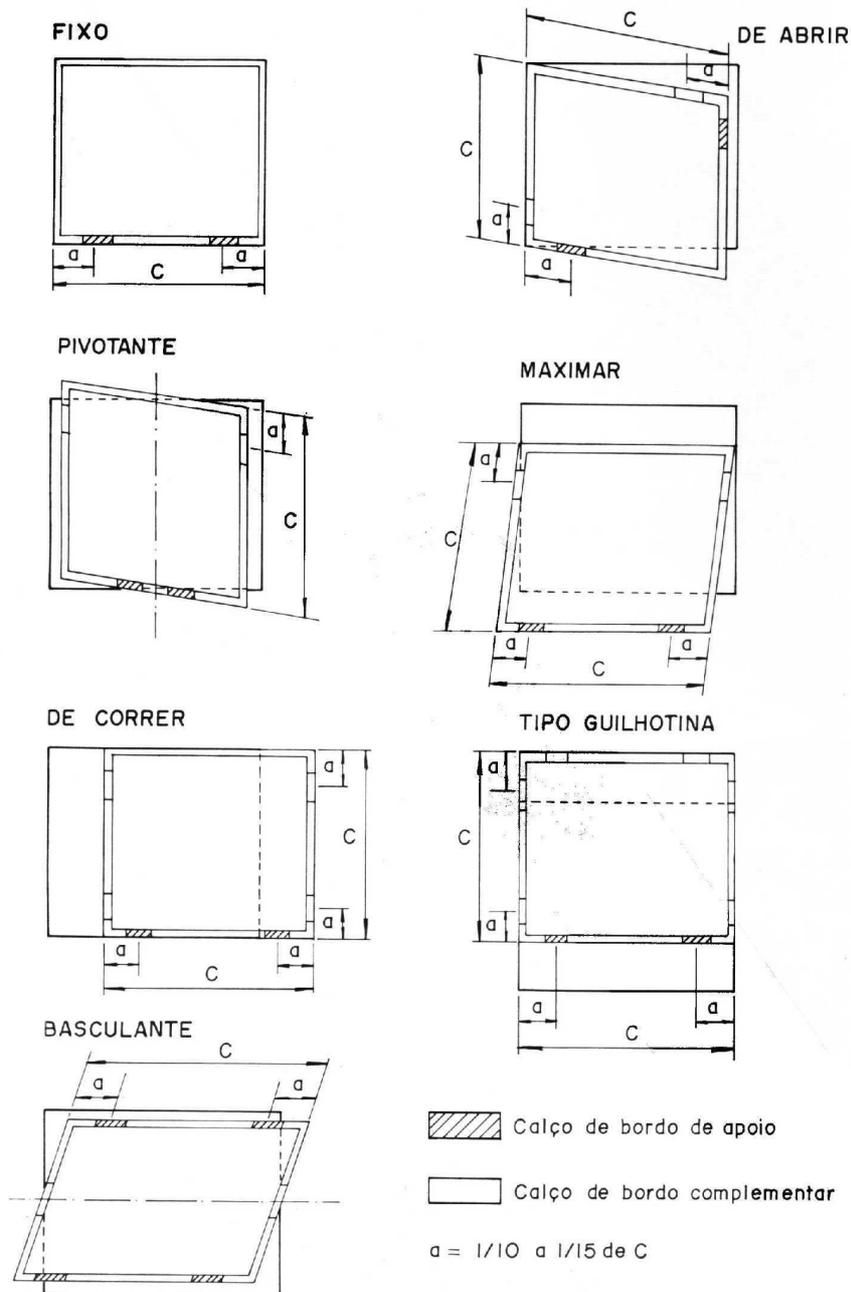


FIGURA 17 – Posicionamento dos calços
FONTE: NBR 7199 (1989, p.16)

3.4.2 Vidro Exterior Colado - VEC (Glazing)

A técnica de VEC ou Glazing consiste na colagem dos vidros no quadro de suporte, sem que o quadro fique aparente na fachada, obtendo um aspecto de fachada que evidencia somente os vidros, conhecido popularmente como “Pele de Vidro”. As peças de vidro são coladas com silicone estrutural neutro, que funciona acima de tudo como elemento de transferência das tensões dessas peças ao suporte, devendo suportar os esforços provocados pelo vento, peso próprio do vidro e as dilatações diferenciais entre o vidro e

quadro de suporte. Geralmente esse tipo de instalação é realizado utilizando-se vidros laminados ou duplos, podendo eventualmente ser utilizado vidro temperado. As Figuras 18 e 19 ilustram a instalação de vidros através da técnica de VEC.

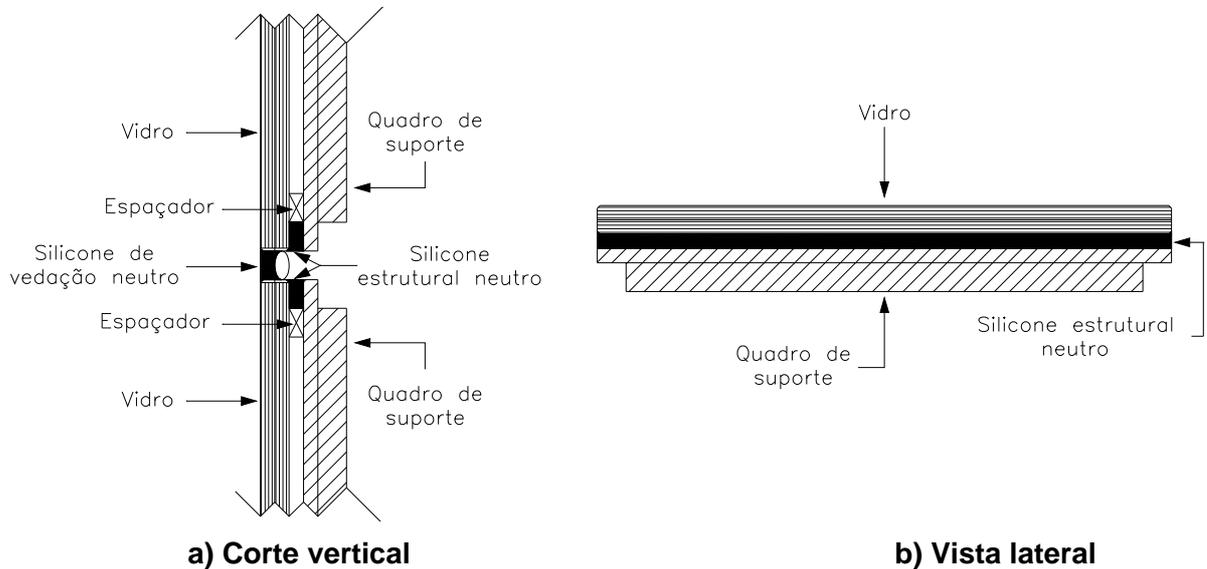


FIGURA 18 – Instalação em VEC

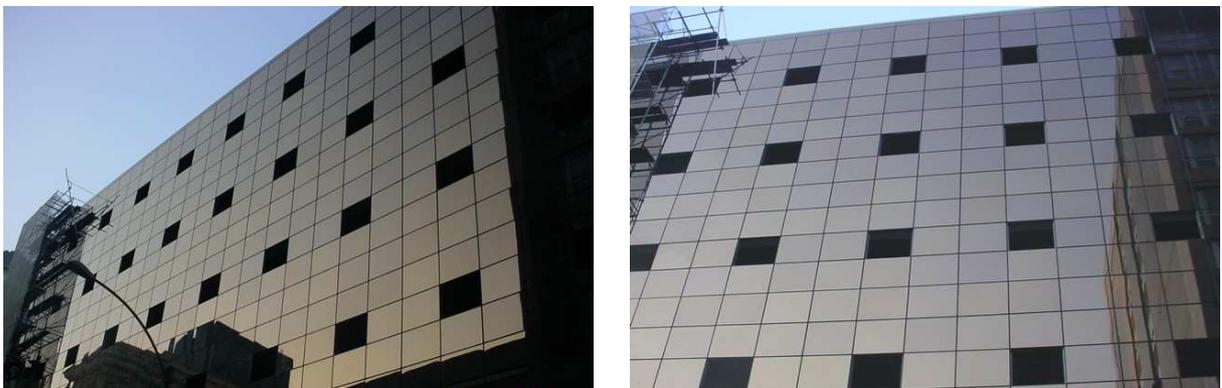


FIGURA 19 – Foto de fachada com instalação em VEC

3.5 Instalação de Vidros Temperados

O vidro temperado é amplamente utilizado na construção civil em portas internas e externas, entradas e fachadas de edifícios, box de banheiros, lojas, fábricas, etc, justamente por oferecer maior resistência mecânica (flexão, torção e flambagem), maior resistência ao choque térmico, maior segurança, quando comparado com o vidro comum, pois, quando ocorre a quebra, o vidro temperado fragmenta-se totalmente em pequenas partículas sem pontas e com bordas pouco cortantes, diminuindo o risco de acidentes. Em contrapartida,

seu projeto deve ser muito bem elaborado, pois em caso de erro no projeto não é possível executar cortes, recortes ou furações.

3.5.1 Caixilhos

A instalação de vidros temperados em caixilhos segue os mesmos parâmetros estabelecidos no item 3.4.1 desse trabalho.

3.5.2 Autoportante

Auto-portante é um tipo de instalação onde o vidro temperado é fixado com uso de acessórios (ferragens) instalados na alvenaria e no próprio vidro, dispensando o uso de caixilhos. As ferragens são fixadas através de furos e recortes no vidro e especificadas através de catálogo do fabricante e de acordo com o ponto de fixação.

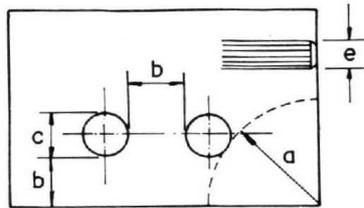
Conforme a NBR 7199 (1989), a instalação deve ser feita fixando as ferragens na alvenaria e, em seguida, a colocação dos vidros, obedecendo as seguintes folgas entre eles:

- a) Entre peças móveis e fixas, 2 mm a 3 mm;
- b) Entre peças móveis, 3 mm a 4 mm;
- c) Entre peças móveis e piso, 7 mm a 8 mm;
- d) Entre chapas fixas, 1 mm a 2 mm.

As portas devem ser montadas por último para uma correta regulagem da mola hidráulica.

Após o processo de têmpera, o vidro temperado não permite que sejam feitos recortes, perfurações ou lapidações (acabamento das bordas), portanto esses processos devem ser realizados antes da têmpera.

Nos projetos de vidros temperados autoportantes deve-se seguir as recomendações ilustradas pela Figura 20.



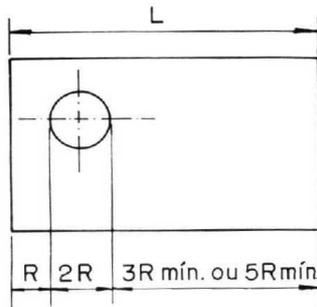
Furos até $\varnothing 80\text{mm}$

$e =$ espessura da chapa

$a \geq 4e$

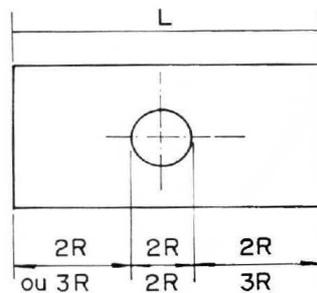
$b \geq 2e$

$c \geq 1e$



Furos de \varnothing acima de 80mm deslocados do centro da chapa

Um furo pode situar-se a uma distância de bordo igual ao seu raio, desde que o outro bordo não-adjacente esteja a uma distância de três vezes o raio para vidros de 9mm a 10mm e cinco vezes o raio para vidros de 8mm a 9mm.

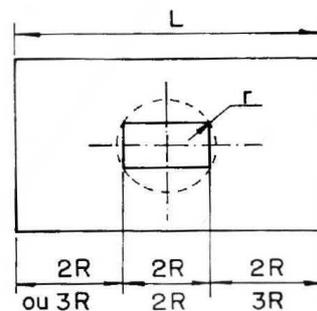


Furos de \varnothing acima de 80mm colocados no centro da chapa

Um furo colocado no centro da chapa deve ter um diâmetro máximo de $1/4$ do comprimento da chapa, quando esta for de 8mm a 9mm, e de $1/3$, quando for de 9mm a 10mm.

$2R/L = 1/4$ para vidros de 8mm a 9mm e

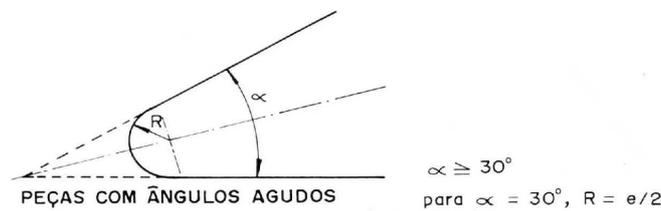
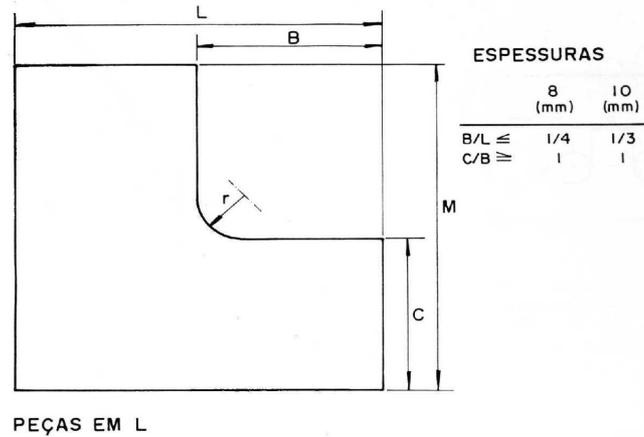
$2R/L = 1/3$ para vidros de 9mm a 10mm.



Furos retangulares

Os furos retangulares ou quadrados devem estar inscritos num círculo conforme os padrões mostrados. O raio mínimo dos cantos destes furos retangulares ou quadrados é de 20mm

a) Recomendações para Projetos Relativas aos Furos



b) Recomendações para Projetos Relativas aos Raios e Ângulos

FIGURA 20 – Recomendações para Projetos de Vidros Temperados Autoportantes

FONTE: NBR 7199 (1989, p 21 e 22)

A Figura 21 ilustra um desenho de instalação autoportante, no qual é possível visualizar os vidros e as ferragens a serem utilizados, sendo que ao lado de cada ferragem encontram-se seus respectivos códigos comerciais.

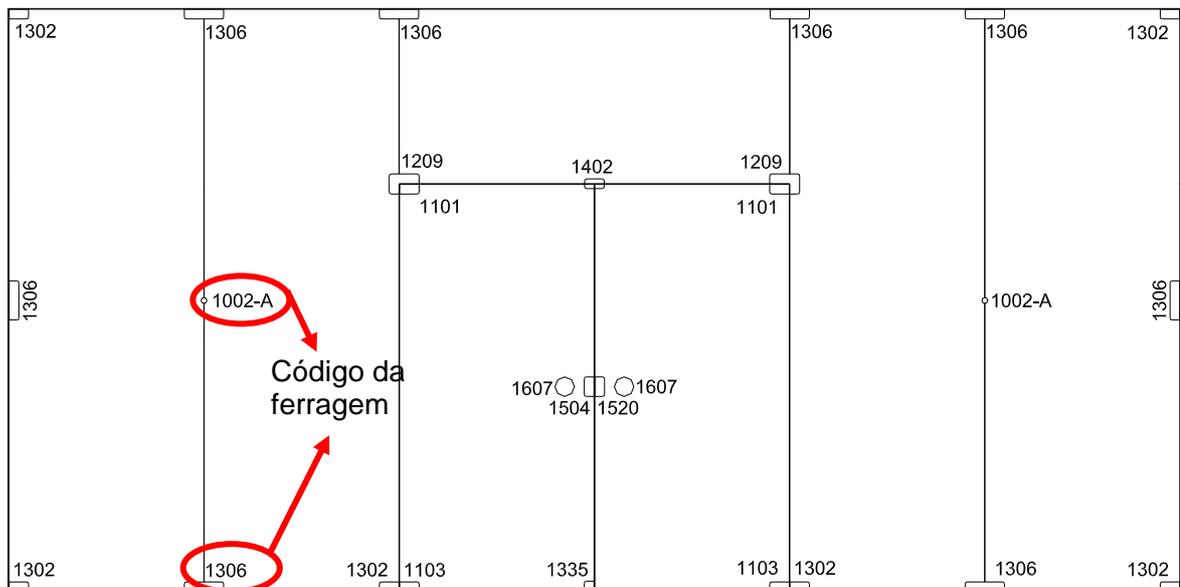


FIGURA 21 – Disposição das Ferragens

3.5.3 Vidro Exterior Articulado - VEA ou Spider Glass

O vidro exterior articulado ou spider glass é um sistema de instalação que utiliza vidros parafusados, suspensos e fixados a uma estrutura portante destacada do plano dos vidros. Os vidros são totalmente sustentados pelos parafusos. Este tipo de fixação pode ser usado em fachadas e coberturas, geralmente utilizando vidros temperados ou vidros temperados laminados, por apresentarem maior resistência mecânica. Os vidros a serem instalados possuem um tipo de furação especial, no formato de um cone até metade da espessura do vidro, de modo que, após a instalação, o parafuso fique alinhado com a face do vidro, conforme ilustra a Figura 22.

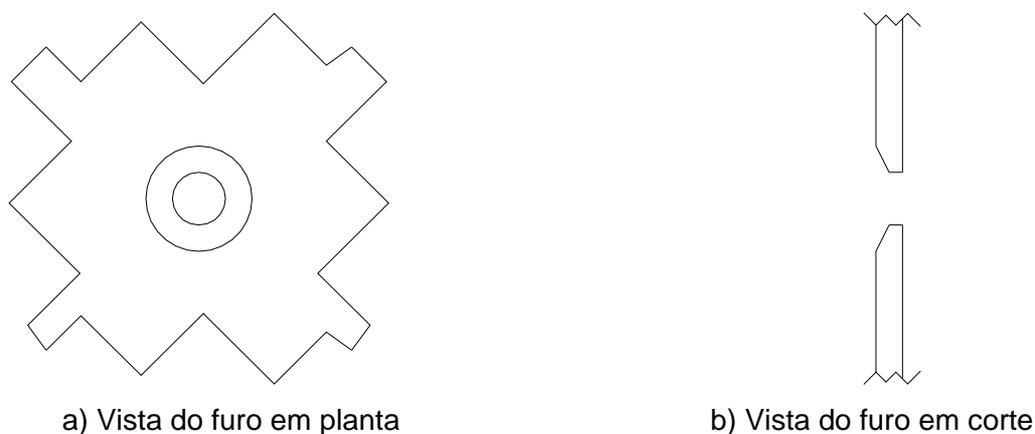


FIGURA 22 – Detalhe do furo no vidro para instalação em VEA

Os dispositivos de fixação dos vidros devem permitir a absorção dos seguintes esforços:

Força do vento: é utilizado um dispositivo especial (rótula) permitindo que os vidros flexionem levemente sob ação do vento.

Peso próprio do vidro: são suportados somente pelos parafusos superiores

Movimentos diferenciais entre o vidro e a estrutura: As juntas entre as chapas são preenchidas em silicone flexível, resistindo às tensões de tração e compressão.

A Figura 23 ilustra a absorção dos esforços pelos dispositivos de fixação e a Figura 24 ilustra os tipos de fixações apropriadas para cada tipo de vidro.

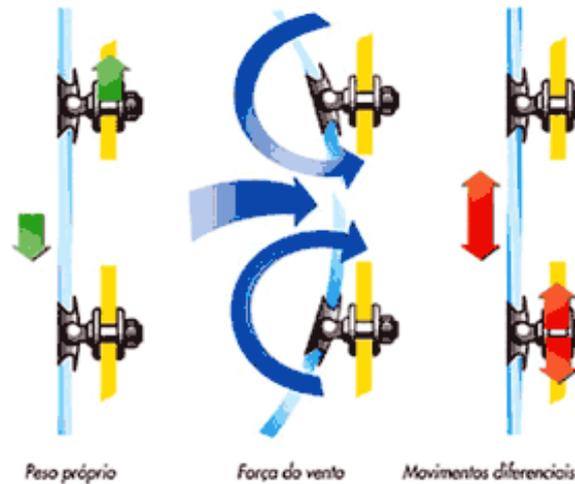


FIGURA 23 – Absorção dos esforços
FONTE: Manual do Vidro (2000, p.448)

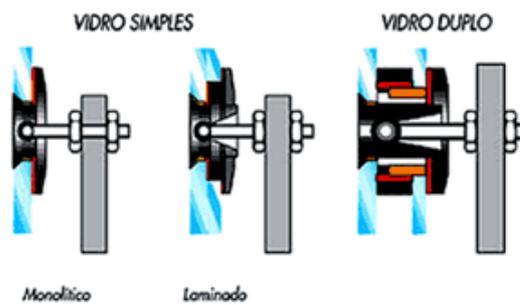
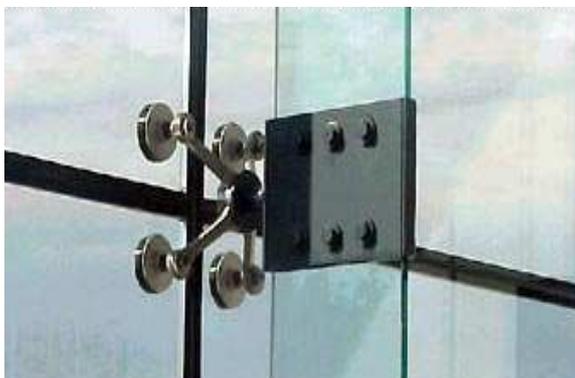


FIGURA 24 – Tipos de fixações
FONTE: Manual do Vidro (2000, p.449)

Existem vários modelos de suporte para fixação de vidros através da técnica de VEA, geralmente escolhidos pelo arquiteto através de catálogos dos fabricantes, porém todos possuem as mesmas características de articulação, conforme ilustra a Figura 25.



a) modelo 1



b) modelo 2



c) modelo 3



d) modelo 4

FIGURA 25 – Modelos de suporte

FONTE: http://www.metallica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=825
(acesso: 24 outubro 2007)

3.6 Desempenho da Indústria do Vidro

O consumo de vidro no Brasil vem crescendo a cada ano. As indústrias fabricantes e beneficiadoras de vidros estão investindo cada vez mais em equipamentos de alta tecnologia, aumentando sua capacidade produtiva.

Segundo a Abividro, a indústria do vidro pode ser dividida da seguinte forma:

Vidros para embalagem: São os vidros produzidos para potes de alimentos, frascos, garrafas para bebidas, produtos farmacêuticos, entre outros. A utilização do vidro como embalagem é uma das mais antigas e freqüentes aplicações. A maior utilização é a do setor de bebidas, principalmente cervejas, seguida pela indústria de alimentos e, em seguida, produtos não alimentícios, sobretudo farmacêuticos e cosméticos.

Vidros domésticos: São aqueles usados em utensílios como louças de mesa, copos, xícaras, e objetos de decoração como vasos.

Vidros planos: São os vidros consumidos principalmente pela construção civil, seguida pela indústria automobilística e moveleira, sendo também utilizado na produção de espelhos.

Vidros técnicos: São vidros com composições e características especiais, adequadas a necessidades muito específicas de utilização, como os usados na produção de cinescópios para monitores de televisão e computadores, bulbos de lâmpadas, garrafas térmicas, fibras óticas, blocos oftálmicos, blocos isoladores e, até mesmo, tijolos de vidro.

A seguir, serão apresentados alguns dados estatísticos sobre o desempenho da indústria do vidro nos últimos anos, através das Tabela 9, 10, 11, 12 e da Figura 26, onde é possível constatar o crescimento do seguimento de vidro plano, principalmente em relação ao faturamento anual.

TABELA 9 – Desempenho Global do Setor Vidreiro em 2006

Segmento	Faturamento (milhões R\$)	Participação	Capacidade de Produção (mil toneladas)	Investimento em 2006 (milhões US\$)	Investimento em 2007 previsão (milhões US\$)	Empregos (mil)
Embalagem	1.230	31,4%	1.297	42,0	48,0	5,1
Doméstico	512	13,1%	228	15,0	22,0	2,3
Vidros Técnicos	1.081	27,6%	325	27,0	30,0	3,3
Vidros Planos	1.095	27,9%	1.240	25,0	27,0	1,4
TOTAL	3.918	100,0%	3.090	109,0	127,0	12,1

FONTE: <http://www.abividro.org.br/index.php/35>
(acesso: 24 outubro 2007)

TABELA 10 – Histórico de Faturamento do Setor Vidreiro (milhões R\$)

Segmento	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Varição
Embalagem	829	967	1.034	1.109	1.168	1.230	5,3%
Doméstico	330	358	430	480	474	512	8,0%
Vidros Técnicos	660	853	896	1.119	1.078	1.081	0,3%
Vidros Planos	846	924	968	998	1.033	1.095	6,0%
TOTAL	2.665	3.102	3.328	3.706	3.753	3.918	4,4%

FONTE: <http://www.abividro.org.br/index.php/35>
(acesso: 24 outubro 2007)

TABELA 11 – Histórico de Empregos no Setor Vidreiro (mil)

Segmento	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Varição
Embalagem	5,6	5,6	5,6	5,4	5,1	5,1	0,0%
Doméstico	2,6	2,6	2,6	2,6	2,3	2,3	0,0%
Vidros Técnicos	3,0	3,1	3	3,5	3,4	3,3	-2,9%
Vidros Planos	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	1,4	0,0%
TOTAL	12,6	12,7	12,5	12,9	12,2	12,1	-0,8%

FONTE: <http://www.abividro.org.br/index.php/35>
(acesso: 24 outubro 2007)

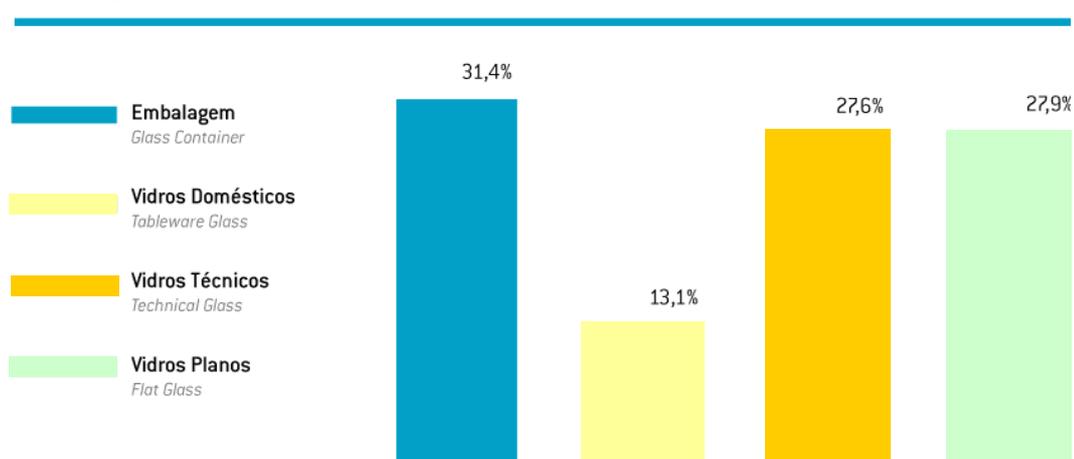
PARTICIPAÇÃO EM VENDAS POR SEGMENTO *SHARE IN REVENUE BY SEGMENT*

FIGURA 26 – Comparativo entre os Seguintos do Setor Vidreiro

FONTE: <http://www.abividro.org.br/index.php/34>
(acesso: 24 outubro 2007)

TABELA 12 – Perfil do Seguimento de Vidros Planos

Ano	Faturamento (milhões R\$)	Capacidade de Produção (mil toneladas)	Investimento (milhões US\$)	Exportações (milhões US\$)
2001	846	1.110	44	66
2002	924	1.050	39	71
2003	968	1.050	66	92
2004	998	1.240	63	115
2005	1.033	1.240	21	138
2006	1.095	1.240	25	139

FONTE: <http://www.abividro.org.br/index.php/34>
(acesso: 24 outubro 2007)

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que nos últimos anos o vidro evoluiu muito tecnologicamente, principalmente quanto ao processo de fabricação e beneficiamento, passando de um simples material utilizado para passagem de luz e vedação contra intempéries, para um material altamente técnico e multifuncional, capaz de combinar funções necessárias para atender às exigências modernas de conforto, com funções estritamente estéticas e decorativas.

Durante a pesquisa bibliográfica, foi possível concluir que a literatura em assuntos relacionados a vidros é escassa, ficando limitada às normas técnicas de fabricação e aplicação e aos manuais técnicos dos fabricantes.

Quanto à especificação, devido à existência de uma enorme variedade de produtos em vidro, cada um com propriedades diferentes, chega-se à conclusão de que é fundamental conhecer as necessidades da obra e as características técnicas dos vidros, visando especificar aquele que seja mais adequado e, dessa forma, extrair a máxima eficiência de suas particularidades.

Outro fator importantíssimo a ser considerado é a técnica de instalação a ser empregada e os cuidados necessários para uma correta aplicação, tendo em vista que falhas nessa etapa podem comprometer o desempenho do vidro, prejudicando o conforto e a beleza da edificação.

Este trabalho procurou apresentar as aplicações do vidro na construção civil, pois embora seja um material amplamente utilizado, ainda é de conhecimento limitado dos engenheiros civis e arquitetos. Desse modo, espera-se que os profissionais da construção civil se interessem cada vez mais pela utilização do vidro, um material nobre, extremamente atraente, de grande potencial estético e indispensável para garantir a incidência de luz e comunicação entre os ambientes, fatores considerados essenciais ao ser humano.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 7199 – Projeto, execução e aplicação de vidros na construção civil**, Rio de Janeiro – 1989.

_____. **NBR 7210 – Vidro na construção civil – Terminologia**, Rio de Janeiro – 1989.

_____. **NBR 11706 – Vidro na construção civil – Especificação**, Rio de Janeiro – 1992.

_____. **NBR 14697 – Vidro laminado**, Rio de Janeiro – 2001.

_____. **NBR 14698 – Vidro temperado**, Rio de Janeiro – 2001.

_____. **NBR 6123 – Forças devido ao vento em edificações**, Rio de Janeiro – 1988.

_____. **NBR 15000 – Blindagens para impactos balísticos - Classificação e critérios de avaliação**, Rio de Janeiro – 2005.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS AUTOMÁTICAS DO VIDRO - ABIVIDRO, **A História do Vidro / Dados Estatísticos**. Disponível em: <<http://www.abividro.org.br/index.php>>. Acesso em: 24 outubro 2007.

CEBRACE, **Fotos Ilustrativas**. Disponível em: <<http://www.cebrace.com.br/>>. Acesso em: 26 outubro 2007.

EINSFELDT, Alan A.; FAGUNDES, Hilton A.V.; GREVEN, Hélio A. **ABC do conforto acústico**. S/D.

GLASSEC, **Fotos Ilustrativas**. Disponível em: <<http://www.glassec.com.br/>>. Acesso em: 26 outubro 2007.

METÁLICA, **Fotos Ilustrativas**. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php>. Acesso em: 24 outubro 2007.

O vidroplano. São Paulo: ago.2006 – Mensal.

SAINT-GOBAIN, GLASS. **Manual do vidro**. Paris, França: 2000.

SHERER, M. J., **Estudo do Isolamento Sonoro de Vidros de Diferentes Tipos e Espessuras, em Vitragem Simples e Dupla**, Santa Maria – RS, Dissertação de Mestrado - 2005

Tecnologia e Vidro. São Paulo: out/nov. 2005 – Bimestral.