

RAFAEL PIEDADE CARVALHO

**INOVAÇÕES EM VIDROS PARA APLICAÇÃO
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para graduação em Engenharia

**São Paulo
2006**

RAFAEL PIEDADE CARVALHO

**INOVAÇÕES EM VIDROS PARA APLICAÇÃO
NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo para graduação em Engenharia

Área de Concentração: Engenharia de
Materiais

Orientador: Prof. Dr. Samuel Márcio Toffoli

São Paulo
2006

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe, Irene;
meu pai, Wellington; e minha irmã, Carolina.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Samuel Toffoli, pela orientação e oportunidade de aprendizado que a mim foram concedidas para que fosse possível a realização deste trabalho.

Aos colegas do primeiro ano, que após toda essa convivência, posso considerá-los grandes amigos.

A todos da turma de Engenharia de Materiais, que com certeza, de alguma forma, contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico.

Às pessoas mais próximas, que tenho grande consideração e sempre estiveram ao meu lado, em qualquer situação.

À Camila Hashizume, por todo o suporte e pela enorme ajuda nos momentos em que precisei.

À minha família pelo apoio e confiança em todos os momentos.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo realizar uma ampla pesquisa e informar a atual situação da indústria de vidros destinados à Construção Civil, com relação a inovações implantadas no mercado, a fim de proporcionar soluções das mais variadas para os diversos problemas do setor.

Foram considerados, nesta pesquisa, produtos já comercializados por dois dos maiores produtores mundiais de vidro: Saint-Gobain Glass e Pilkington. Além destes, é possível também conhecer vidros que ainda estão sendo estudados, por pesquisadores do mundo todo que procuram encontrar as soluções mais próximas do ideal, para cada situação.

Por fim, este trabalho conclui que a indústria vidreira tem um futuro muito promissor, onde indicadores apontam um aumento considerável da demanda de vidros para o setor de Construção Civil.

ABSTRACT

This work has the propose to develop a wide range search and to report the situation of the glass industry, specially the ones destined to buildings applications. The search correspond to products that have entered the market like an innovation. Commercialized glasses from Saint-Gobain Glass and Pilkington were considered in this work. As some studies published in scientific articles were considerated too. Finally, this work concludes that the glass industry has a very promising future, indicated by the considerable growth of the structural glasses demand.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	VIDROS.....	3
2.1	A HISTÓRIA DO VIDRO.....	3
2.2	DEFINIÇÃO	6
2.3	COMPOSIÇÃO.....	6
2.4	MICROESTRUTURA.....	7
2.5	TIPOS DE VIDROS.....	9
2.5.1	<i>Vidro de Silica Pura</i>	9
2.5.2	<i>Vidro de Silica 96%.....</i>	10
2.5.3	<i>Vidro Sodo-Cálcico</i>	10
2.5.4	<i>Vidro ao Chumbo</i>	11
2.5.5	<i>Vidro Borossilicato.....</i>	12
2.5.6	<i>Vidro Alumino-Silicato.....</i>	12
3	VIDROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	14
3.1	TRATAMENTOS DE VIDROS PLANOS	15
3.1.1	<i>Vidros Temperados.....</i>	15
3.1.2	<i>Vidros Laminados.....</i>	17
3.1.3	<i>Vidros Reflektivos.....</i>	18
3.2	OUTRAS MODIFICAÇÕES NOS VIDROS.....	19
3.2.1	<i>Vidros Aramados</i>	19
3.2.2	<i>Vidros Espelhados</i>	20
3.2.3	<i>Vidros Decorativos</i>	20
3.2.4	<i>Películas</i>	21
3.3	PRINCIPAIS PROBLEMAS	22
3.4	INOVAÇÕES.....	24
3.4.1	<i>Conforto Ambiental</i>	24
3.4.2	<i>Segurança.....</i>	33
3.4.3	<i>Limpeza</i>	35
4	CENÁRIO ECONÔMICO.....	36
4.1	MERCADO MUNDIAL.....	36
4.2	SETORES DE MERCADO	36
4.3	PRINCIPAIS FABRICANTES	37
4.4	CRESCIMENTO INDUSTRIAL	38
4.5	VIDRO PLANO NO BRASIL	39
5	CONCLUSÕES	41
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

1 INTRODUÇÃO

É notável que a utilização de vidros na Construção Civil vem aumentando muito nas últimas décadas. Em consequência disso, inúmeros novos problemas são enfrentados, decorrentes do emprego equivocado do material. O modismo e a falta de base técnica levaram os projetistas a aumentar as superfícies envidraçadas, sem pensar adequadamente nos efeitos da radiação solar.

O vidro ocupa lugar de destaque na arquitetura contemporânea, mas em países de clima tropical, como o Brasil, a atenção deve ser redobrada quanto à especificação do tipo mais adequado. Sempre lembrando que a entrada de luz e a abertura de vistas para o exterior vêm acompanhadas do excesso de energia térmica por radiação, que aquecerá os ambientes internos [1].

Os fechamentos transparentes atuais incorporam uma preocupação com relação ao controle do consumo energético, e como decorrência, os recentes avanços tecnológicos buscam tanto o controle da perda de calor no frio, como também o bloqueio do calor devido à radiação solar, no verão [2].

Até bem pouco tempo atrás, as propriedades de transmissão solar dos vidros na construção civil eram muito similares, pois os vidros incolores constituíam material primário básico usado em janelas. Nas três últimas décadas, porém, a tecnologia de fabricação e tratamento dos vidros tem mudado bastante [3,4,5], propiciando materiais com propriedades cada vez mais satisfatórias, para cada necessidade.

Quanto mais envidraçadas as fachadas, maior a incidência de luz e calor solar no interior das edificações. Caso os raios de Sol não sejam barrados, certamente o edifício será um grande consumidor da energia que aciona os sistemas de ar condicionado, além de gerar desconforto ambiental aos seus usuários [1]. Processos industriais de laminação, metalização e fabricação de insulados, entre outros, têm colocado no mercado vidros com eficiente desempenho para as mais diversas solicitações, em fachadas e coberturas. Eles garantem segurança e elevam os níveis de conforto térmico e acústico no interior das construções. Podem ainda manter a transparência, abrindo a construção para os exteriores.

O objetivo deste trabalho é fazer uma pesquisa abrangente no que diz respeito a estudos, inovações e aplicações tecnológicas em vidros para utilização na Construção Civil, todos focados na melhoria de desempenho deste material, dependendo de sua necessidade.

Primeiramente será descrita uma breve história do vidro na humanidade, desde sua descoberta até os mais modernos processos de fabricação. Em seguida serão apresentados os tipos de vidro mais utilizados em edificações, citando em que situações cada um é aplicado. Os principais problemas decorrentes do crescente uso dos vidros na Construção Civil também são listados e analisados neste trabalho. Uma atenção especial será dada às inovações aplicadas aos vidros planos, com o intuito de aumentar a eficiência deste material como barreira aos raios solares, proporcionando maior conforto a todos. Por fim, serão exibidos números que caracterizam os cenários mundial e brasileiro, no que diz respeito à indústria vidreira, principalmente destinada à aplicação na Construção Civil.

2 VIDROS

Este tópico é iniciado com uma breve história do vidro, inserida no contexto do desenvolvimento da civilização humana. Em seguida, faz-se uma descrição do material, citando sua definição, composição e estrutura. Por fim, são apresentados os principais tipos de vidro, juntamente com suas características e aplicações mais usuais.

2.1 A História do Vidro

O vidro é um dos materiais mais antigos de utilização humana, aparecendo em achados arqueológicos de muitas civilizações.

A primeira obtenção deste produto se deve a um processo puramente natural. A fusão de rochas pela erupção dos vulcões [6,7].

O resfriamento rápido das rochas fundidas nos magmas dos vulcões não permitia o arranjo cristalino, formando espécies minerais vítreas definidas. Estes chamados vidros naturais são conhecidos como obsidianas, que por sua vez possuem alto teor de sílica (SiO_2), alumina (Al_2O_3) e outros óxidos que lhe conferem cor preta, vermelha ou verde. Devido a sua relativa dureza e forma concoidal de fratura, este vidro foi muito utilizado para a confecção de instrumentos cortantes e pontas de flechas em determinadas culturas pré-históricas, como pode ser visto na Figura 2.1 abaixo [8].

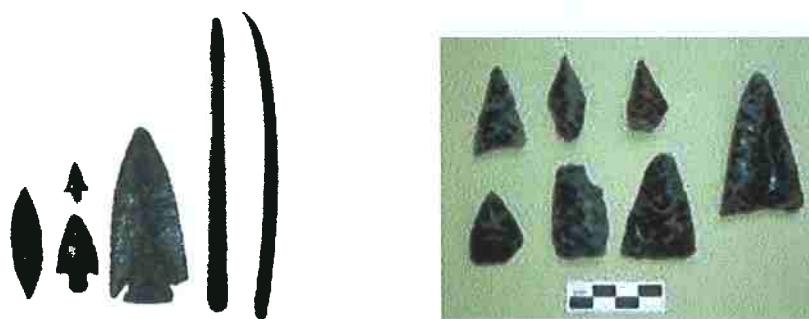


Figura 2.1 – Instrumentos cortantes feitos de obsidiana [8].

Até 1500 a.C., o vidro tinha pouca utilidade prática e era empregado principalmente como adorno. A partir desta época, no Egito, iniciou-se a produção de recipientes da seguinte maneira: a partir do vidro fundido, faziam-se filetes que eram enrolados em forma de espiral em moldes de argila. Quando o vidro esfriava, tirava-se a argila do interior e se obtinha um frasco, que pela dificuldade de obtenção era somente acessível aos muito ricos [9].

Por volta de 300 a.C., uma grande descoberta revolucionou o vidro: o sopro. Os primeiros métodos realmente eficazes de fabricação do vidro desenvolveram-se através do uso da cana de soprar (utensílio utilizado para soprar e moldar objetos em vidro). O processo consiste em colher uma pequena porção de vidro com a ponta de um tubo e soprar pela outra extremidade de maneira a se produzir uma bolha no interior da massa, facilitando a fabricação de recipientes finos e transparentes [6,7,9]. É interessante ressaltar que este método é ainda utilizado, porém em escala muito menor, limitando-se à fabricação de vidros únicos como, por exemplo, vitrais. Pode-se ver na Figura 2.2 que o processo de produção pelo método do sopro praticamente não sofreu alterações, desde a antiguidade até os dias de hoje [10].



Figura 2.2 – Ilustração do processo de produção pelo método do sopro [10].

A fabricação do vidro plano também era feita pelo método do sopro [6,7]. Ao soprar a massa fundida e em seguida executar movimentos pendulares com o bastão, o vidro vai tomando a forma de um cilindro. Suas extremidades são então cortadas e em seguida é feita uma abertura longitudinal na parede do cilindro. Ao ser colocado novamente no forno, o vidro volta a fundir e, com o auxílio de ferramentas, é estirado a fim de se obter uma placa de vidro totalmente plana.

Incentivado pelo desafio de se obter uma placa de vidro mais plana possível, sem praticamente nenhuma irregularidade, em 1959, Sir Alastair Pilkington mostrou

ao mundo um processo que mudaria a história da indústria vidreira [11]: o processo *Float*.

As matérias-primas do vidro são misturadas no forno de fusão a uma temperatura aproximada de 1500 °C. Em seguida, o vidro líquido escoa sobre um banho de estanho inicialmente a 1100 °C, chegando ao final do banho a 600 °C, tudo sob uma atmosfera controlada. Os princípios utilizados no processo são a tensão superficial e a transferência de calor. Como o estanho líquido é mais denso que o vidro, a interface entre os dois faz com que a superfície inferior da placa de vidro fique extremamente plana, enquanto a gravidade faz com que a superfície superior fique também plana. Já a transferência de calor é responsável pelo resfriamento progressivo do vidro, fazendo com que ele chegue praticamente sólido ao final do banho.

A Figura 2.3, a seguir [12], ilustra de modo resumido, toda a linha do processo *Float*, que pode chegar a aproximadamente 500 metros de comprimento. Para se ter uma idéia da revolução que o processo *Float* causou, este pode chegar a produzir cerca de 700 ton/dia, contra no máximo 200 ton/dia nos imediatamente anteriores e não mais utilizados.

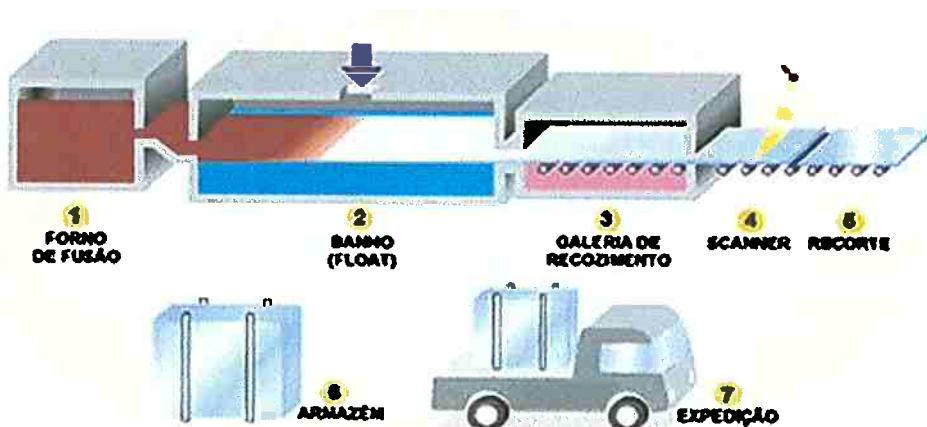


Figura 2.3 – Linha completa do processo *Float* [12].

2.2 Definição

Há diversas definições possíveis para o vidro, dependendo apenas do contexto onde esta palavra está inserida. No dicionário [13], por exemplo, existem sete definições diferentes. A primeira é mais técnica, enquanto a segunda já cita objetos feitos do material. É muito comum as pessoas associarem o material ao objeto, como é o caso de copos, janelas, etc.

De acordo com norma da ASTM:

"Vidro é um material inorgânico, produto de fusão, resfriado a uma condição rígida, sem cristalizar".

2.3 Composição

Basicamente, para a formação de um vidro são envolvidos três elementos: um vitrificante, um fundente e um estabilizante.

O vidro não tem uma composição definida, visto que existem inúmeras combinações de elementos/compostos que podem gerar vidros, variando qualitativa e quantitativamente a composição.

Tendo isso em vista, focaremos na composição básica de um vidro sodo-cálcico, utilizado na Construção Civil [14,15].

- Vitrificante: sílica, introduzida sob a forma de areia (70 a 72%);
- Fundente: soda, sob a forma de carbonato e sulfato (cerca de 14%);
- Estabilizante: óxido de cálcio, sob a forma de calcário (cerca de 10%).

Além destes componentes, diversos outros óxidos podem estar presentes [16], tais como os óxidos de alumínio e magnésio, que melhoraram as propriedades físicas do vidro, especificamente a resistência à ação dos agentes atmosféricos.

2.4 Microestrutura

Grande parte da matéria-prima necessária para a fabricação de um vidro é composta por areia, constituída essencialmente por sílica (SiO_2), que por sua vez exerce o papel de óxido formador de rede. Óxidos formadores de rede são compostos por cátions que, juntamente com o oxigênio, formam a rede vítreo do vidro, fazendo parte dela. A sílica vítreo é o mais simples dos vidros silicatos.

Vidros silicatos, assim como minerais, não são compostos por moléculas discretas, mas por redes conectadas tridimensionalmente. A unidade básica da rede de sílica é o tetraedro silício-oxigênio, no qual um átomo de silício está ligado a quatro átomos de oxigênio. Os átomos de oxigênio se dispõem espacialmente, formando um tetraedro, como pode ser visto na Figura 2.4 [6].

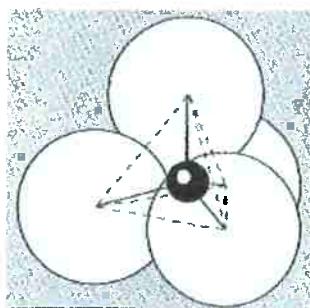


Figura 2.4 – Unidade básica da rede de sílica [6].

Estes tetraedros são unidades de construção da sílica, seja cristalina (quartzo) ou vítreo, e unem-se uns aos outros através dos vértices de oxigênio. Forma-se então uma extensa rede tridimensional, podendo possuir diversos arranjos diferentes, dependendo de como os tetraedros estão ligados entre si. Na Figura 2.5 são ilustradas as estruturas da sílica cristalina e vítreo [9].

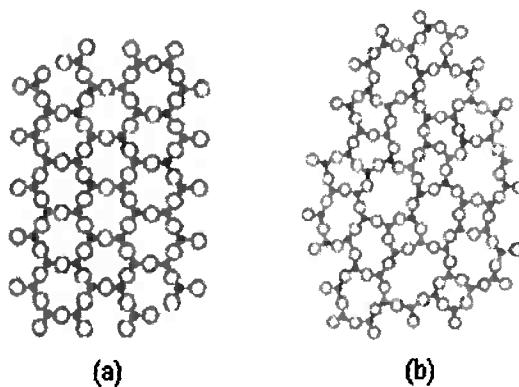


Figura 2.5 – Representação bidimensional da estrutura de (a) sílica cristalina e (b) sílica vítreia [9].

Alguns átomos, como o sódio, quando presentes no vidro, se ligam ionicamente ao oxigênio. Isto interrompe a continuidade da rede, já que alguns dos átomos de oxigênio não são mais compartilhados entre dois tetraedros, mas ligados somente a um átomo de silício, como pode ser visto na Figura 2.6 [9]. Por essa razão, os óxidos alcalinos são utilizados como fundentes que diminuem a viscosidade do vidro, pois quebram algumas ligações.

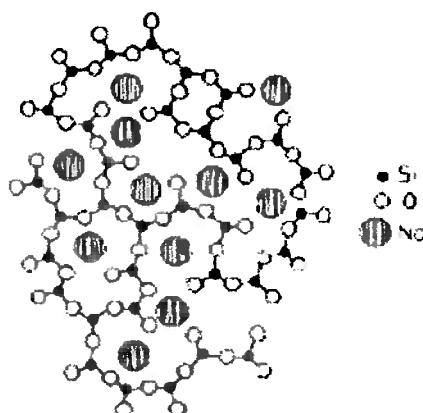


Figura 2.6 – Estrutura do vidro sodo-cálcico [9].

2.5 Tipos de Vidros

Existem diversos modos de classificar os vidros, podendo ser em função da composição, do processo de fabricação, do tratamento realizado posteriormente à produção, entre outros.

Uma classificação muito comum na literatura [17], contendo as principais famílias de vidros, está descrita a seguir:

2.5.1 Vidro de Sílica Pura

Utilizado principalmente pela sua baixa expansão térmica, alta temperatura de serviço e, quando muito puro, pela sua transparência a uma larga faixa de comprimentos de onda no espectro eletromagnético e a ondas de som. Possui também boa resistência química, elétrica e dielétrica. Sua desvantagem é a necessidade de uma temperatura muito alta para a fabricação, apesar de também poder ser produzido através da hidrólise do tetracloreto de silício (SiO_4). Porém, em ambos os casos, o processo é muito caro. É comumente utilizado em lâmpadas de arco de alta intensidade, fibras ópticas, janelas de veículos espaciais e lentes de telescópios. Na Figura 2.7 estão alguns exemplos de sílica pura [18].



Figura 2.7 – Vidros de sílica [18].

2.5.2 Vidro de Sílica 96%

Conhecido também pelo nome *Vycor* mostrado na Figura 2.8, fabricado pela Corning Glass [19]. Produzido a partir de vidro borossilicato especial, eliminando-se com ácido todos os ingredientes não-silicatos e efetuando um tratamento a altas temperaturas a fim de encolher o vidro e consequentemente eliminar os poros. Obtém-se um vidro com ótimas propriedades térmicas como temperatura de serviço maior e coeficiente de dilatação menor, quando comparado a qualquer outro tipo de vidro, exceto o de sílica pura. É utilizado em pontas de mísseis, janelas de veículos espaciais e alguns equipamentos de laboratório onde é necessária uma maior resistência térmica.

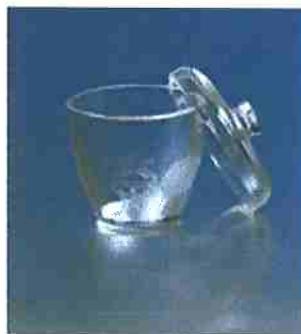


Figura 2.8– *Vycor*, fabricado pela Corning Glass [19].

2.5.3 Vidro Sodo-Cálcico

Na necessidade de diminuir a solubilidade e, consequentemente, aumentar a resistência química dos vidros de silicatos alcalinos, são incluídos na composição os chamados fluxos estabilizantes. O óxido estabilizante mais utilizado é o de cálcio, muitas vezes junto com o óxido de magnésio. São os vidros mais antigos e largamente utilizados. Hoje em dia constituem a maior parte das garrafas, frascos, janelas, setor automotivo, bulbos e tubos de lâmpadas (Figura 2.9) [20].



Figura 2.9 – Embalagens e vidros automotivos [20].

2.5.4 Vidro ao Chumbo

O óxido de chumbo reduz ainda mais o ponto de amolecimento comparado ao óxido de cálcio, quando adicionados à sílica. Além disso, aumenta o índice de refração, tornando-o um excelente vidro para aplicação óptica. É também o vidro nobre, aplicado a copos e taças finas, mais conhecido como “cristal” (Figura 2.10) [18]. Funil de tubo de televisão a cores é outro exemplo de aplicação, desta vez devido a não abaixar a resistividade elétrica, como acontece com os óxidos alcalinos, e à propriedade de absorção de raios X.

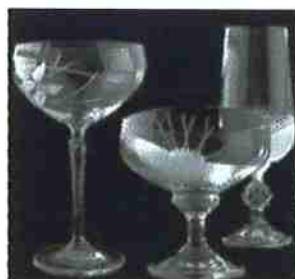


Figura 2.10 – Vidros finos, mais conhecidos como “cristais” [18].

2.5.5 Vidro Borossilicato

Possui baixa expansão térmica, aproximadamente um terço do vidro sodo-cálcico. Além disso, pode ser obtido com boa estabilidade química e alta resistência elétrica. Sua alta temperatura de amolecimento o torna mais difícil de trabalhar, comparando-o com os vidros sodo-cálcicos e ao chumbo. Entre as várias aplicações estão utensílios de cozinha, vidraria de laboratório [20] (ilustrada na Figura 2.11), tubulações, termômetros de alta temperatura e enormes lentes para telescópios.



Figura 2.11 – Vidraria de laboratório [20].

2.5.6 Vidro Alumino-Silicato

Outro vidro de baixa expansão térmica e resistente quimicamente, que possui uma maior temperatura de serviço, em comparação ao vidro borossilicato, sendo consequentemente mais difícil de fabricar. São usados em tubos de combustão, fibras de reforço [18] (Figura 2.12), vidros com alta resistência química e vitrocerâmicos.

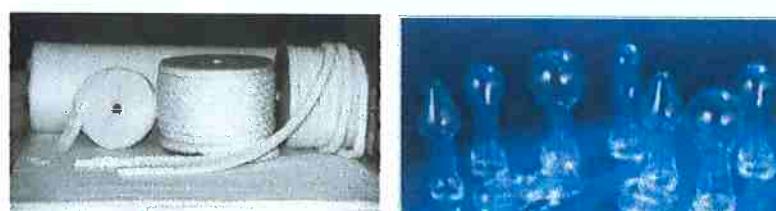


Figura 2.12 – Fibras de reforço e vidraria de laboratório [18].

A Tabela 2.1, a seguir apresenta algumas composições típicas das famílias de vidros citada neste tópico, em porcentagem de peso [17].

Tabela 2.1 – Composições típicas das principais famílias de vidros [17].

	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	PbO
Sílica Pura	99,5						
Sílica 96%	96	3					
Sodo-Cálcico ao Chumbo	70			10	15		
Borossilicato	60-80	10-25	1-4			5-20	18-65
Alumino-Silicato	5-60	0-10	20-40	5-50			

3 VIDROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Os vidros planos, em geral, têm uma ampla área de aplicação [7], como podemos ver na Tabela 3.1, a seguir.

Tabela 3.1 – Porcentagem aproximada das principais aplicações do vidro plano [7].

Indústria Automobilística	- Pára-brisas - Laterais - Retrovisores	43%
Construção Civil	- Fachadas - Vidraças - Box	42%
Móveis	- Tampos de mesa - Armários - Estantes	8%
Eletrodomésticos	- Televisores - Tampos - Visores de fogões e fornos	4%
Decoração	- Espelhos - Aparadores - Porta-retratos	3%

Pode-se observar que a Construção Civil é uma das áreas de maior aplicação do vidro, nos permitindo concluir se tratar de uma área interessante de pesquisa, sempre visando encontrar o melhor tipo de vidro para cada necessidade. Não é por acaso que inúmeras novas idéias vêm surgindo a cada dia.

3.1 Tratamentos de Vidros Planos

Antes de aplicar os vidros diretamente em edificações, é essencial que se efetuem tratamentos a fim de melhorar características do material, tais como sua resistência, transparência, brilho etc. A esses tratamentos damos o nome de processos secundários.

Os vidros passam a ser classificados de acordo com o tratamento dado a ele. Basicamente, existem três tratamentos principais [12,21,22]. Há ainda outros tratamentos que serão discutidos posteriormente, porém são na maioria das vezes realizados em vidros que já passaram por um desses três processos principais, citados a seguir.

3.1.1 Vidros Temperados

Considerados vidros de segurança, por ser muito fortes e resistentes e no caso de quebra, despedaça-se em pequenos fragmentos sem pontas cortantes [18], como pode ser visto na Figura 3.1.

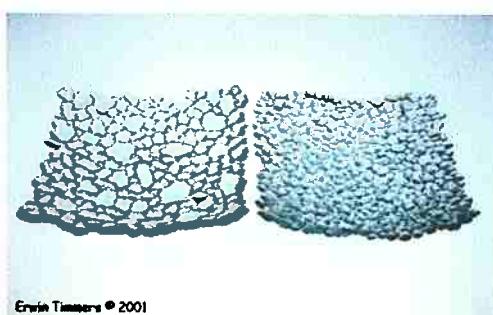


Figura 3.1 – Vidro temperado ao ser quebrado [18].

O processo de têmpera pode ser realizado termicamente e quimicamente, sendo o primeiro método mais utilizado.

A têmpera térmica consiste em submeter o vidro a um processo de aquecimento e resfriamento rápido, que gera tensões internas devido ao resfriamento mais rápido da superfície, em relação ao interior do vidro, visto que sua condutividade térmica é muito baixa. Isso confere ao vidro uma resistência à quebra por impacto cerca de quatro vezes maior que o vidro comum. O processo de têmpera térmica está ilustrado na Figura 3.2 [23].

Já a têmpera química [24] envolve troca iônica na superfície do vidro, através de sua imersão em um banho de sal de lítio fundido, com o que se consegue um vidro de lítio na superfície e um de sódio no interior. Esta substituição de metais alcalinos resulta em um produto com a superfície em compressão, pois o vidro de lítio tem um menor coeficiente de expansão e, por isso, contrai-se menos no resfriamento que o vidro de sódio interno. O nível de têmpera, neste caso, é maior que quando temperado termicamente, porém é mais superficial, visto que é função da troca iônica na interface entre o vidro e o banho de lítio.

Os vidros temperados não podem ser cortados ou perfurados após o processo de têmpera. Se forem necessários furos para fixação, estes devem ser feitos antes do tratamento.

São indicados para locais que requerem resistência, como portas, janelas e outras aberturas.

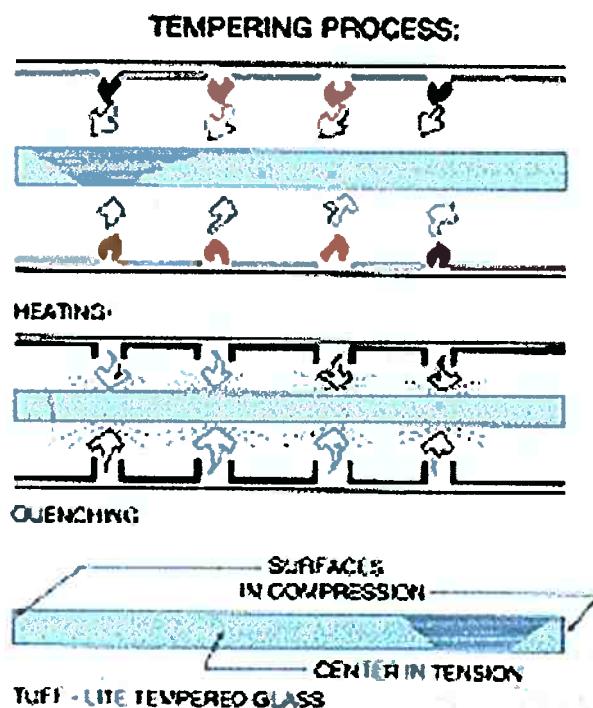


Figura 3.2 – Ilustração do processo de têmpera térmica [23].

3.1.2 Vidros Laminados

Constituídos por duas ou mais chapas de vidro plano, intercaladas por uma película polimérica chamada polivinil butiral (PVB). A principal função desta película é reter os fragmentos do vidro, em caso de quebra [16,25].

A lamação é um processo industrial de pressão e calor, no qual o sanduíche composto por PVB e vidro é prensado por uma calandra, que comprime o vidro para eliminar todo o ar entre as camadas, promovendo a adesão das chapas ao PVB. Após a calandragem, o painel passa por uma autoclave para receber nova carga de pressão e calor, garantindo total adesão dos componentes.

O modo com que o vidro laminado é montado [26], está ilustrado na Figura 3.3.

Além de segurança, a lamação confere ao vidro conforto acústico, que se dá em função da espessura da película de PVB.

Próprios para situações que exigem mais segurança contra acidentes e vandalismo, como fachadas de edifícios, guarda-corpos e coberturas.

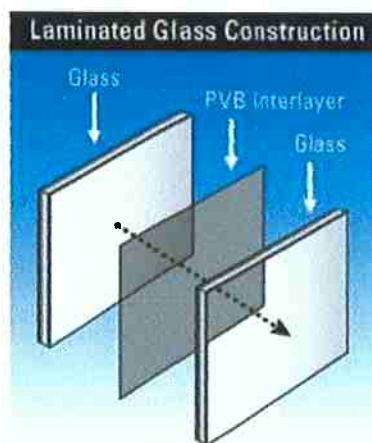


Figura 3.3 – Ilustração da fabricação do vidro laminado [26].

3.1.3 Vidros Refletivos

Também conhecidos como vidros metalizados.

A transformação do vidro comum em refletivo consiste na aplicação de uma camada metalizada em uma das faces, podendo ser realizada pelos processos pirolítico (*on-line*) ou de câmara a vácuo (*off-line*). O primeiro processo ocorre ainda na linha de produção do vidro, e o segundo, posteriormente [27].

No processo pirolítico, a camada refletiva é aplicada na face superior do vidro enquanto a placa ainda não esfriou, ou após sofrer novo aquecimento. Como a chapa de vidro está quente e com sua superfície em estado plástico, os óxidos penetram um pouco na superfície e, ao resfriar o vidro, a camada refletiva torna-se resistente. Nesse método, o desempenho do vidro como filtro solar é mais fraco, ou intermediário. Geralmente apresenta refletividade externa maior. Em compensação, a relação refletividade interna/refletividade externa é melhor, pois reflete mais para o exterior do que para o interior. Por ter uma camada mais resistente, o vidro pirolítico pode ser curvado ou termoendurecido.

Já no processo de câmara a vácuo, a camada refletiva é depositada em câmaras de alto vácuo, por bombardeio iônico e em atmosfera de plasma, depois de o vidro sair da linha de produção e ser resfriado. O resultado são vidros refletivos com melhor desempenho de proteção solar, porém com camada refletiva mais superficial. Esse tipo de vidro não admite a maioria dos beneficiamentos que utilizem calor, aplicados a outros vidros.

Este tipo de vidro tem a finalidade de refletir os raios solares, reduzindo a entrada de calor, proporcionando ambientes mais confortáveis. Seu desempenho varia conforme a cor do vidro, o processo de metalização e o tipo de óxido metálico aplicado.

3.2 Outras Modificações nos Vidros

Além dos principais tratamentos, têmpera, lamination e metalização, existem outros tipos de modificações que têm grande importância, no intuito de sempre obter como resultado, vidros de ótimo desempenho, adequados às diversas aplicações dentro do campo da construção civil.

3.2.1 Vidros Aramados

Composto por uma tela metálica (Figura 3.4) [18] que oferece maior resistência à perfuração, como também proteção, pois, em caso de quebra, os cacos ficam presos na tela diminuindo o risco de ferimentos. É importante salientar, que a incorporação da malha metálica é feita durante a fabricação do vidro, não caracterizando, portanto, como um processo secundário e sim um processo diferenciado de fabricação do vidro de segurança.

Próprio para portas, coberturas, marquises, e outras situações que requeiram segurança.



Figura 3.4 – Vidro aramado [18].

3.2.2 Vidros Espelhados

São utilizados para ampliar ambientes e proporcionar um maior aproveitamento da luz natural. Outra aplicação possível dos vidros espelhados é na segurança, como em portões de estacionamento, recepções onde transitam muitas pessoas, lojas de conveniência [18], como ilustrado na Figura 3.5.

Um dos métodos mais difundidos no mundo para a fabricação de espelhos é o galvânico, onde são aplicadas camadas de prata e cobre, juntamente com uma tinta protetora.



Figura 3.5 – Vidros espelhados [18].

3.2.3 Vidros Decorativos

Suas condições de uso e segurança dependem do tipo de vidro utilizado como base. Quando translúcidos, funcionam como difusores de luz, atenuando a transparência, o que os torna indicados para boxes de banheiro, divisórias ou aberturas voltadas para a rua, por exemplo. São diversos os tratamentos estéticos possíveis, como jateamento, serigrafia ou lapidação. Dentre os vidros decorativos, destacam-se os impressos [14], que já saem de fábrica com desenhos em alto relevo (Figura 3.6).

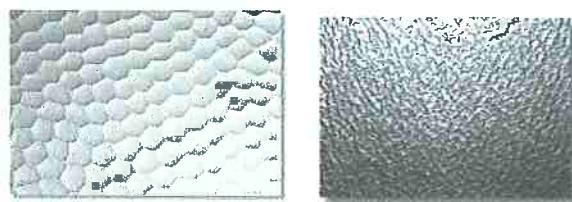


Figura 3.6 – Vidros decorativos [14].

3.2.4 Películas

Além das películas de polivinil butiral (PVB) utilizadas no processo de laminação do vidro plano, existem as películas destinadas à aplicação superficial, que por sua vez, são feitas de poliéster.

Há basicamente três tipos de películas de superfície: as de controle solar, que protegem o ambiente contra os raios infravermelho e ultravioleta, as de segurança, mais espessas, que possuem adesivo especial para reter os estilhaços no caso de quebra do vidro e as decorativas [28], que apresentam cores e desenhos impressos. Exemplos de aplicação podem ser vistos na Figura 3.7.



Figura 3.7 – Aplicações de películas em vidros [28].

3.3 Principais Problemas

Este tópico tem como objetivo listar os diversos problemas decorrentes do crescente uso do vidro na Construção Civil.

Os problemas podem estar relacionados a diversos aspectos, tais como o conforto térmico, acústico e visual, o acúmulo de sujeira nas superfícies exteriores, segurança em relação a fenômenos naturais, altas temperaturas devido a incêndios, entre outros.

Assegurar conforto ao ambiente construído é um dos aspectos mais importantes de qualquer projeto arquitetônico. Quando se trata de escritórios, esse item assume importância ainda maior. Afinal, se o funcionário se sentir constantemente incomodado por ruídos, pela iluminação deficiente ou ainda pelas condições térmicas do espaço, será quase impossível manter a concentração e os níveis de produtividade.

Quanto mais envidraçadas as fachadas, maior é a incidência de luz e calor solar no interior das edificações. Caso os raios do Sol não sejam barrados, certamente o edifício será um grande consumidor da energia que aciona os sistemas de ar condicionado, além de gerar desconforto ambiental aos seus usuários.

Para contornar este problema, muitos projetos utilizam vidros refletivos em suas fachadas que, além de prover um ambiente mais agradável esteticamente, reduz a quantidade de calor incidente no ambiente. Por outro lado, o uso demasiado de vidros refletivos nos centros urbanos acaba causando um sério problema ambiental – as ilhas de calor. Este fenômeno é consequência da reflexão da luz solar entre edifícios muito próximos, que contenham vidros refletivos em suas fachadas.

Um outro caso diz respeito à manutenção periódica da superfície externa da fachada, como a limpeza realizada por profissionais que têm um grande risco em seu trabalho. Se não houvesse o acúmulo de sujeira na superfície do vidro, estas manutenções necessitariam ser feitas com intervalos muito maiores, diminuindo assim o risco de acidentes e outros inconvenientes.

Problemas relacionados a fenômenos naturais, não fazem parte do cotidiano de países como o Brasil. Porém, muitos países que sofrem com terremotos,

tornados, furacões investem bastante no desenvolvimento de vidros ou produtos aplicados nos vidros capazes de suportar condições extremas, que dificilmente vidros comuns suportariam.

Frente aos diversos problemas enfrentados com o emprego de vidros na construção civil, estão pesquisadores do mundo inteiro em busca das melhores soluções, procurando sempre abranger todos os pontos do problema, a fim de se obter um produto específico para cada caso, levando em consideração o bem estar e a segurança do usuário deste material que se tornou indispensável em qualquer projeto atual de edificações.

Apesar de tudo, é importante ressaltar que o vidro tornou-se um material essencial, visto que agrega inúmeras vantagens no desempenho do projeto, como um todo. A luz natural incide no ambiente interno com maior intensidade, a estrutura do edifício sofre menor carga devido à diferença de peso entre o vidro e o concreto, esteticamente, um prédio com fachada envidraçada tem muito mais destaque, etc.

3.4 Inovações

Neste momento, serão apresentadas soluções aplicadas em vidros destinados para a Construção Civil, desenvolvidas por pesquisadores do mundo inteiro, visando aproximar-se cada vez mais do material ideal para cada situação.

Para uma melhor compreensão, as inovações apresentadas serão agrupadas por problema a ser解决ado, possibilitando assim que as diferentes soluções encontradas sejam comparadas mais facilmente.

3.4.1 Conforto Ambiental

O termo conforto ambiental aqui pode ser entendido como conforto térmico, visual e acústico, pois todos estão diretamente relacionados com o uso de vidros em edificações.

Em relação ao conforto térmico, devem-se considerar duas situações opostas. O vidro deve ser capaz de impedir a incidência de radiação solar em regiões de clima quente, e por outro lado deve também ser capaz de reter o calor interno de ambientes situados em regiões de clima frio.

Relacionado ao primeiro caso, está o chamado efeito estufa, que pode se entender da seguinte maneira: a radiação solar (onda curta) é transmitida pelo vidro e absorvida pelas superfícies internas, provocando elevação da temperatura e a consequente emissão de radiação de onda longa, para a qual o vidro é opaco. Esse resultado implica no acúmulo de energia térmica no interior das edificações.

Os vidros atuam de forma seletiva na radiação solar incidente, dependendo exclusivamente de suas propriedades espectrais (transmissão, reflexão e absorção).

Para compreender melhor esta questão, primeiramente deve-se analisar o espectro solar, ilustrado na Figura 3.8 [1].

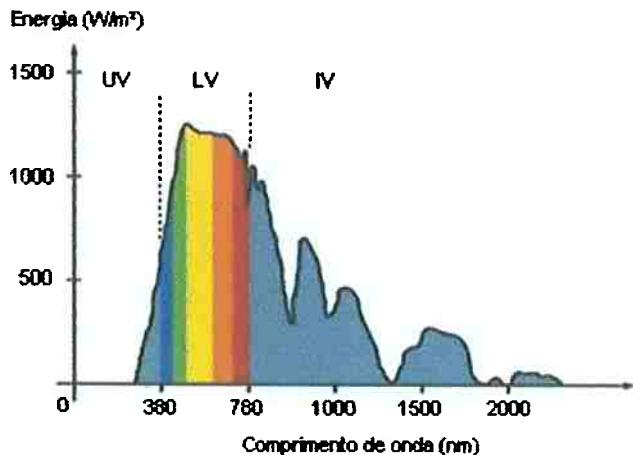


Figura 3.8 – Espectro solar; adaptado de [1].

Os limites da região ultravioleta (UV) são geralmente considerados como sendo de 100 e 400 nanômetros (nm), sendo esta região responsável pelo desbotamento de superfícies internas. Já o espectro da luz visível (LV) compreende uma faixa bem definida, que varia de 380 a 780 nm, causando a sensação de visão e cor no olho humano. Por fim, os limites da faixa espectral relativa ao infravermelho (IV) não são bem definidos, mas são comumente considerados entre 780 nm e 1 mm, sendo esta faixa considerada a principal responsável pelo ganho de calor dos ambientes internos [1].

A radiação solar chega à superfície terrestre aproximadamente com as seguintes proporções: ultravioleta de 1 a 5%, luz visível de 41 a 45% e infravermelho de 52 a 60%. Estas proporções variam segundo as condições atmosféricas, nebulosidade, presença de vapor de água, etc [29,30,31].

Devido à composição do material, ocorre a reflexão e a absorção da radiação em determinadas regiões espectrais e em proporções distintas. A introdução de óxidos na composição do vidro é responsável pela absorção seletiva da radiação solar. Os óxidos podem modificar a transmissão na região do visível, dando origem à cor do material, como também pode absorver na região do ultravioleta ou infravermelho, evitando a transmissão direta destes através do vidro.

Outros fatores como a espessura, o índice de refração do vidro, assim como o ângulo de incidência da radiação, interferem também na transmissão, reflexão e absorção do material.

A especificação do vidro para uma determinada construção é baseada nas proporções de radiação transmitida, refletida e absorvida por ele, que somadas devem totalizar a radiação solar total incidente em sua superfície. Estes fenômenos podem ser observados na Figura 3.9.

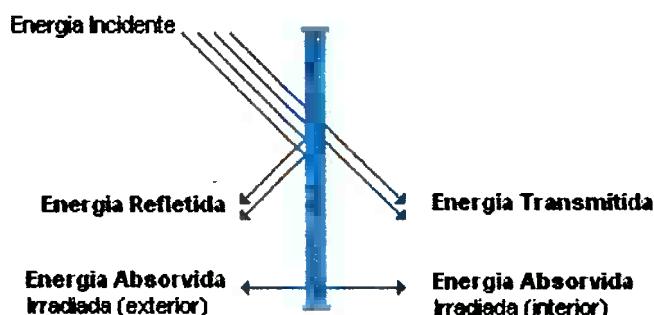


Figura 3.9 – Comportamento da energia solar incidente sobre o vidro.

Quando se pretende usar o vidro como barreira contra o calor, a tendência é procurar índices de transmissão na faixa entre 20 e 30%. A escolha depende de algumas variáveis, porém é necessário saber que porcentagens mais elevadas permitem a passagem de maior quantidade de calor, enquanto índices muito baixos têm o inconveniente de escurecer demais os ambientes, forçando o acendimento das luzes até mesmo em dias claros e ensolarados.

Um parâmetro muito utilizado para comparar a eficiência dos vidros, com relação ao conforto térmico é o chamado Fator Solar [32,33], que nada mais é a parcela de ganho de calor no ambiente interno, por radiação solar. Ou seja, é a soma da energia solar transmitida diretamente através do vidro com a energia reirradiada para o interior, após ser absorvida pelo vidro.

O conforto visual está intimamente ligado à área envidraçada da fachada do edifício. Diferentemente do que muitos pensam, o uso excessivo de materiais transparentes como o vidro nem sempre significa melhor qualidade e maior

quantidade de iluminação. É importante ressaltar que a superfície envidraçada permite a entrada de luz, mas também permite sua saída, e por isso é necessário cuidado para definir a área superficial transparente a ser projetada na edificação. O vidro, no período noturno, permite que a luz passe para o exterior, e não a reflete significativamente de volta para o ambiente como faria uma superfície opaca pintada de cor clara, que funcionaria como refletora.

Assim como determinadas composições de vidro ajudam a controlar a entrada de calor nos ambientes, há alternativas que contribuem para bloquear ou reduzir a entrada de ruídos externos na edificação. A composição ideal vai depender do tipo de ruído a ser isolado, considerando freqüência e decibéis.

Cada tipo de vidro tem sua curva acústica, mas, de modo geral, quanto mais espessa a lâmina de vidro, maior sua capacidade de isolamento. Esta pode aumentar com os vidros do tipo duplo insulado (duas faces de vidro com colchão de ar entre elas) se as faces apresentarem espessuras diferentes, o que ajuda a barrar freqüências variadas. Porém, em todos os casos, o desempenho depende da vedação adequada.

Há atualmente, no mercado, diferentes tipos de vidros, criados especialmente para solucionar a questão do conforto ambiental. Somados a eles, existem inúmeros estudos recentemente publicados em artigos científicos relacionados ao tema que ainda não se encontram em fase de produção e comercialização. A variedade é enorme quando se trata de conforto ambiental em edificações, dada a importância que o assunto tem na vida das pessoas.

Serão focados neste levantamento, os principais vidros fabricados por duas das maiores e mais importantes indústrias vidreiras do mundo: Saint-Gobain Glass e Pilkington.

É natural que existam produtos muito semelhantes entre os três fabricantes citados acima. Entretanto, para evitar repetições desnecessárias, ao ser apresentado um tipo de vidro [24] e for verificado que há um produto similar produzido por outro fabricante, este será mencionado na ocasião. Um parâmetro utilizado para comparar a eficiência do vidro, quanto ao controle solar, foi o coeficiente de ganho de calor que, quando fornecido pelo fabricante, será mencionado na descrição do tipo de vidro.

• SGG ANTELIO

Vidro de controle solar produzido pela Saint-Gobain Glass.

O processo de metalização utilizado é o pirolítico (*on-line*), onde óxidos metálicos são aplicados a alta temperatura sobre o vidro incolor SGG PLANILUX ou o vidro colorido SGG PARSON. Este processo confere alta resistência e estabilidade à camada metálica. Devido a estas características, este vidro pode ser cortado, temperado, esmaltado, curvado, laminado e acoplado a vidros duplos.

Suas vantagens são a alta transmissão de luz, o que proporciona uma boa iluminação natural do ambiente interno; a redução de ganho solar, diminuindo gastos com ar condicionado; a possibilidade de diferentes formas do vidro; a aparência uniforme na fachada da construção.

O desempenho do SGG ANTELIO (6 mm) é intermediário, considerando que o fator solar situa-se entre 40 e 67%, dependendo da coloração do vidro utilizado como base. Utilizando-o em duplo envidraçamento, este índice cai para a faixa entre 31 e 58%.

• SGG COOL-LITE

Outra opção de vidro de controle solar fabricado pela Saint-Gobain Glass.

Produzido pelo processo de metalização a vácuo (*off-line*), sobre o vidro SGG PLANILUX (incolor) ou o vidro SGG PARSON (colorido). Combinando revestimentos metálicos de diversas espessuras e cores, com vidros incolores ou coloridos, é possível obter uma vasta gama de opções quanto à aparência do produto final.

Em envidraçamento simples, a face metalizada deve estar voltada para o interior, do mesmo modo que na forma laminada, a face metalizada deve estar em contato com a película de PVB ou com duplo envidraçamento, com a face metalizada no interior da composição insulada.

Entre suas vantagens então o controle acústico, a segurança e a barreira aos raios ultravioleta, filtrando aproximadamente 99,6% dos raios UV.

O desempenho do SGG COOL-LITE (6 mm) é bom, considerando que o fator solar está compreendido na faixa de 18 a 45%, variando de acordo com a coloração do vidro utilizado como base. Utilizando-o em duplo envidraçamento, o fator solar passa a variar entre 12 e 36%.

- **SGG REFLECTASOL**

Vidro de controle solar produzido pela deposição de um revestimento metálico transparente através de processo pirolítico, ainda na linha Float de produção tanto de vidros incolores como de coloridos.

Seu destaque é a alta refletância de luz, além da baixa transmitância de luz, a qual proporciona um conforto visual frente à radiação solar direta. Esta baixa transmitância implica também em privacidade, mesmo em edificações com grandes áreas envidraçadas.

Por motivos estéticos, a face metalizada deve estar sempre voltada ao interior da edificação, tanto em envidraçamento simples como duplo.

Seu desempenho, expresso pelo fator solar, é semelhante ao do vidro SGG ANTELIO, situando-se entre 42 e 50%, para espessura de 6 mm em envidraçamento simples. Ao ser aplicado em duplo envidraçamento, o fator solar cai consideravelmente, chegando a ficar entre 22 e 42%.

- **Vidro de Baixa Emissividade (low-e)**

Comercializado pela Saint-Gobain Glass com o nome de SGG PLANITHERM. Já a Pilkington fabrica o produto Pilkington Eclipse Advantage, este pelo processo *on-line*, pirolítico.

É um vidro que contribui no controle térmico ao reduzir a perda de calor.

Faz parte da última geração de vidros de baixa emissividade (*low-e*), sendo considerado um vidro de alta performance neste quesito. Deve ser utilizado somente em envidraçamentos duplos.

Tem como destaque sua aparência extremamente natural, a efetiva reflexão de radiação de calor (infravermelho longo) de volta ao ambiente interno, evitando assim a perda de calor para o exterior através das janelas, enquanto propicia o máximo aproveitamento de calor solar e iluminação natural.

Produzido através do processo a vácuo, onde uma composição especial de óxidos metálicos é depositada em múltiplas camadas sobre vidros SGG PLANILUX de alta qualidade. O resultado é um revestimento metálico transparente e microscopicamente fino. Dependendo da composição destas camadas, diversos produtos podem ser obtidos, diferenciados pelo desempenho térmico, propriedades espectrofotométricas e características de processamento.

É diferenciado por possibilitar que seja tratado termicamente e temperado mesmo após o processo de deposição a vácuo.

Como sua transmissão é relativamente alta, o fator solar do SGG PLANITHERM varia de 60 a 66%, caracterizando assim um vidro com considerável nível de ganho de calor solar.

• Conforto Acústico

Saint-Gobain Glass fabrica e comercializa o SGG STADIP SILENCE, enquanto a Pilkington produz o Pilkington Optilam Phon.

O produto da Saint-Gobain é derivado do vidro laminado de segurança SGG STADIP. Consiste em duas ou mais placas de vidro intercaladas com uma ou mais camadas de PVB especial, conhecido como *PVB Silence*. Isso resulta em um vidro com isolamento acústico muito bom, somado à segurança do vidro laminado.

Com relação ao seu desempenho acústico, este vidro melhora em 3 dB a capacidade de isolamento em comparação ao vidro laminado SGG STADIP, e comparando-o ao vidro monolítico SGG PLANILUX, a melhora é de 5 dB.

Visto que a principal função deste vidro é o propiciar um melhor conforto acústico, não é surpreendente que seu desempenho térmico não seja dos melhores. O fator solar do SGG STADIP SILENCE varia entre 72 e 79%, dependendo de sua espessura.

• SGG CLIMALIT

São os tradicionais vidros duplos insulados da Saint-Gobain Glass.

Consiste em duas placas de vidro paralelas, separadas por um espaçamento preenchido com dessecante para retirar a umidade do ar contido na cavidade. Este sistema é então selado hermeticamente.

Suas vantagens são o ótimo isolamento térmico, chegando a reduzir em 50% a perda de calor quando comparado a envidraçamentos simples, e o alto nível de transmitância da luz natural através do vidro.

O fator solar deste vidro varia entre 72 e 76%.

É interessante ressaltar que dependendo da necessidade de cada caso, este vidro pode ser utilizado em conjunto com outros tipos de vidro, tais como os de controle acústico e os de segurança.

• SGG LUMITOP

É um vidro duplo, contendo filetes especiais no seu interior, que são desenvolvidos com a finalidade de capturar e redirecionar o feixe de luz incidente. A placa externa é usualmente um vidro de baixa emissividade (low-e) de 4 mm de espessura (SGG PLANITHERM, por exemplo) enquanto a placa externa pode ser tanto um vidro incolor (SGG PLANILUX) ou um vidro impresso especialmente para compor o SGG LUMITOP.

Seu princípio de funcionamento é simples. Ao incidir na superfície externa do vidro, a luz solar é redirecionada para o teto do ambiente interno da edificação, onde é refletida para todas as áreas do ambiente, proporcionando um alto nível de iluminação, sem o desconforto do brilho direto da luz solar.

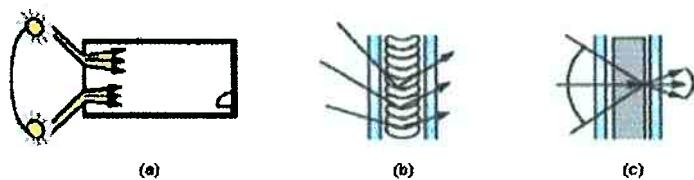


Figura 3.10 – Princípio de funcionamento do SGG LUMITOP [24].

Na Figura 3.10 [24] pode-se observar que as variações no posicionamento do Sol durante o dia são compensadas pelo SGG LUMITOP, que reflete toda a luz natural diretamente para o interior da edificação (a). Está ilustrado também o comportamento dos raios de luz ao interagir com a camada intermediária do vidro. Ao observar a seção vertical (b) e seção horizontal (c) do SGG LUMITOP, é possível ter uma visão detalhada do redirecionamento vertical e horizontal da luz, respectivamente.

O alto nível de iluminação natural é evidente nesta foto publicada pelo fabricante (Figura 3.11) [24].



Figura 3.11 – Escritório equipado com SGG LUMITOP [24].

• SGG PRIVA-LITE

É um vidro laminado, contendo um filme de cristal líquido embutido entre pelo menos duas películas plásticas. Pertence ao grupo dos chamados “Vidros Inteligentes”. Sua composição é ilustrada na Figura 3.12 [24].

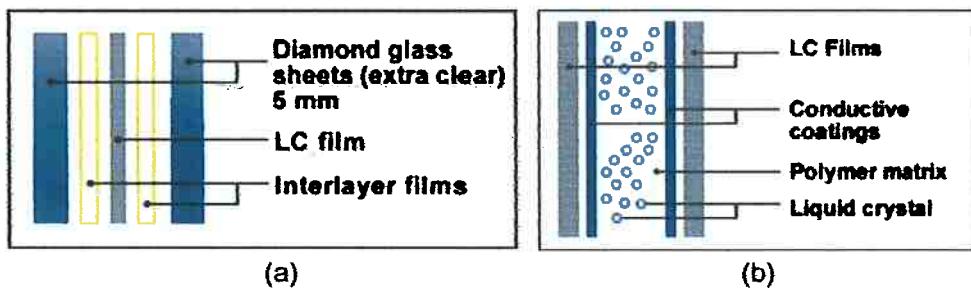


Figura 3.12 – (a) Composição do SGG PRIVA-LITE. (b) Composição do filme de cristal líquido (LC) [24].

Os cristais líquidos se alinham quando a corrente elétrica é acionada, fazendo com que o vidro se torne transparente instantaneamente (Figura 3.13) [24]. Já quando a corrente elétrica é retirada, o vidro volta ao seu estado opaco natural, propiciando total privacidade ainda assim permitindo a passagem de luz (translúcido).

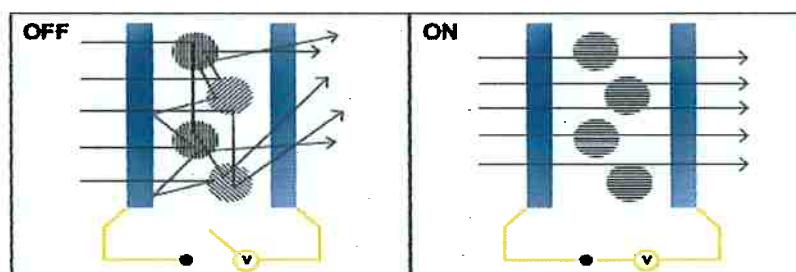


Figura 3.13 – Vidro desligado (translúcido) e vidro ligado (transparente) [24].

Suas vantagens são a transparência instantânea ao acionar um interruptor, é um vidro laminado de segurança, possui consumo energético muito baixo (24 VA/m^2) e ainda filtra 99% da radiação UV.

Vidros com este recurso têm um elevado desempenho em relação ao conforto ambiental no interior de edificações. Fato comprovado por Nitz e Hartwig, em seu

trabalho Solar control with thermotropic layers [34]. O vidro utilizado neste caso era de camadas termotrópicas, ou seja, ativadas pela elevação da temperatura.

- **SGG THERMOVIT**

Vidro laminado composto por duas ou mais placas de vidro intercaladas com um ou mais filmes de PVB. Em um destes filmes de polivinil butiral são inseridos fios condutores de eletricidade que são quase imperceptíveis no produto final. A eletricidade é responsável pelo aquecimento do vidro.

Este vidro é indicado em situações onde há um alto teor de umidade no ar e a diferença de temperatura entre o interior e exterior do edifício é suficiente para causar o fenômeno de condensação na superfície do vidro.

Garante uma boa visibilidade, removendo da superfície partículas condensadas, vapor, neve, etc. É considerável também sua contribuição com relação ao conforto térmico, ao reduzir o efeito do frio externo sobre a superfície do vidro.

3.4.2 Segurança

Este é um item de extrema importância na especificação do tipo de vidro para cada construção. A escolha do vidro depende muito do nível de segurança que se quer alcançar. Existem, no mercado, vidros com nível de segurança altíssimo como, por exemplo, vidros blindados, resistentes a explosões próximas a ele, etc. Há também os vidros que suportam maiores temperaturas, sendo muito seguros em caso de incêndio, permitindo que haja tempo suficiente para evacuar o edifício.

Alguns dos principais vidros de segurança são listados abaixo.

- **SGG CONTRAFLAM**

O modelo fabricado pela Saint-Gobain Glass recebe o nome de SGG CONTRAFLAM, enquanto o produto similar fabricado pela Pilkington tem o nome de Pilkington Pyrostop.

É um vidro resistente ao fogo, que consiste em duas ou mais placas de vidros temperados, separadas por uma ou mais barras de espaçamento de material termoplástico. A cavidade entre as placas de vidro é preenchida com um gel transparente que reage quando exposto ao fogo. Este gel absorve a energia do fogo, atuando como um bloqueador de calor, mantendo a temperatura do lado onde não há fogo dentro de níveis aceitáveis. A espessura do vidro é função do nível de resistência ao fogo que se deseja obter.

As vantagens são a transparência, o gel é estável à radiação UV e não adquire coloração com o passar do tempo, a resistência ao impacto, além de ser uma excelente barreira contra o fogo, calor excessivo, fumaça e gases tóxicos.

Existem trabalhos, como o feito por Virgone, que estudam o comportamento térmico de vidros típicos utilizados em janelas quando expostos a incêndios acidentais. Por meio de softwares, simulam a influência da espessura do vidro juntamente com as características ópticas e térmicas [35].

• **SGG SECURPOINT**

Comercializado pela Saint-Gobain Glass com o nome de SGG SECURPOINT enquanto o similar da Pilkington tem o nome de Pilkington T Glass.

É um vidro de segurança, tratado termicamente, considerado de alto desempenho mecânico. Sua resistência mecânica é superior a de vidros recozidos, de vidros reforçados termicamente (SGG PLANIDUR) e de vidros temperados (SGG SECURIT).

Suas vantagens são inúmeras: alta resistência mecânica, suportando tensões que a maioria dos outros vidros não suportaria; baixíssimo risco de fraturar espontaneamente, como acontece em vidros que possuem inclusões de NiS (Sulfeto de Níquel); fragmenta-se em pequenos pedaços com pontas arredondadas, que reduz o risco de ferimentos; baixo risco de quebra por tensão térmica.

• **SGG SECURIT CONTACT**

É um vidro temperado, que posteriormente foi revestido com uma camada de excelente aderência, proporcionando segurança aplicada a pisos e escadas de vidro. Deve ser utilizado em conjunto com um vidro laminado para usos desta natureza.

3.4.3 Limpeza

Inovações com relação à limpeza do vidro vêm surgindo recentemente, possibilitando intervalos maiores entre as manutenções das fachadas, por exemplo. Este fato tem sensível relação com a segurança, visto que funcionários responsáveis pela limpeza precisariam se arriscar com uma menor freqüência para realizar operações que necessitem de andaimes ou recursos similares.

• Vidros Autolimpantes

SGG BIOCLEAN é o vidro deste tipo produzido pela Saint-Gobain Glass. Já a Pilkington possui um produto similar chamado Pilkington Activ.

É um vidro autolimpante de dupla ação produzido pela deposição de uma camada hidrofílica transparente e um material mineral fotocatalítico, sobre uma placa de vidro comum. A deposição é realizada por pirólise, durante o processo float, conferindo um alto nível de durabilidade.

O vidro SGG BIOCLEAN potencializa a ação dos raios UV presentes na luz solar e da chuva, a fim de combater eficientemente o acúmulo de sujeira na superfície de janelas. A exposição à radiação UV desencadeia o processo de decomposição de matéria orgânica e faz com que a superfície do vidro se torne hidrofílica. A chuva forma uma camada de água que escorre pelo vidro levando consigo toda a matéria orgânica degradada e eventuais minerais.

- Vantagens:
- Limpeza menos freqüente;
 - Menor gasto com limpeza de fachadas;
 - Limpeza facilitada, já que a sujeira adere menos ao vidro;
 - Visão nítida através da janela, mesmo quando está chovendo;
 - Ideal para área de difícil acesso;
 - Uso menos freqüente de detergentes (meio ambiente);
 - Mesma neutralidade e transparência do vidro convencional.

4 CENÁRIO ECONÔMICO

4.1 Mercado Mundial

Durante os últimos 20 anos, a demanda de vidros tem aumentado mais rapidamente que o Produto Interno Bruto. Em 2005, houve um grande crescimento global, liderado pela China. Em longo prazo, a demanda de vidros ainda crescerá pouco mais de 4% ao ano [36].

Em 2005, a indústria estava produzindo com aproximadamente 90% de sua capacidade total, novamente influenciada fortemente pela enorme demanda na China – tendência essa que parece continuar.

O crescimento na demanda de vidros é guiado pelo crescimento econômico e também está relacionado à legislação e regulamentos referentes à segurança, controle sonoro e à necessidade de conservação energética.

A demanda de produtos com valores agregados está crescendo com uma taxa superior que a demanda de vidros básicos, enriquecendo o *mix* do produto, contribuindo no crescimento das linhas de venda.

O mercado mundial de vidro plano, em 2005, somou 41 milhões de toneladas (~ 5 bilhões de m²). No nível de produção primária, isso representa um valor aproximado de US\$ 19 bilhões.

4.2 Setores de Mercado

Em termos de volume de vidro consumido, a Construção Civil é de longe o setor de maior demanda, consumindo aproximadamente 36 milhões de toneladas. 5 milhões de toneladas são destinadas ao setor automotivo. Outras aplicações têm valores desprezíveis, em termos de volume. Esta distribuição pode ser verificada na Tabela 4.1 [36].

Tabela 4.1 – Distribuição do mercado de vidro plano no setor de Construção Civil [36].

	Volume (milhões de m ²)	%	Valor (US\$ milhões)	%
Novas Construções	1.700	40	19.240	42
Reformas	1.700	40	19.240	42
Interiores	900	20	7.700	16
TOTAL	4.300	100	46.180	100

4.3 Principais Fabricantes

Considerando somente vidros planos de alta qualidade, a indústria vidreira está relativamente consolidada, com quatro companhias responsáveis por quase 70% do total de vidro produzido no mundo. São elas: Asahi (Japão), Pilkington (Reino Unido), Guardian (EUA) e Saint-Gobain (França). Isso pode ser verificado pela análise da Figura 4.1 [36].

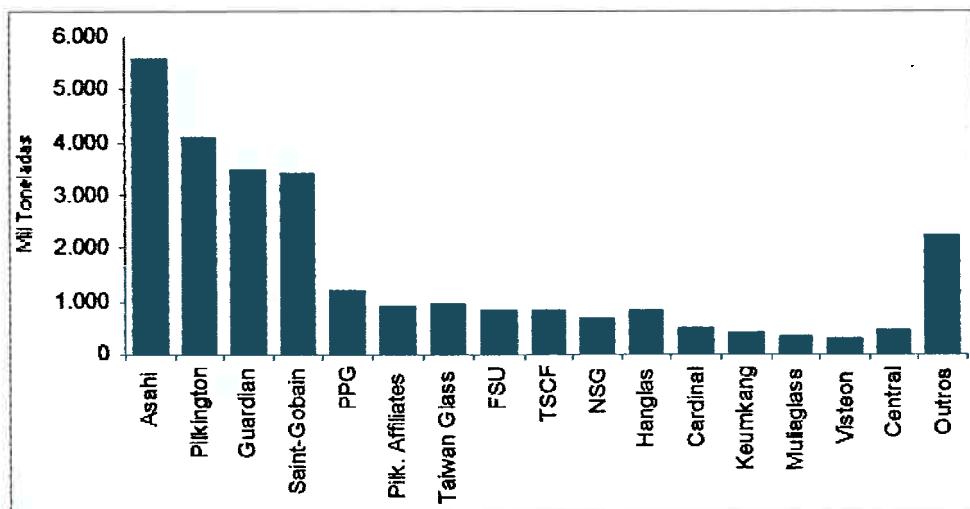


Figura 4.1 – Volume de vidros planos de alta qualidade (2004) [36].

Em termos de tamanho de seus respectivos negócios no ramo de vidros planos, as cinco maiores companhias são lideradas por NSG/Pilkington, seguidas de perto pela Asahi. Saint-Gobain vem em terceiro, seguida pela Guardian Industries e depois pela PPG.

Há uma crescente tendência de fabricantes concorrentes se unirem a fim de dividir riscos de um novo investimento. A esta operação dá-se o nome de Joint Venture. Exemplos de recentes parcerias, na Tabela 4.2 [36]:

Tabela 4.2 – Exemplos de recentes Joint Ventures [36].

Parcerias		País	Ano
Asahi	Vitro	México	2003
Pilkington	Saint-Gobain	Brasil	2004
Hanglas	Saint-Gobain	China	2004
Pilkington	EMP	Rússia	2005
Pilkington	SYP	China	2006

4.4 Crescimento Industrial

O aumento na produção de vidros para edificações está relacionado a diversos fatores, tais como:

- **Construção Civil**

O vidro tornou-se material indispensável em qualquer projeto, seja em novas construções ou em reformas, que por sua vez são responsáveis por aproximadamente 40% do consumo mundial de vidros.

- **Tendências de Arquitetura**

Arquitetos têm procurado trazer recursos naturais para o interior dos edifícios, maximizando a iluminação advinda do Sol. Isso tem sido alcançado com o uso de grandes áreas envidraçadas nas fachadas e telhados.

- **Eficiência Energética**

Nos últimos 25 anos, a necessidade crescente de economia energética tem encorajado a substituição de envidraçamentos simples por vidros duplos insulados, que além de ser mais caros, consomem mais que o dobro de vidro para substituir a mesma área ocupada pelo vidro simples.

- **Segurança**

Com o alerta sobre segurança cada vez mais presente, regulamentações passam a exigir a utilização de vidros temperados, laminados e resistentes ao fogo, o que favorece a indústria do vidro, ao agregar valores sobre o vidro comum.

• Novos Produtos

A indústria está constantemente desenvolvendo produtos inovadores, que invariavelmente agregam valor ao produto existente anteriormente. A Figura 4.2 [36] a seguir ilustra a valorização dos produtos da indústria vidreira européia, em um período de 10 anos.

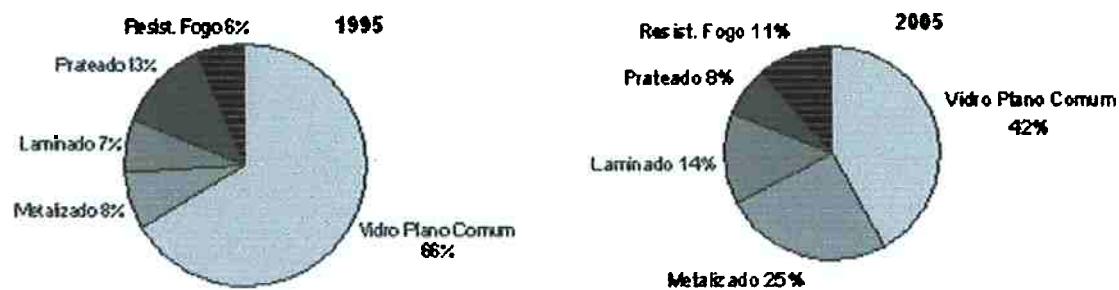


Figura 4.2 – Estrutura do mercado europeu (por valor) [36].

4.5 Vidro Piano no Brasil

O Brasil entrou para valer na história industrial do vidro piano há muito pouco tempo e logo avançou dos últimos lugares para disputar posições de destaque. A trajetória do vidro piano é, seguramente, um caso especial na história da industrialização brasileira, pela aceleração, amplitude e intensidade da sua transformação. Em algumas décadas, o país saiu de processos antigos e pouco eficientes para a melhor tecnologia de produção e processamento do vidro, saiu da dependência das importações para a auto-suficiência industrial.

O Brasil, através da Cebrace, faz hoje chapas de vidro "jumbo" de 20 m² e de 3 a 20 mm de espessura para uso em arquitetura. Através da Blindex, da Santa Marina e de várias outras processadoras, produz pára-brisas laminados com a antena do rádio embutida e acionamento automático do limpador exatamente iguais àqueles utilizados pela indústria automobilística na Europa e nos Estados Unidos. Por intermédio de seus fabricantes, exporta cerca de cem mil toneladas de vidro float por ano para mercados americanos e europeus.

Hoje, o desafio maior e imediato da indústria brasileira de vidro plano é o seu crescimento, para usar melhor a capacidade física, técnica e comercial existente e para continuar a expandi-la. As possibilidades são reais, começando pelo potencial do mercado interno ainda subaproveitado. O consumo per capita permanece baixo e pode ser substancialmente aumentado por meio, por exemplo, da retomada dos incentivos oficiais à Construção Civil, sobretudo nos programas de habitação popular, e da normatização do uso geral do vidro na arquitetura, tanto o comum como o de segurança.

5 CONCLUSÕES

Hoje, o mercado de vidros para aplicação na Construção Civil disponibiliza um amplo campo de opções de escolha do tipo de vidro mais adequado ao projeto. Ao se definir quais as características determinantes para que um vidro seja adequado a um determinado projeto, é raro não encontrar o vidro ideal, dentro das inúmeras opções que o mercado oferece.

Uma particularidade muito interessante quanto aos vidros para edificações, é a possibilidade de somar características positivas de diferentes tipos de vidros, ao uni-los em sistemas de envidraçamento múltiplo. Portanto, o número de arranjos possíveis é enorme. Em consequência disso, podem ser obtidas diferentes soluções para um mesmo problema. Depende apenas dos critérios adotados por cada projetista, os quais podem determinar se o desempenho global da edificação após o término da obra será satisfatório ou um total fracasso.

Apesar de haver uma grande variedade de vidros destinados ao ramo de Construção Civil, pesquisadores estão constantemente estudando alternativas, novas idéias, modificações construtivas em produtos já existentes, etc.

De acordo com os indicadores do setor, espera-se que a indústria e o mercado de vidros cresça ainda mais nos próximos anos, seguindo o crescimento e impacto econômico que a China vem demonstrando, nos mais variados ramos.

Sem dúvidas, o tema deste trabalho é passível de inúmeros estudos mais detalhados, visto que o cenário industrial e comercial de vidros para aplicação em Construção Civil é bastante promissor.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Site da Arcoweb, consultado em novembro de 2006: www.arcoweb.com.br
- [2] Caram Assis, R. M. – Caracterização Ótica de Materiais Transparentes e sua Relação com o Conforto Ambiental em Edificações – Tese de Doutorado, Campinas 1998.
- [3] Pfrommer, P.; Lomas, K. J.; Seale, C. – The Radiation Transfer Through Coated and Tinted Glazing – Solar Energy, vol.54, No 5, 287-299, 1995.
- [4] Davies, D. N. – Float in Glass Architecture – Glass Technology, Vol. 34, No 6, december, 1993.
- [5] Tooley, F. V. – The Handbook of Glass Manufacture – Ashlee Publisher Co. Inc., New York, 1984.
- [6] Apostila da disciplina PMT-2511 Tecnologia de Vidros ministrada pelo Prof. Douglas Gouvêa.
- [7] Apostila da Cebrace – Cristal Plano Ltda. Unidade Jacareí, 2001.
- [8] Site consultado em outubro de 2006: <http://www.ual.es>
- [9] Akerman, M. - Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro - Apostila do Centro Técnico de Elaboração do Vidro (CTEV) da Saint-Gobain.
- [10] Site consultado em outubro de 2006: <http://www.imagesonline.bl.uk>
- [11] Pilkington Brothers Limited – The Float Glass Process – Proc. Roy. Soc. Lond. 314, 1-25 (1969).

- [12] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.vidrovillage.com.br>
- [13] Houaiss A. - Dicionário Houaiss da língua portuguesa - Ed. Objetiva Ltda, 2001.
- [14] Site consultado em outubro de 2006: <http://www.abividro.org.br>
- [15] Randall Thomas (Editor) – Environmental Design An Introduction for Architects and Engineers – Max Fordham & Partners. E & FN Spon, Oxford, 1996.
- [16] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.santamarinavitrage.com.br>
- [17] Amstock, J. S. – Handbook of Glass in Construction – McGraw-Hill Companies 1997.
- [18] Site consultado em setembro de 2006: <http://www.glassonweb.com>
- [19] Site consultado em agosto de 2006: <http://www.corning.com>
- [20] Site consultado em setembro de 2006: <http://www.ildam.com>
- [21] Caram Assis, R. M. – Vidros e o Conforto Ambiental: indicativos para o emprego na construção civil – EESC/USP Dissertação de Mestrado. São Carlos, 1996, 131p.
- [22] O Vidro na Arquitetura – Publicação Técnica da Companhia Vidreira da Santa Marina – São Paulo, 1992.
- [23] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.glasswalls.com>
- [24] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.saint-gobain-glass.com/exen>
- [25] Site consultado em setembro de 2006: <http://www.glassecvidros.com.br>
- [26] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.nuair.com>

- [27] Granqvist, C. G. – Materials Science for Solar Energy Conversion Systems – Renewable Energy Series. 1st ed. Pergamon Press, Great Britain, 1991.
- [28] Site consultado em outubro de 2006: <http://www.reaton.lv>
- [29] Uhlmann, D.R.; Kreidl, N. J. – Processing I (Glass Science and Technology; 2) Academic Press Inc., New York, 1984.
- [30] Global Warming and the Built Environment. Edited by R. Samuels and D. K. Prasad. E & FN Spon, London, 1996.
- [31] Ashrae Fundamentals Handbook, Chapter 7, 1993.
- [32] Givoni, B.; - Man, Climate and Architecture – Elsevier, London, 1976.
- [33] Frota, ^a B.; Schiffer, S.R. – Manual de Conforto Térmico. Ed. Nobel, São Paulo, 1988.
- [34] Nitz, P.; Hartwig, H. - Solar Control with Thermotropics Layers – Solar Energy 79 (2005) 573-582.
- [35] Virgone, J.; Depecker, P.; Krauss, G. – Computer Simulation of Glass Temperatures in Fire Conditions – Building and Environment , Vol.2 No 1 (13-23) 1997.
- [36] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.pilkington.com>
- [37] Anuário de 2006 da Ambividros.
- [38] Akerman, M.- A elaboração do Vidro - Apostila do Centro Técnico de Elaboração do Vidro (CTEV) da Saint-Gobain.
- [39] Folder da Pilkington: Technology – Adding Value Through Innovation.

[40] Site consultado em setembro de 2006: <http://www.agpgroup.com.au>

[41] Site consultado em setembro de 2006: <http://www.glassfiles.com>

[42] Site consultado em setembro de 2006 : <http://www.glassindustry.info>

[43] Site consultado em outubro de 2006: <http://www.sun-guardglass.com>

[44] Site consultado em outubro de 2006 : <http://www.ubvidros.com.br>

[45] Site consultado em outubro de 2006: <http://www.dupont.com/safetyglass>

[46] Site consultado em setembro de 2006: <http://www.livescience.com>

[47] Site consultado em outubro de 2006: <http://www.azobuild.com>

[48] Site consultado em agosto de 2006: <http://www.arquitetura.com/tecnologia.php>

[49] Site consultado em agosto de 2006: <http://www.glass-resourde.com>

[50] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.sggprivalite.com>

[51] Site consultado em agosto de 2006: <http://www.wikipedia.org>

[52] Site consultado em novembro de 2006: <http://cebrace.com.br>

[53] Site consultado em novembro de 2006: <http://www.britglass.org.uk>

- [54] Aboulnaga, M., M. – Towards green buildings: Glass as a building elements – the use and misuse in the gulf region – Renewable Energy, 31 (2006) 631-653.
- [55] Balocco, C.; Colombari, M. – Thermal behavior of interactive mechanically ventilated double glazed façade: Non-dimensional analysis – Energy and Buildings 38 (2006) 1-7.
- [56] O'Brien, N. A.; Gordon, J.; Mathew H.; Hichwa, P. – Electrochromic coatings-applications and manufacturing issues – Thin Solids Films 345 (1999) 312-318.
- [57] Cetiner, I.; Özkan, E. – An approach for the evaluation of energy and cost efficiency of glass façades – Energy and Buildings 37 (2005) 673-684.
- [58] Chaiyapinunt, S.; Phueakphongsuriya, B.; Mongkomsaksit, K.; Khomporn, N. – Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission – Energy and Buildings 37 (2005) 725-738.
- [59] Cinnsealach, R.; Boschloo, G.; Rao, N.; Fitzmaurice, D.; - Electrochromic windows based on viologen-modified nanostructural TiO₂ films - Solar Energy Materials and Solar Cells 55 (1998) 215-223Solar Energy Materials and Solar Cells 55 (1998) 215-223.
- [60] Correa, G.; Almanza, R. - Copper based thin films to improve glazing for energy-savings in buildings - Solar Energy 76 (2004) 111–115.
- [61] Fang, Y.; Eames, P. C. – The effect of glass coating emittance and frame rebate on heat transfer through vacuum and electrochromic vacuum glazed windows - Solar Energy Materials & Solar Cells 90 (2006) 2683–2695.
- [62] Fang, Y.; Eames, P. C.; - Thermal performance of an electrochromic vacuum glazing - Energy Conversion and Management 47 (2006) 3602–3610.
- [63] Chavez-Galan, J.; Almanza, R.; - Solar filters based on iron oxides used as efficient windows for energy savings - Solar Energy 2006.

- [64] Pe'rez-Grande, I.; Meseguer, J.; Alonso, G. - Influence of glass properties on the performance of double-glazed facades - *Applied Thermal Engineering* 25 (2005) 3163–3175.
- [65] Griffiths, P.; Batty, W. J.; Probert , S.D.; Knight, C. - Solar-Control Films - *Applied Energy* 41 (1992) 261-284.
- [66] Garcia-Hansen, V.; Esteves, A.; Pattini, A. - Passive solar systems for heating, daylighting and ventilation for rooms without an equatorfacing Facade - *Renewable Energy* 26 (2002) 91–111.
- [67] Inoue, T. – Solar shading and daylighting by means of autonomous responsive dimming glass: practical application – *Energy and Buildings* 35 (2003) 463-471.
- [68] Kapur, N. K.; - A comparative analysis of the radiant effect of external sunshades on glass surface temperatures - *Solar Energy* 77 (2004) 407–419.
- [69] Kurnitski, J.; Jokisalo, J.; Palonen. J.; Jokiranta, K.; Seppänen, O. - Efficiency of electrically heated windows - *Energy and Buildings* 36 (2004) 1003–1010.
- [70] Leea, E.S.; Tavi, A. - Energy and visual comfort performance of electrochromic windows with overhangs - *Building and Environment*.
- [71] Manza, H.; Schaelinb, A.; Simmlera. H. - Air ow patterns and thermal behavior of mechanically ventilated glass double facades - *Building and Environment* 39 (2004) 1023 – 1033.
- [72] Manz, H.; - Total solar energy transmittance of glass double façades with free convection - *Energy and Buildings* 36 (2004) 127–136.
- [73] Nagai, J.; McMeeking, G. D.; Saitoh, Y. - Durability of electrochromic glazing - *Solar Energy Materials & Solar Cells* 56 (1999) 309Ð319.

- [74] Papaefthimiou, S.; Syrrakou, E.; Yianoulis, P.; -Energy performance assessment of an electrochromic window -Thin Solid Films 502 (2006) 257 – 264.
- [75] Sbar, N.; Badding, M.; Budziak, R.; Cortez, K.; Laby, L.; Michalski, L.; Ngo, T.; Schulz, S.; Urbanik, K. - Progress toward durable, cost effective electrochromic window glazings - Solar Energy Materials & Solar Cells 56 (1999) 321Ð341.
- [76] Schaefer, C.; Brasuer, G.; Szczyrbowski, J. - Low emissivity coatings on architectural glass - Surface and Coatings Technology 93 (1997) 37-45.
- [77] Shih, N.J.; Huang, Y. S. - An analysis and simulation of curtain wall re"ection glare - Building and Environment 36 (2001) 619–626.
- [78] Ünver, R.; Ozturk, L.; Adiguzel, S.; Celik, O. - Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices - Energy and Buildings 35 (2003) 737–746.
- [79] West, S. - Improving the sustainable development of building stock by the implementation of energy efficient, climate control technologies - Building and Environment 36 (2001) 281±289.
- [80] Zhu, H.; Yu, X.; Rajamani, R.. Stelson, K.A. - Active control of glass panels for reduction of sound transmission through windows - Mechatronics 14 (2004) 805–819.
- [81] Zollner, A.; Winter, E. R. F.; Viskanta, R. - Experimental studies of combined heat transfer in turbulent mixed convection fluid flows in double-skin-fac_ades - International Journal of Heat and Mass Transfer 45 (2002) 4401–4408.
- [82] Zürcher, C.; Finger, G.; Kneübuhl, F. K.; Thiébaud, F.; Veesch, H. – The Influence of Thermal and Solar Radiation on the Energy Consumption of Buildings - Infrared Phys Vol. 22, 277-291, 1982.