



**Escola Politécnica
Universidade de São Paulo**

Vidros

Aplicações Especiais

Samuel M. Toffoli

2016

Roteiro

- História
- Formação de um Vidro
- Vidros Temperados e Laminados
- Vidros Planos – Automobilística
- Vidros Planos – Arquitetura
- Vidros Extra-Finos

História

História

O vidro é utilizado pelo homem há milhares de anos

Vidro Natural: Obsidianas (produto de ação vulcânica)



História



Natureza fornece:

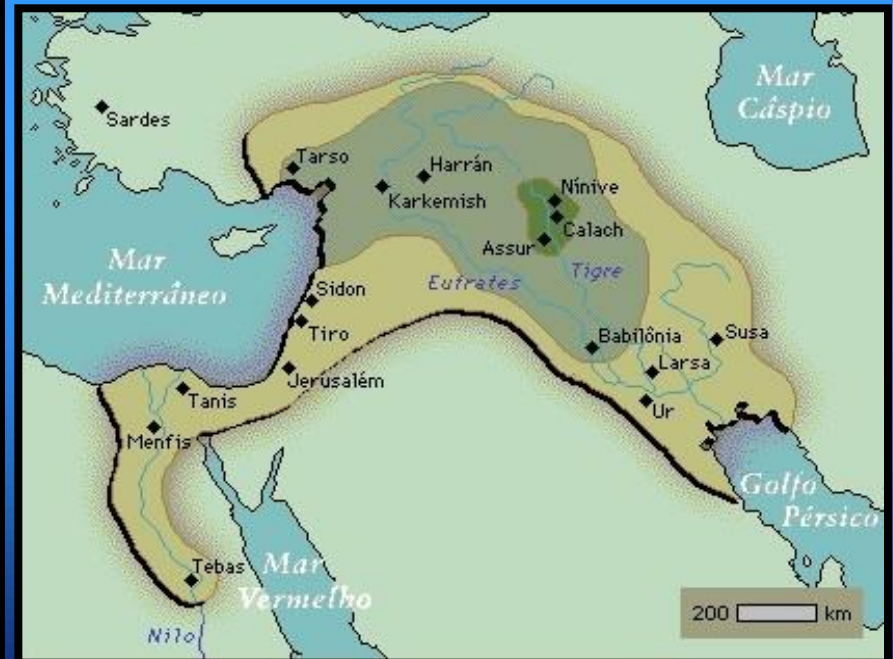
Energia

Matérias-primas

Tecnologia de fusão

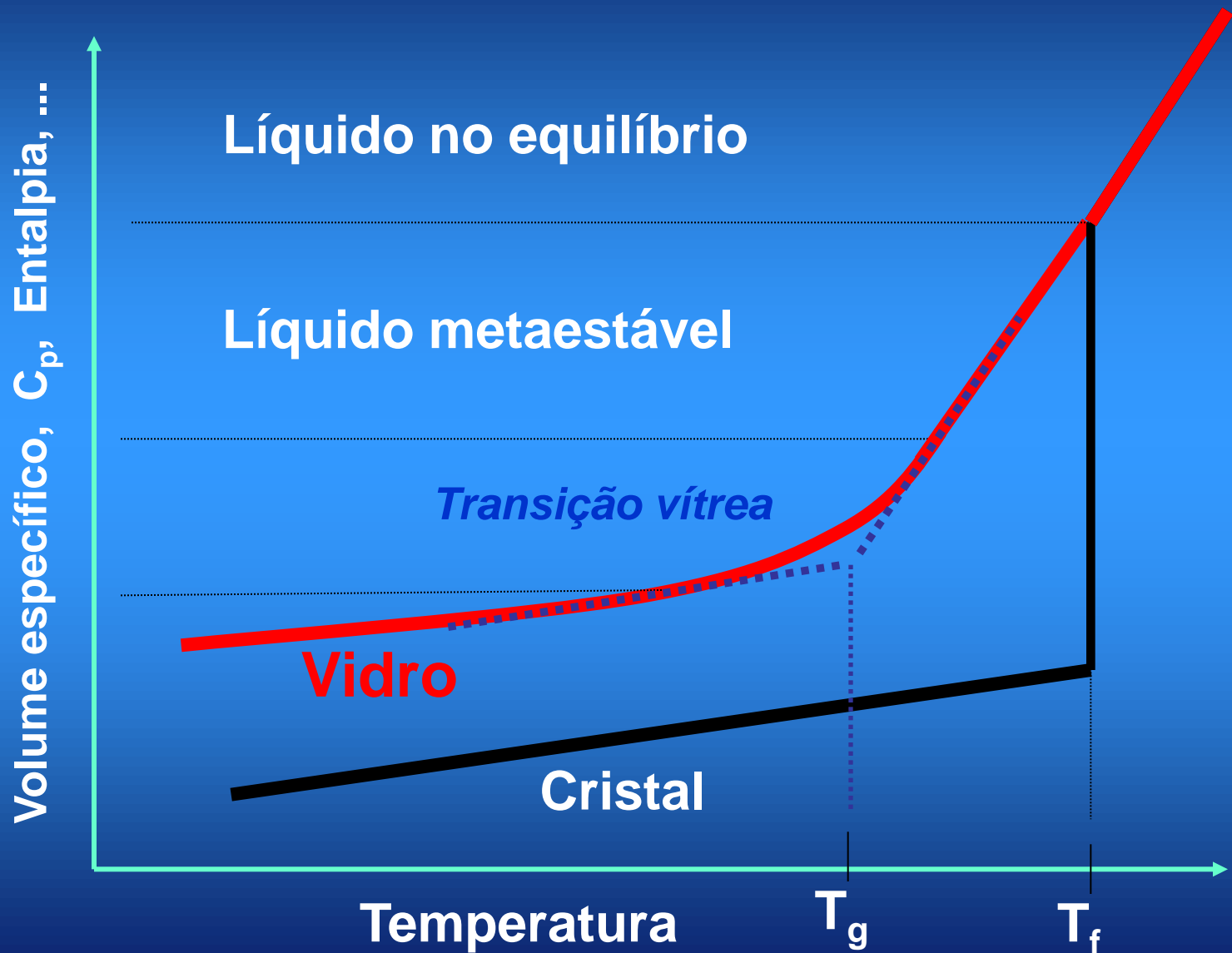
História

Há 4500 anos:
descoberta
acidental de como
fazer vidro

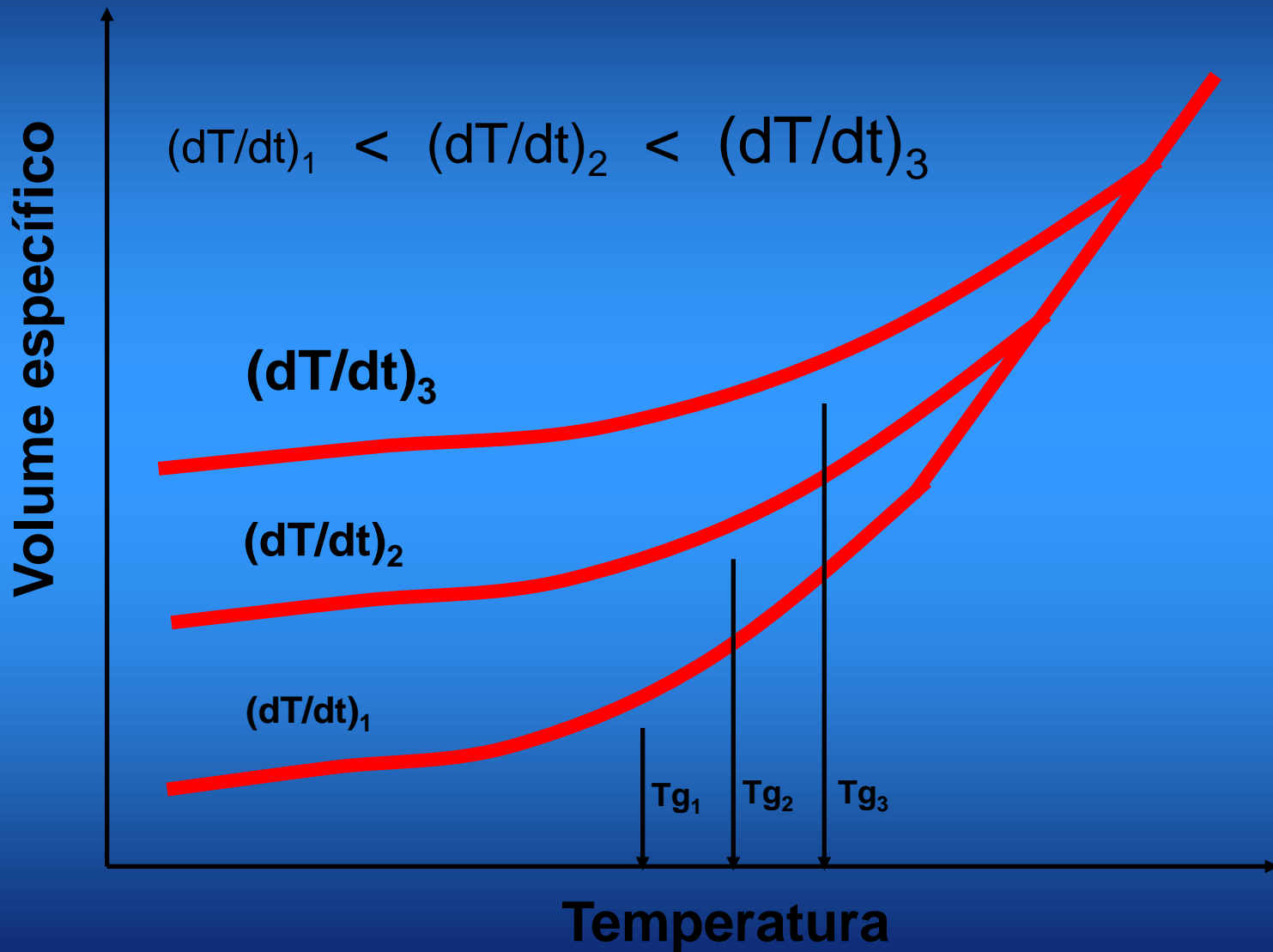


Formação de um vidro

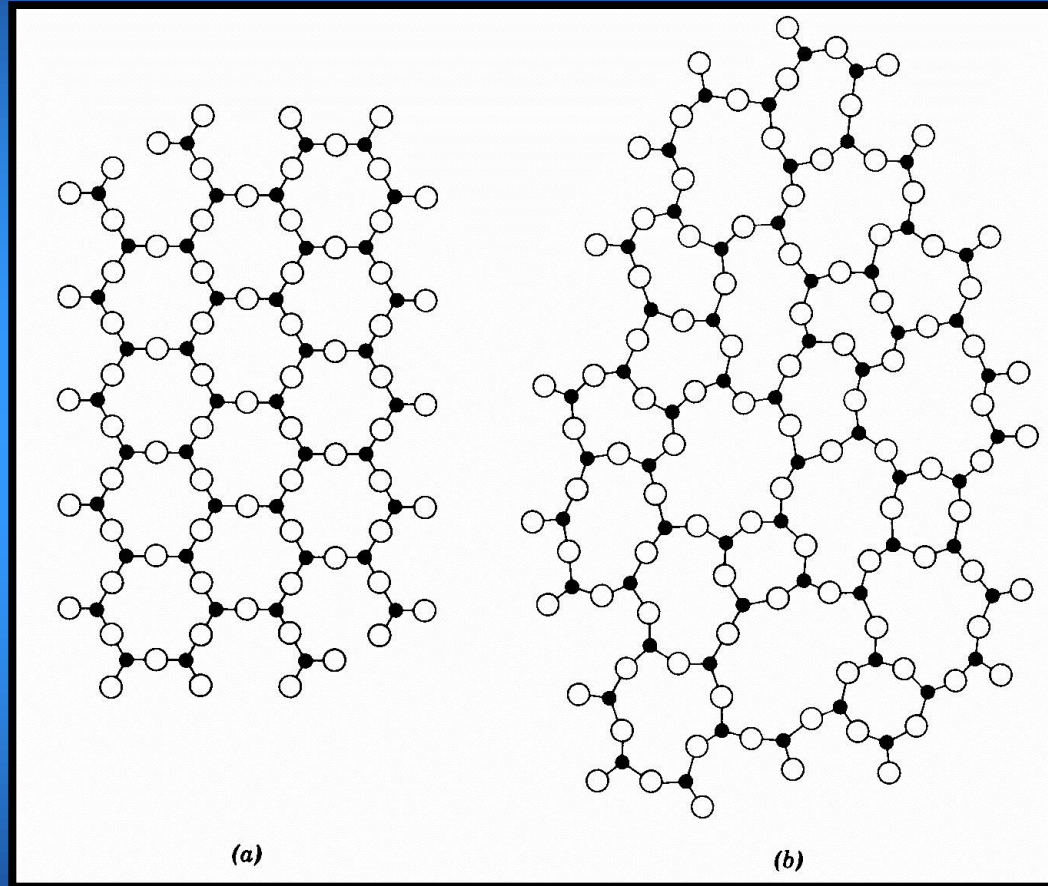
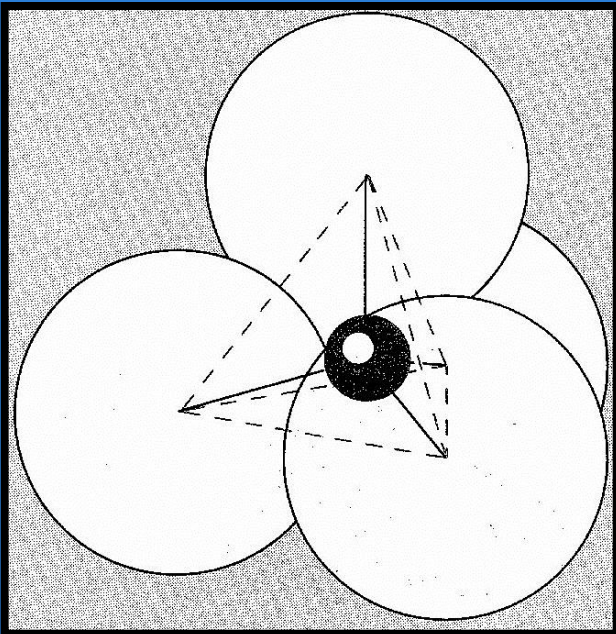
Formação de um vidro



Formação de um vidro



Formação de um vidro



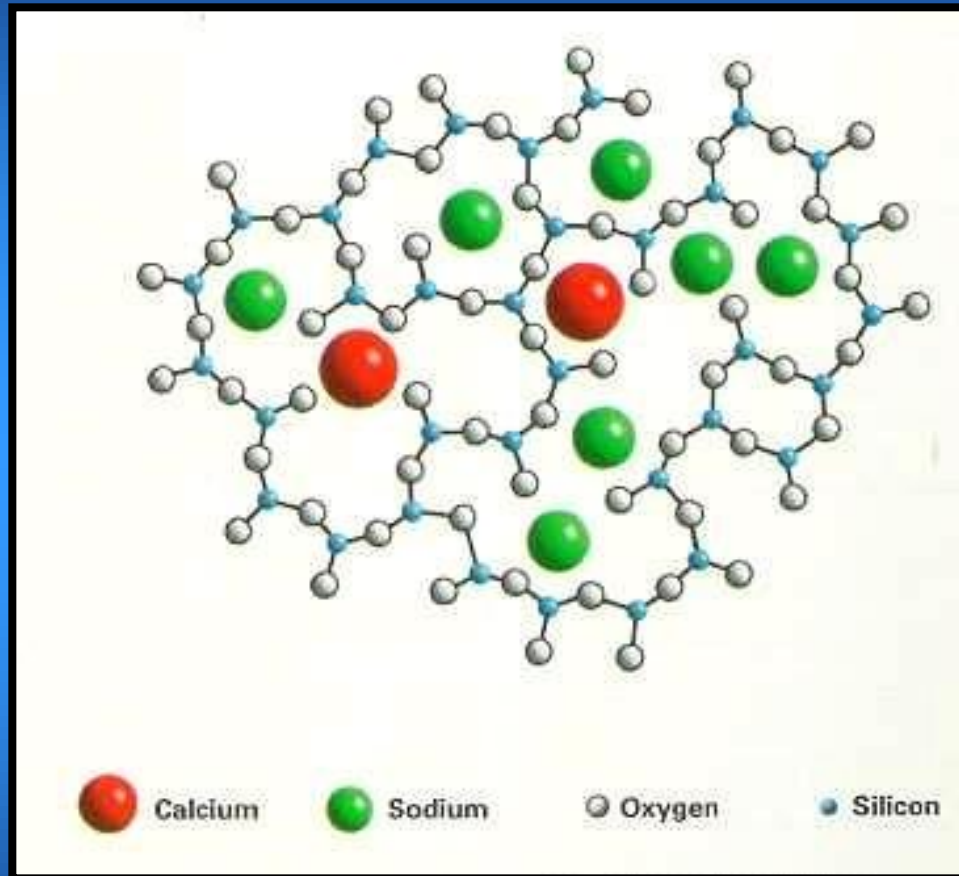
Cristalino

Vítreo

(Zachariasen, 1932)

Átomo de silício ligado a 4 átomos de oxigênios, em configuração tetraédrica (tamanhos proporcionais)

Formação de um vidro



Vidro sodo-cálcico

(janelas, garrafas, potes, vidro automotivo, box de banheiro, pratos comuns, etc.)

Vidros Temperados e Laminados

Vidros de segurança

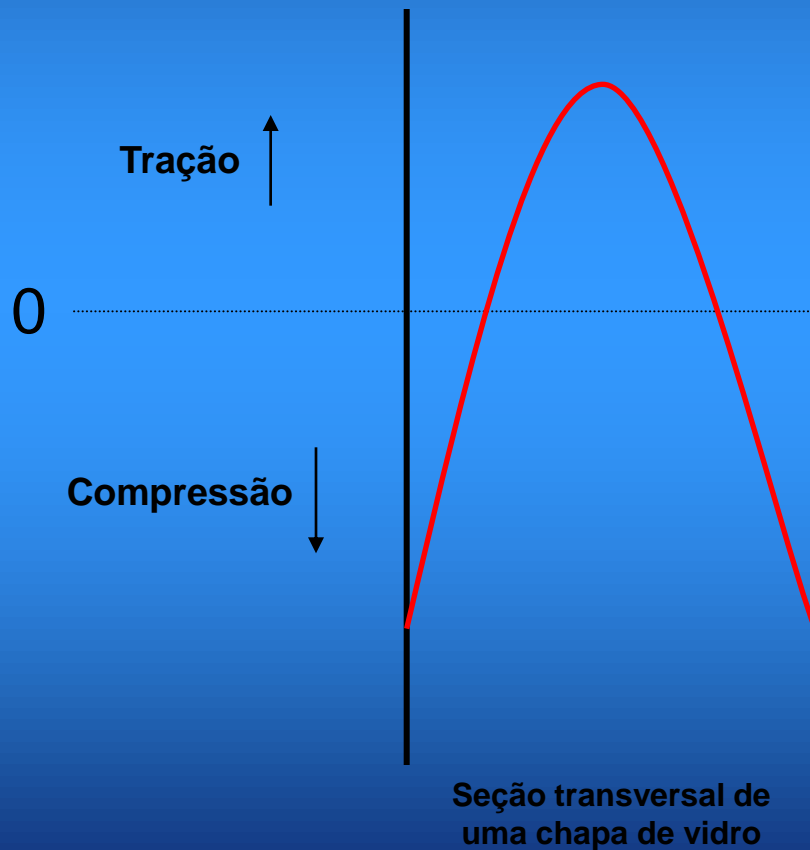
Em caso de ruptura, devem causar menos danos às pessoas do que causaria o vidro recozido

TÊMPERA (térmica)

- Processo térmico: aquecimento uniforme seguido de resfriamento rápido e homogêneo
 - Tensões de compressão na superfície e de tração no interior
 - Resistência a impactos de 3 a 5 vezes maior
 - Cacos arredondados e menos cortantes

Vidros de segurança

TÊMPERA: Tensões



Vidros de segurança

LAMINAMENTO

- Sanduíche: 2 folhas de vidro + 1 folha de PVB

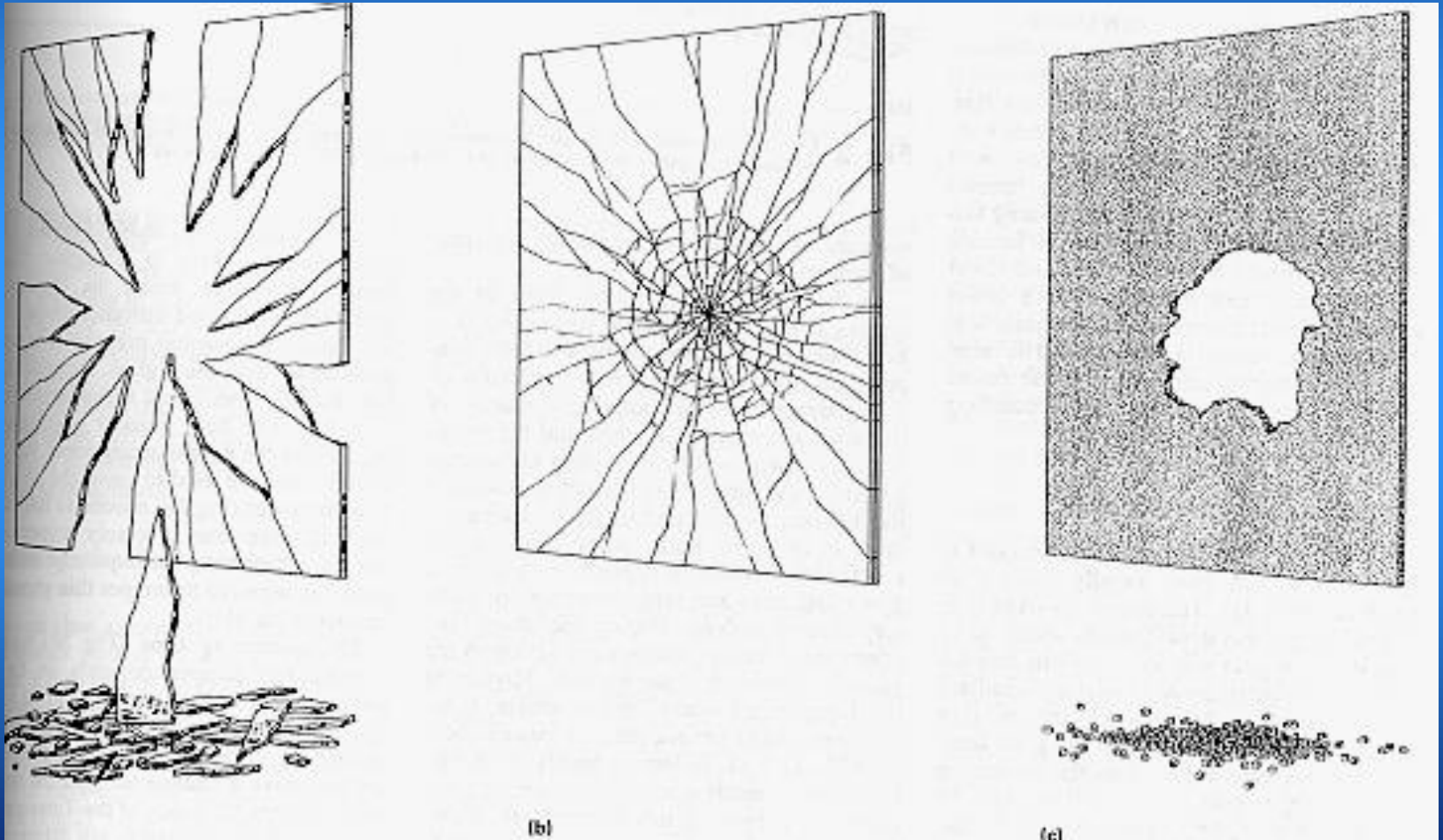
PVB = poli(vinil butiral), um polímero “borrachoso”

- O conjunto “cola” em auto-clave (P e T)
- O conjunto apresenta ótima capacidade de absorção de impactos ao fraturar-se



Vidros de segurança

MODOS DE FRATURA



Recozido

Laminado

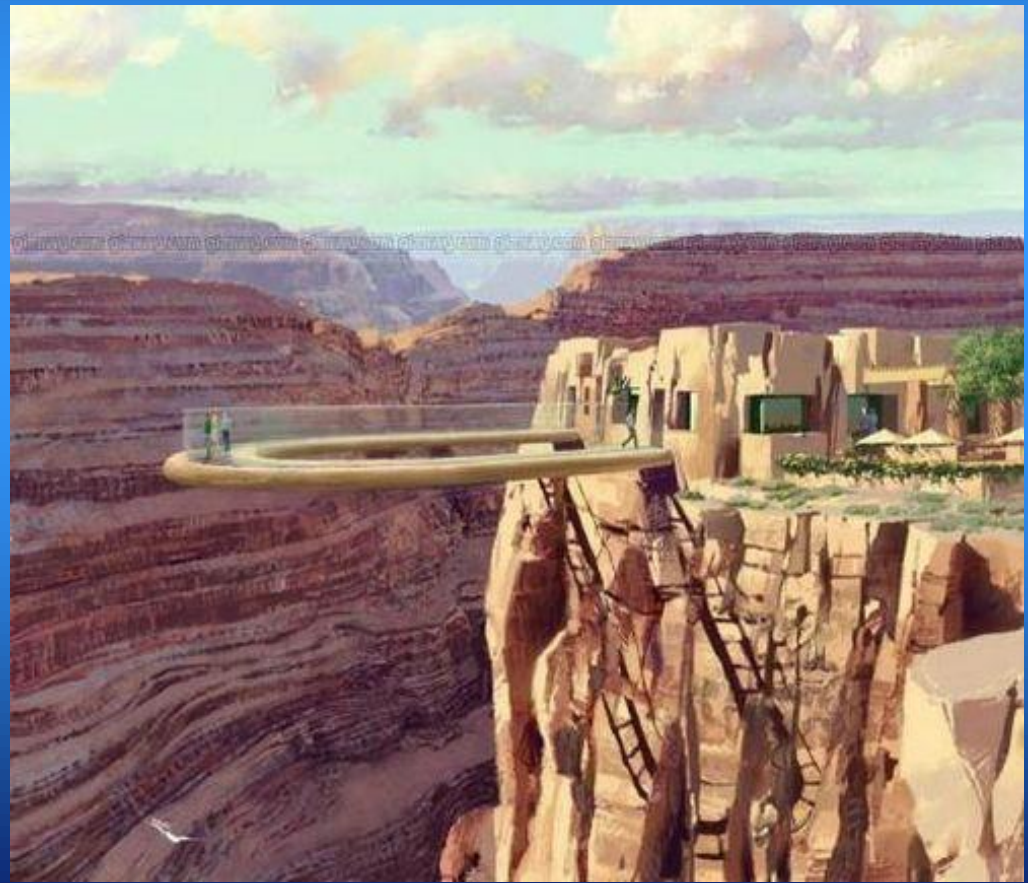
Temperado

Aplicações Especiais

Vidro Laminado



Grand Canyon Skyway



Vidro Laminado



Grand Canyon Skyway

1100 m de altura
Abertura: 28.03.2007
US\$ 30 milhões



Vidro Laminado

Grand Canyon Skyway



Vidro Laminado

Sears Tower, Chicago, EUA



- Sears Tower (atual Willis Tower), Chicago, Illinois, EUA
- Inaugurado em 1973, e desde então a mais alta estrutura dos Estados Unidos (527 m).
- Skydeck Ledge: 103º andar, 412 m de altura, 2009 (“caixa” de vidro retrátil)

Vidro Laminado

Willis Tower Skydeck Ledge



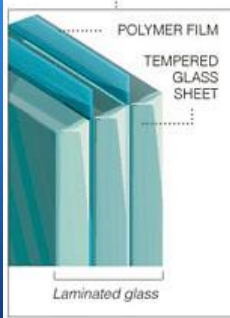
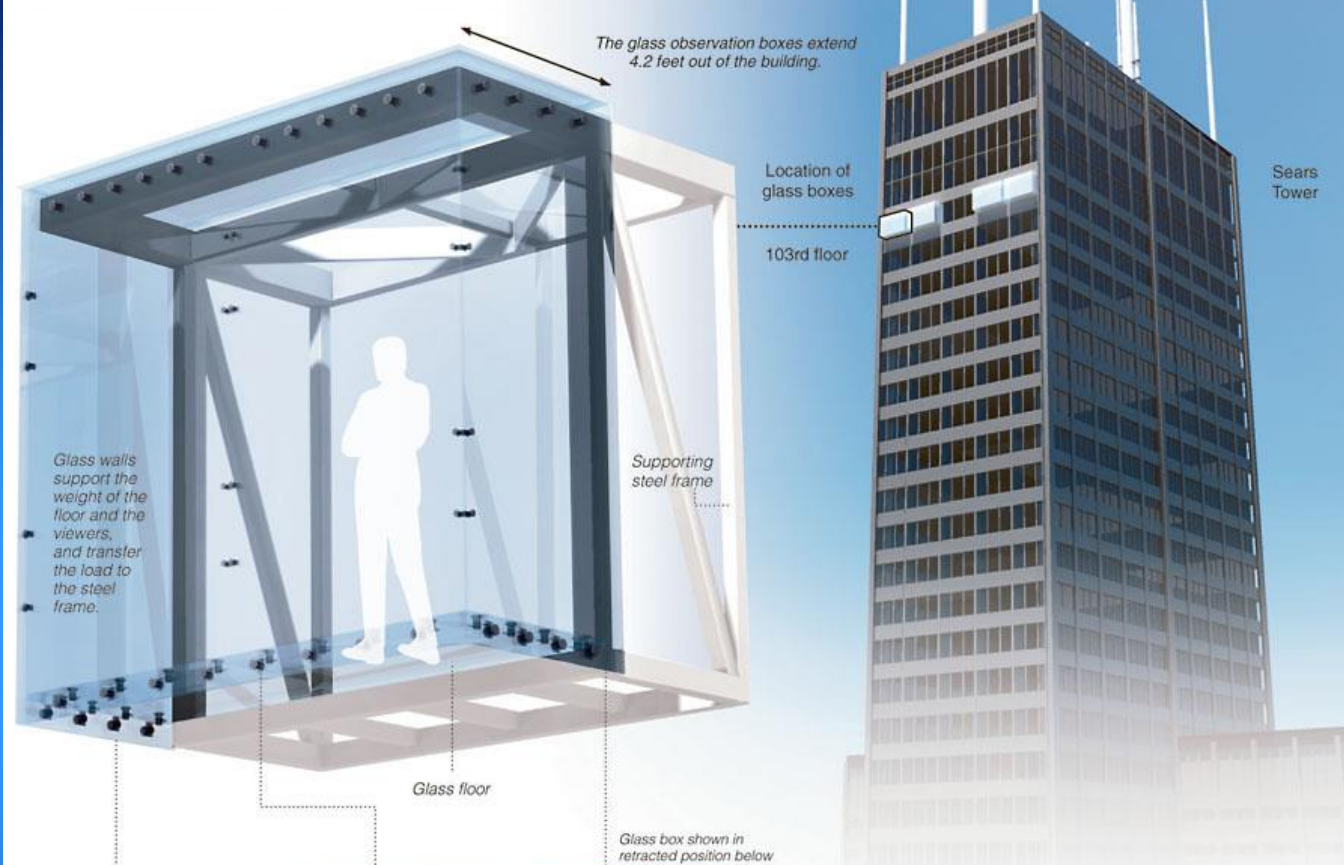
Vidro Laminado

Willis Tower Skydeck Ledge

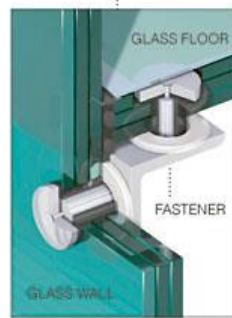


Don't Look Down

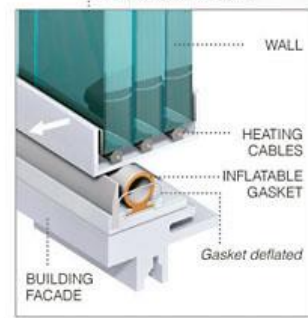
The new 103rd-floor observation booth at the Sears Tower, in Chicago, takes advantage of new technology to use glass as a load-bearing element.



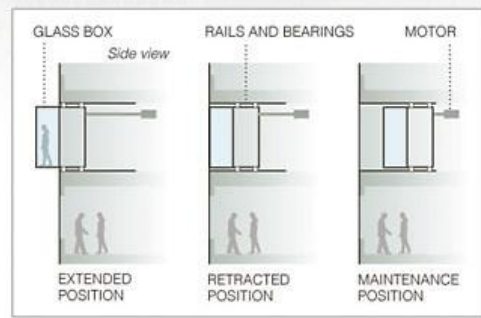
STRUCTURAL GLASS
The floor, sides and ceiling of the observation boxes are made of three sheets of half-inch tempered glass bonded together with polymer film.



FASTENER
Glass elements are joined together with stainless steel fasteners. Some joints have a silicone layer to allow for thermal expansion.



SEAL
An inflatable gasket seals the glass box in place. Deflating the seal allows the box to be moved in and out. Heating cables prevent ice buildup and keep the seal from freezing to the glass.



MECHANISM
A gliding mechanism driven by an electric motor allows the four glass boxes to be pulled inside the tower for cleaning and maintenance.

Sources: Skidmore, Owings & Merrill; MTH Industries
MIKA GRÖNDALH, THE NEW YORK TIMES

Vidro Laminado



2013, Alpes franceses (Chamonix), sobre o Monte Bianco: 3848m, 55€ por pessoa



Vidro Laminado

Glacier Skywalk (at the Canadian Rockies)



Vidro Laminado

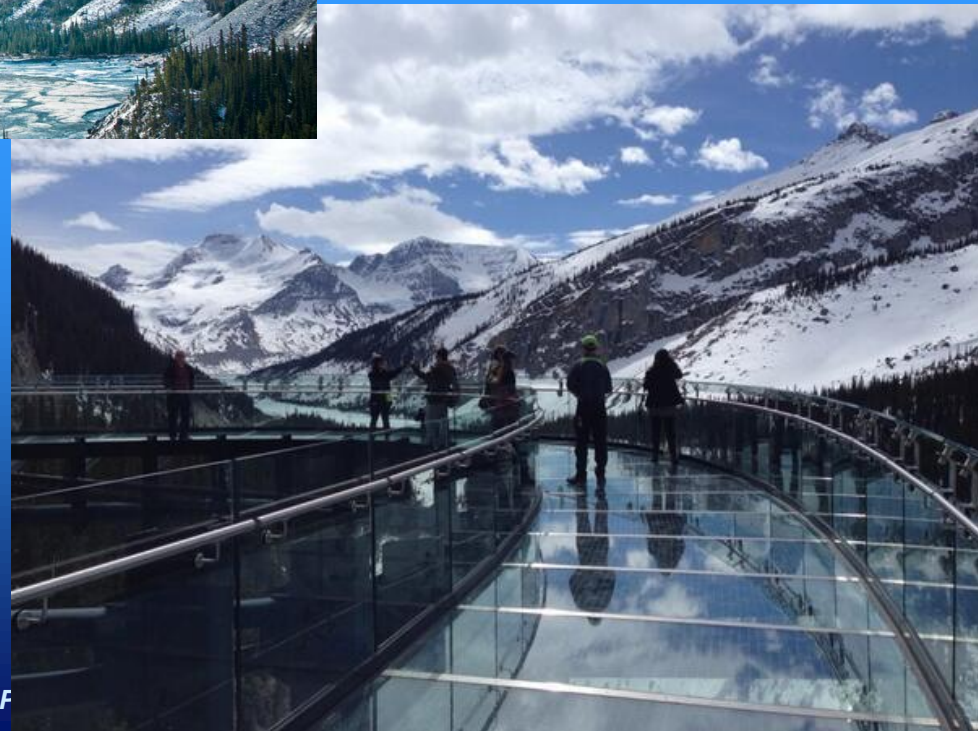
Glacier Skywalk (at the Canadian Rockies)



280 m de altura

Abertura: 01.05.2014

US\$ 21 milhões



Vidro Laminado

Yuanduan Glass Skywalk, China



Vidro Laminado

Yuanduan Glass Skywalk, China



718 m de altura

Abertura: 26.04.2015

Estende-se a 26,68 m de distância da borda (5 m a mais que a Grand Canyon Skyway)



Vidro Laminado

Também na China



Shiniuzhai National Geological Park
(or Pingjiang Shiniuzhai Geopark) Bridge
Condado de Pingjiang, China
300 m de comprimento
180 m de altura
Abertura: setembro de 2015



Vidro Laminado

Também na China



Tianmen Mountain



© China Foto Press / Barcroft Medi



© China Foto Press / Barcroft Medi

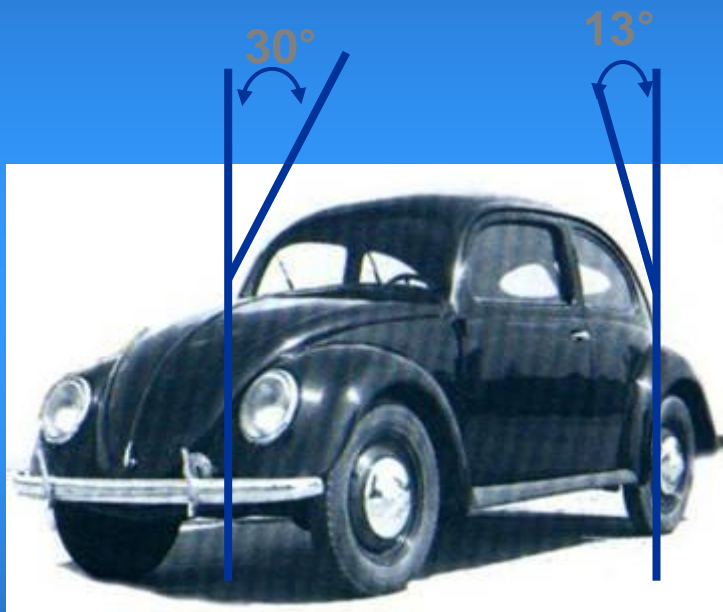
Vidro Laminado

Jinmao Tower, Xangai, China
88º andar, 60 m de comprimento
1,2 m de largura, projetando-se da fachada
Abertura: julho.2016



Vidro Plano – Automóveis

1960



Area envidraçado:
2,2 m²

2000



Área envidraçado:
4,32 m²

Vidro Plano – Automóveis



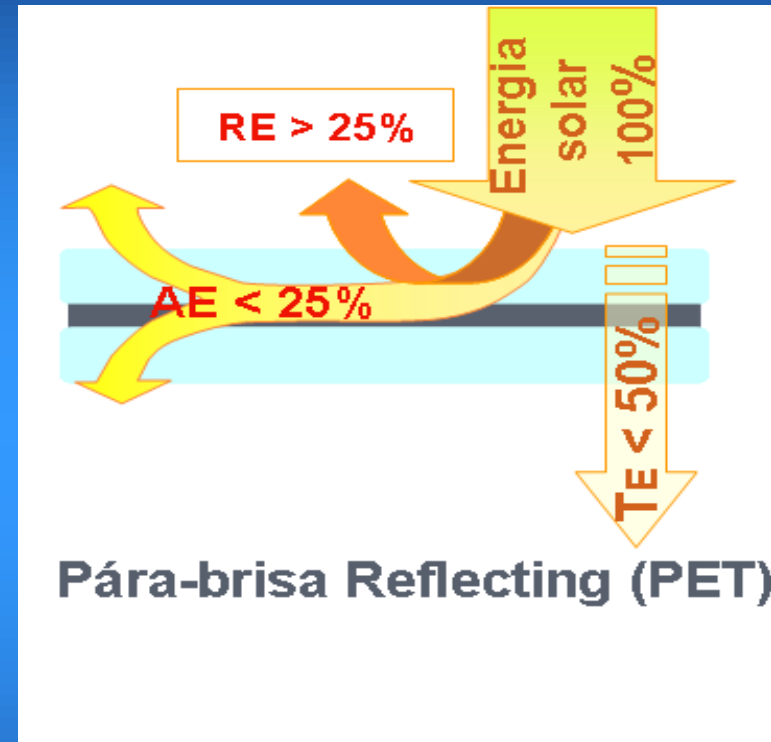
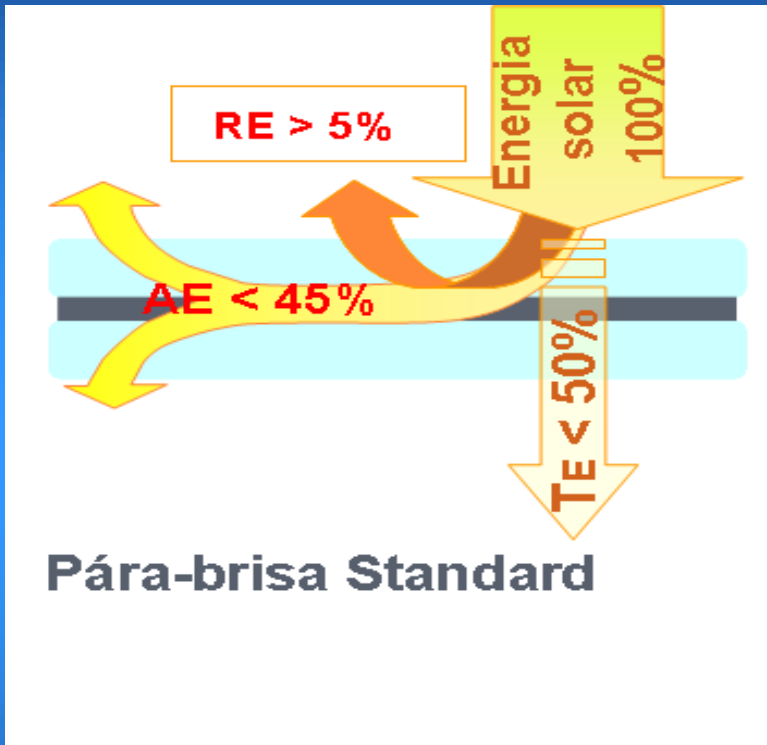
Renault Zoe (elétrico)

Vidro Plano – Automóveis

Conforto térmico \Rightarrow controle da radiação IV

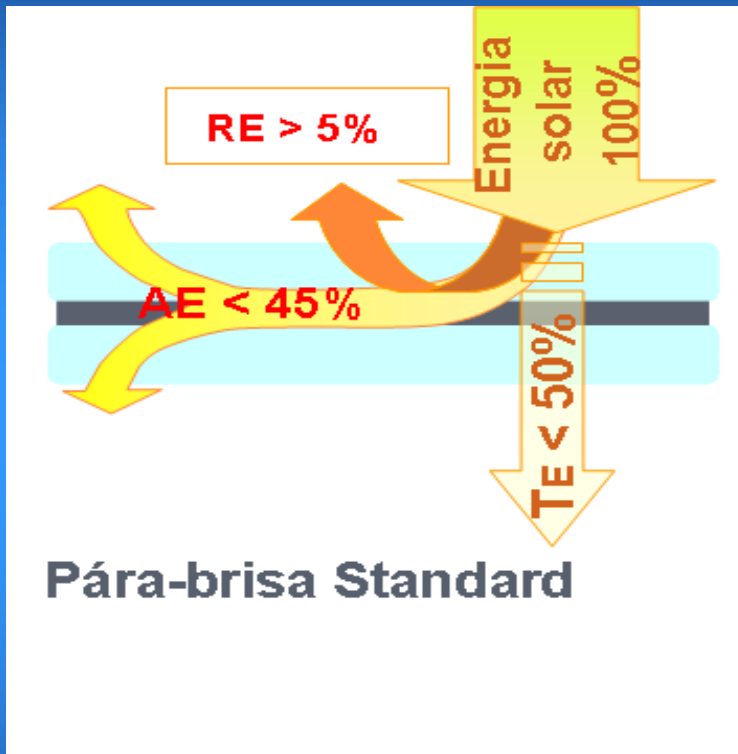
Proteção anti UV \Rightarrow controle da radiação UV

Thermocontrol[®] Reflecting (Saint-Gobain)



- A energia solar é refletida por um filme metálico inserido no pára-brisa
- Restrição: Vidros muito curvos e antena integrada

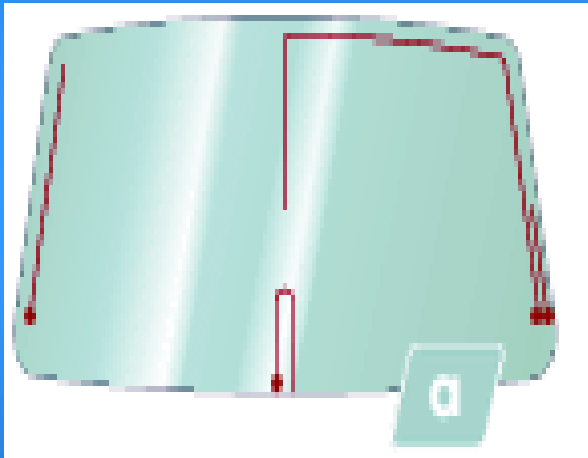
Thermocontrol[®] Absorbing (Saint-Gobain)



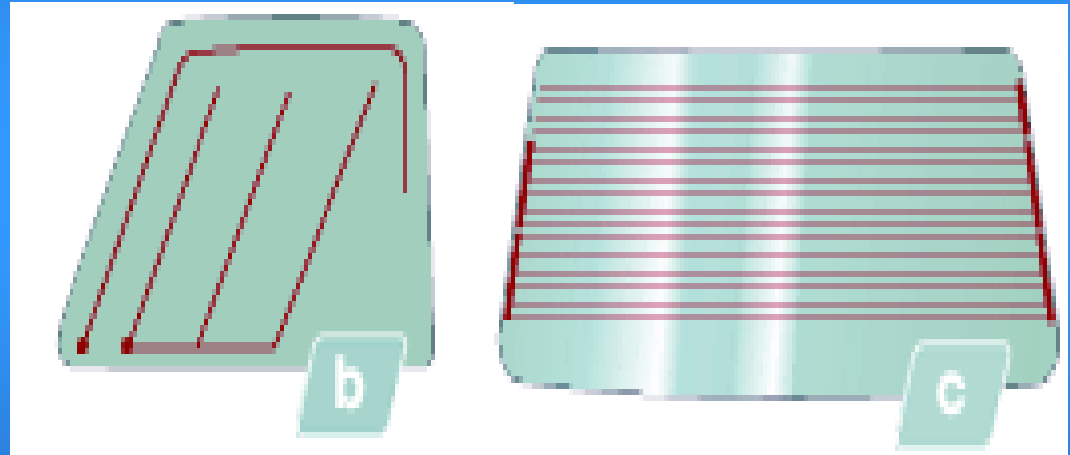
- A energia solar é absorvida por um PVB especial inserido no pára-brisa

Vidro Plano – Automóveis

Antenas e alarmes



Fio condutor em pára-brisas

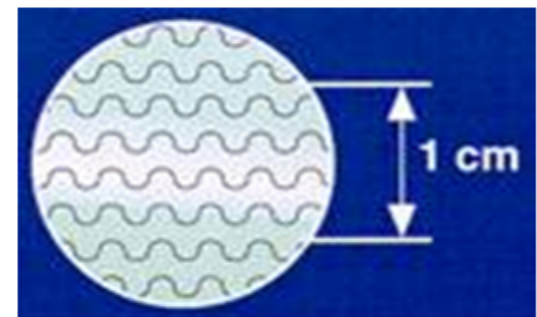
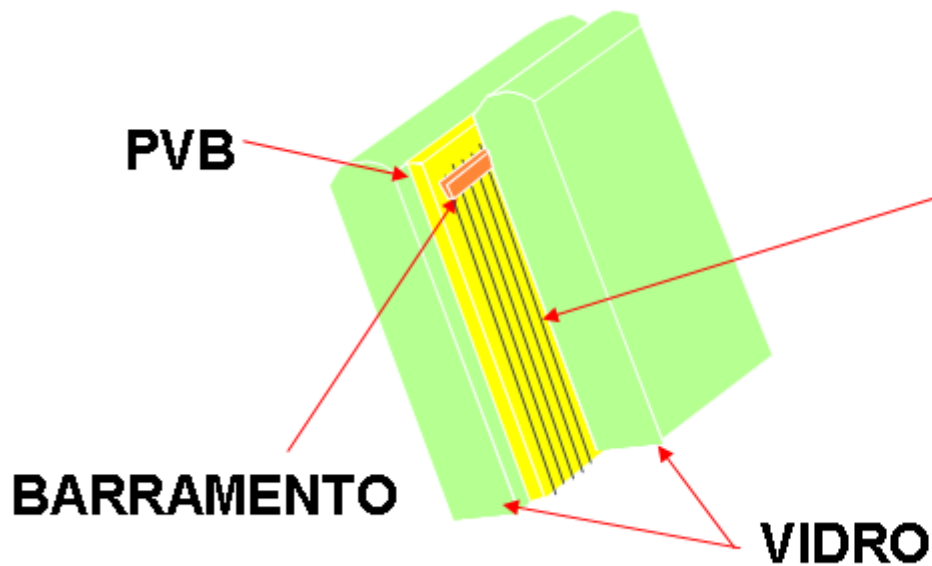


Condutores serigrafados em temperados

Vidro Plano – Automóveis

Anti-embaçante

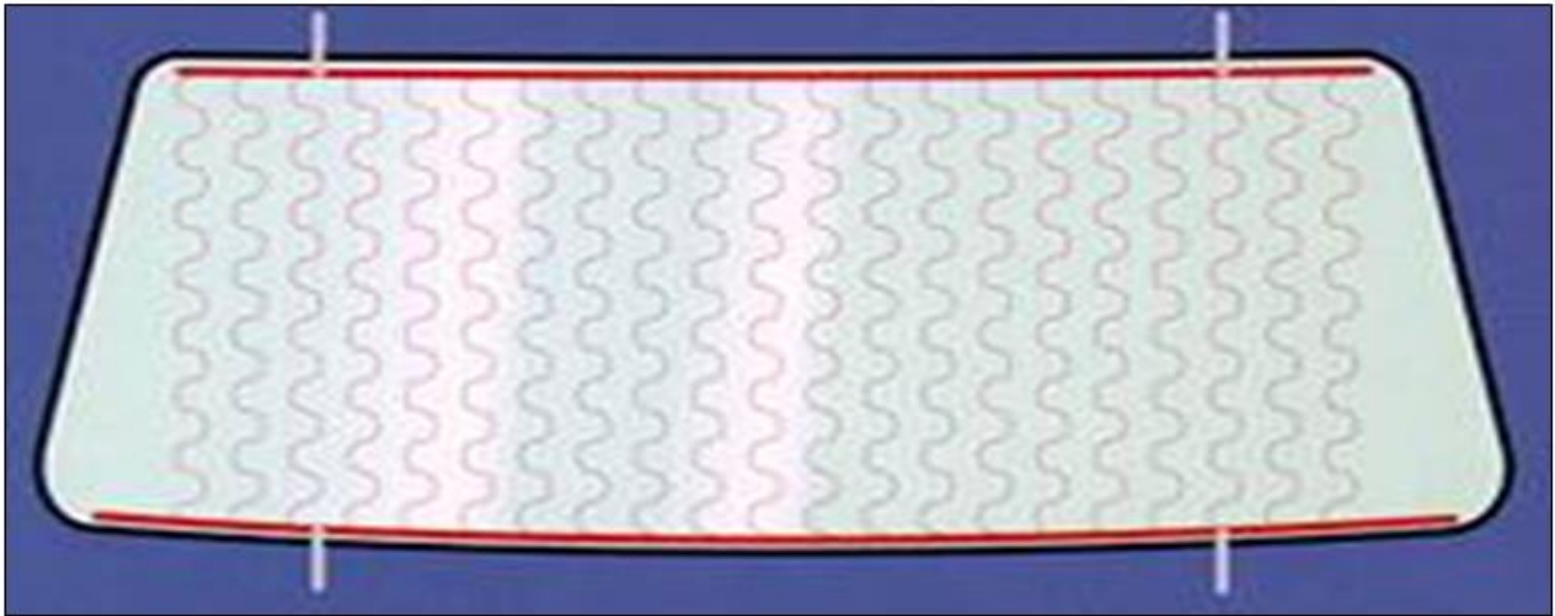
- Micro filamentos de tungstênio aplicados sobre o PVB do pára-brisa.



FILAMENTOS DE AQUECIMENTO

Vidro Plano – Automóveis

Pára-brisa anti-embaçante



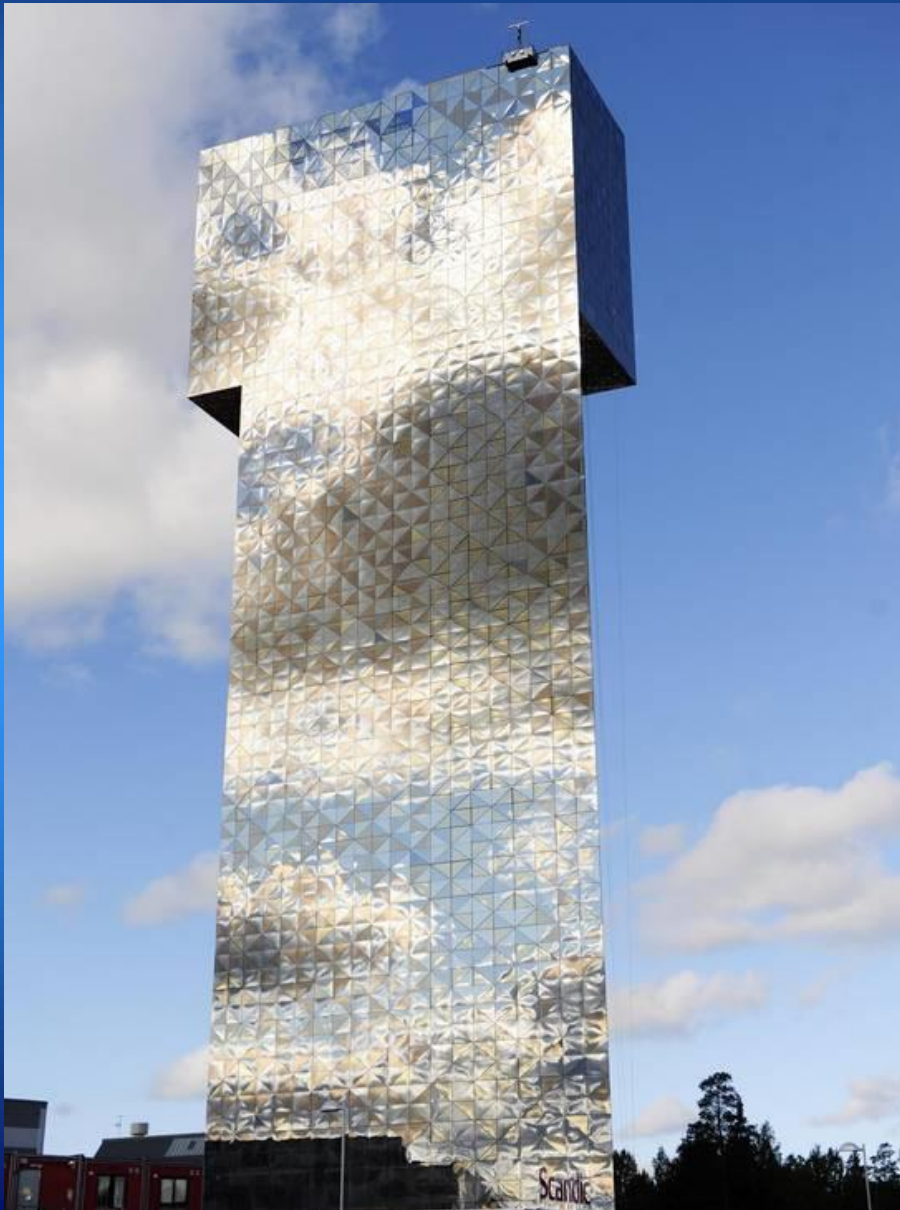
Os filamentos são aplicados em toda **área visível** do pára-brisa, alcançando até mesmo as áreas que a ventilação forçada não desembaça com rapidez.

Vidro Plano – Arquitetura

Casa na árvore - arquiteto Aibek Almasov



Vidro Plano – Arquitetura



Scandic Victoria Tower Estocolmo, Suécia

34 andares, 118 m
299 quartos
2011

Fachada em aço e vidro (janelas isolantes, duplas): 8000 placas triangulares de vidro de tons de dourado, prateado e bronze, colocadas assimetricamente (fabricante: AS Klaasimeister, Estônia).

Vidro Plano – Arquitetura

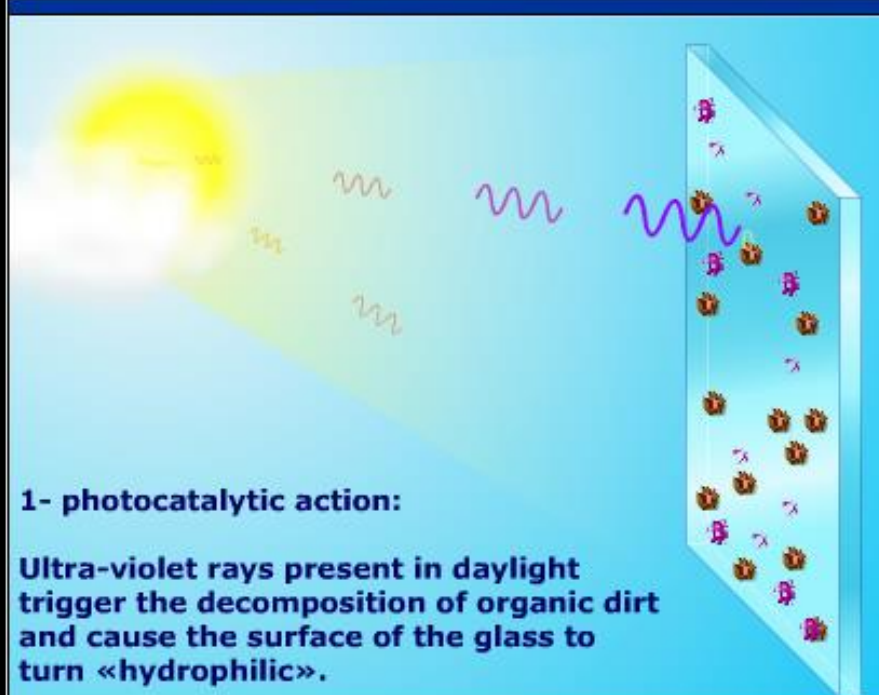
Scandic Victoria Tower



Vidro Plano – Arquitetura

Vidro auto-limpante

SGG **BIOCLEAN**[®] 
Let nature do your dirty work !



SGG **BIOCLEAN**[®] 
Let nature do your dirty work !



Vidro Plano – Arquitetura

Vidro convencional



Bioclean



Vidro Plano – Arquitetura

Vidro convencional

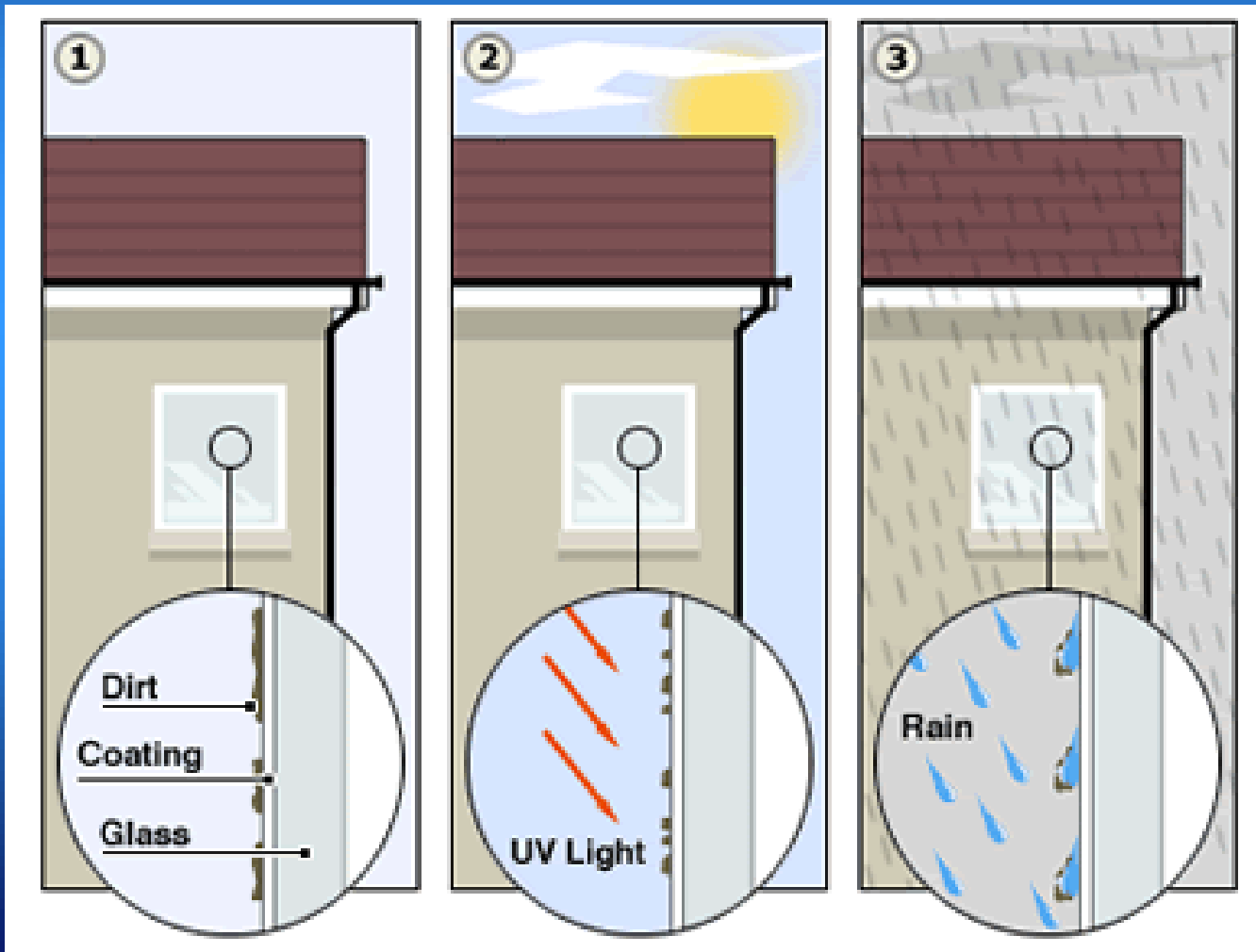
Bioclean

Após 6 meses sem limpeza



Vidro Plano – Arquitetura

Vidro auto-limpante



Activ[®]
(Pilkington)
2001

Vidro Plano – Arquitetura

Vidro Auto-Limpante:

- Filme de TiO_2 (~15 nm) na superfície do vidro
- Radiação UV sobre a titânia provoca excitação eletrônica $\rightarrow e^-$



Regenera o balanço elétrico do Ti

O radical $\cdot\text{OH}$ e o superóxido degradam as gorduras e sujeira da superfície, tornando-os hidrofílicos e, portanto, laváveis pela água da chuva



Saint-Pancras Station, Londres

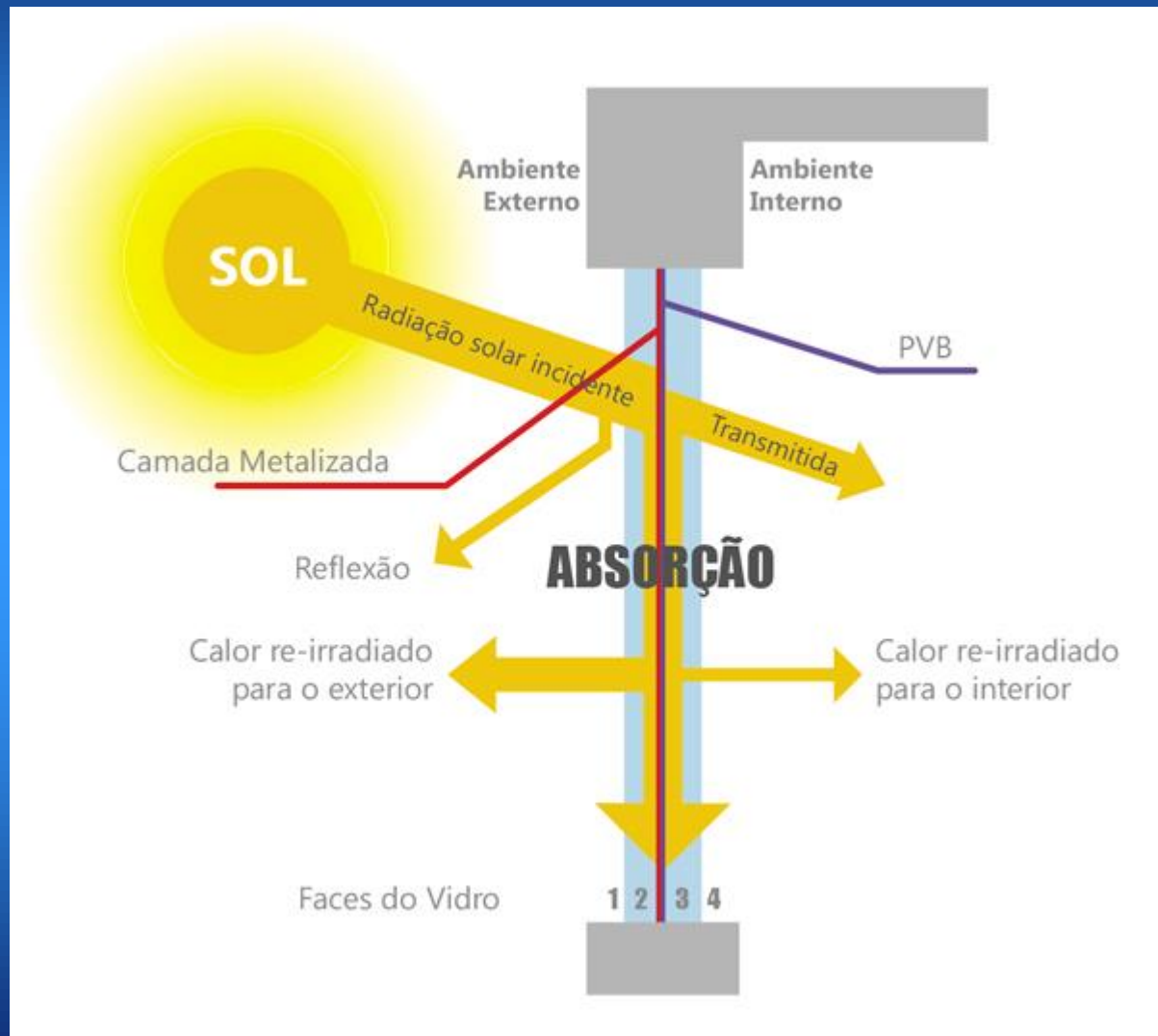
>10.000 m² de telhado

>17.000 placas de vidro auto-limpante

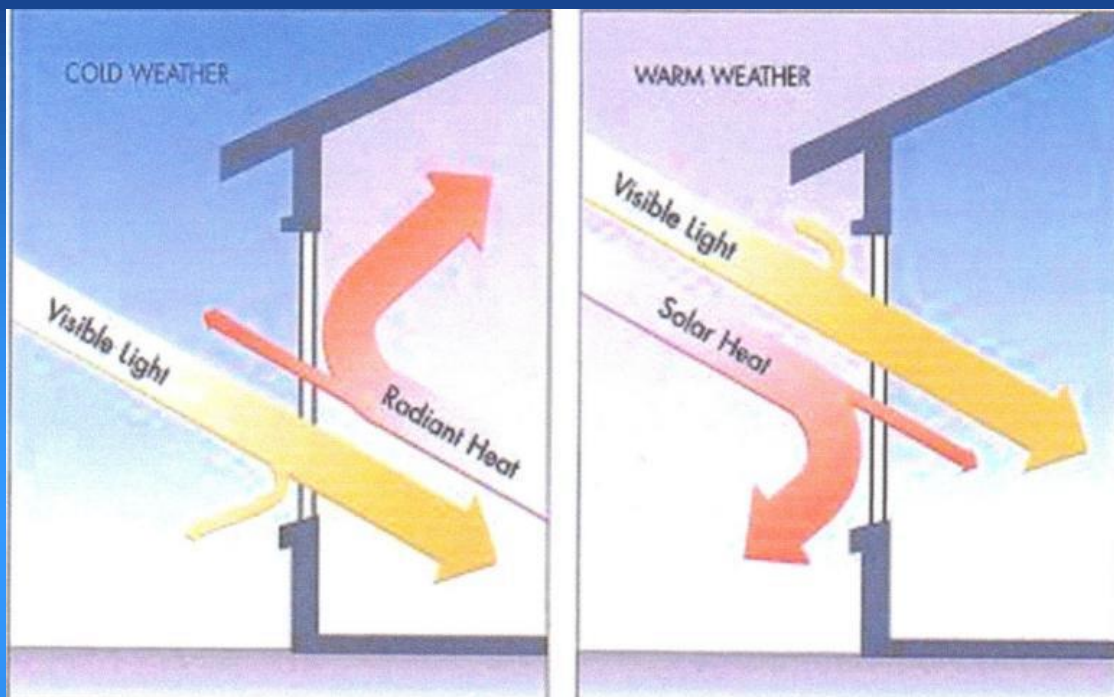
Vidro para controle solar



- Consegue barrar até 80% do calor externo, deixando passar ~40% da luz visível



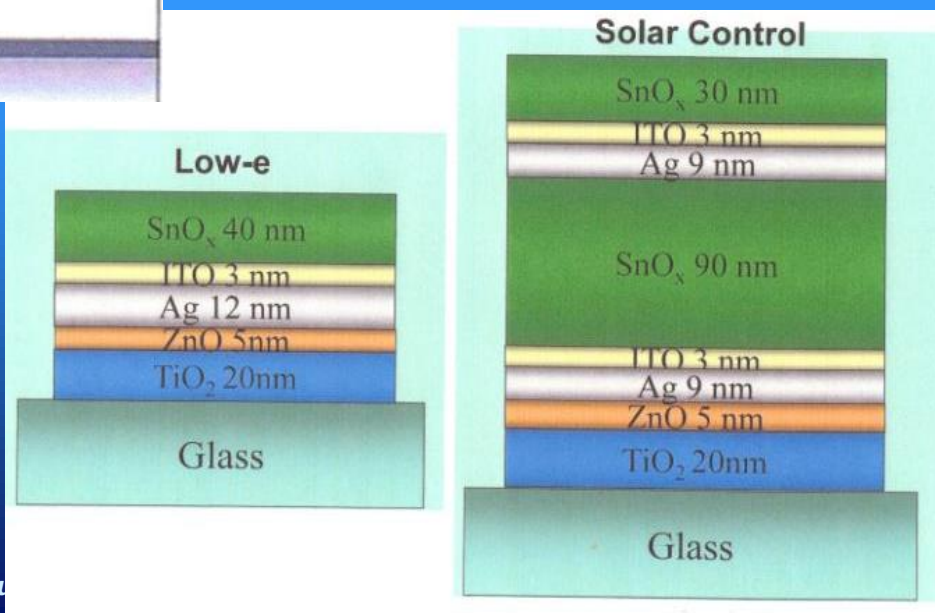
Vidro para controle solar (*heat mirrors*)



Utilizado principalmente em arquitetura

Conceito

Depósito multi-camadas por *sputtering*, onde o filme de prata é o principal refletor de radiação IV, mas é ajudado pelas outras camadas dielétricas



Vidro Plano – Arquitetura

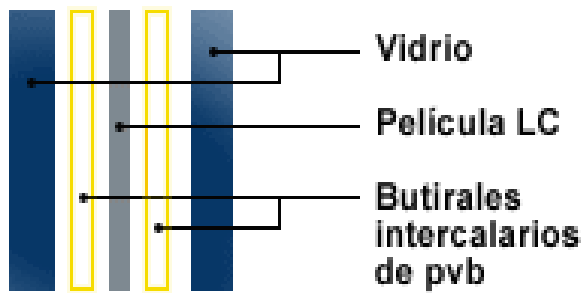
Vidro anti-reflexo



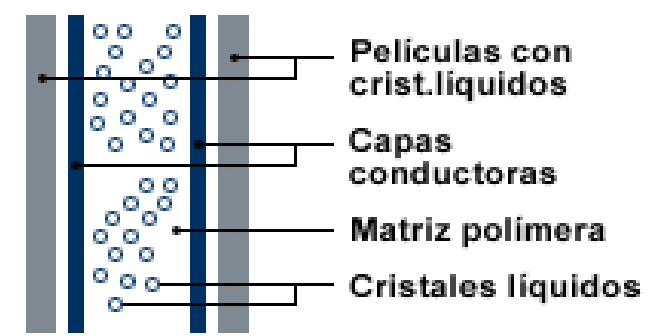
Vidro Plano – Arquitetura

Vidro opticamente ativo

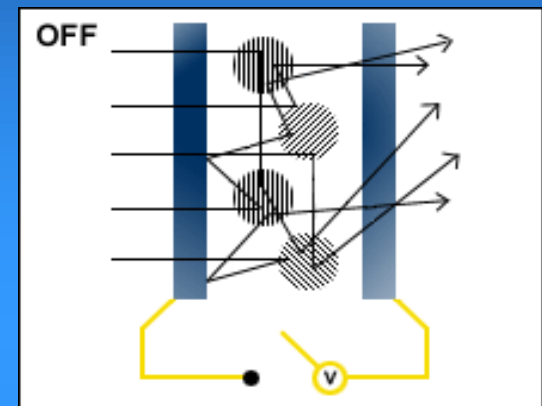
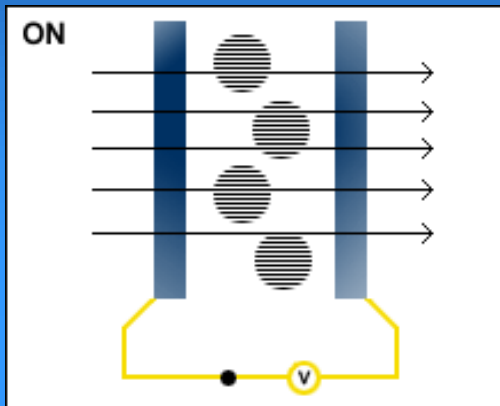




Corte da película



Corte transversal



Vidro Plano – Arquitetura

Aplicação de vidro
eletrocromático:

Chabot College (California, EUA)

“Cortina” de vidro de 884 m²

Inaugurado em 2010

SageGlass
(Saint-Gobain)



The Student Services Center at Chabot College, California features SageGlass, shown (above) in the clear state and (below) fully tinted.



Vidro Plano – Arquitetura

Ornilux Mikado (2009)



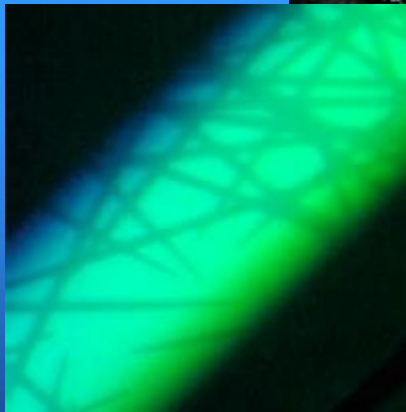
À esquerda, o vidro como nós o vemos, à direita, como os pássaros o vêem.

Vidro para proteção contra impacto de aves: padrões geométricos que refletem luz UV, gravados na superfície do vidro, visíveis apenas pelos pássaros (eles têm 4 conjuntos de cones fotoreceptores nos olhos, contra apenas 3 dos humanos, o que os habilita a enxergar luz ultra violeta)

Obs: “mikado”, em alemão, significa “jogo de varetas”

Vidro Plano – Arquitetura

Ornilux Mikado (2009)



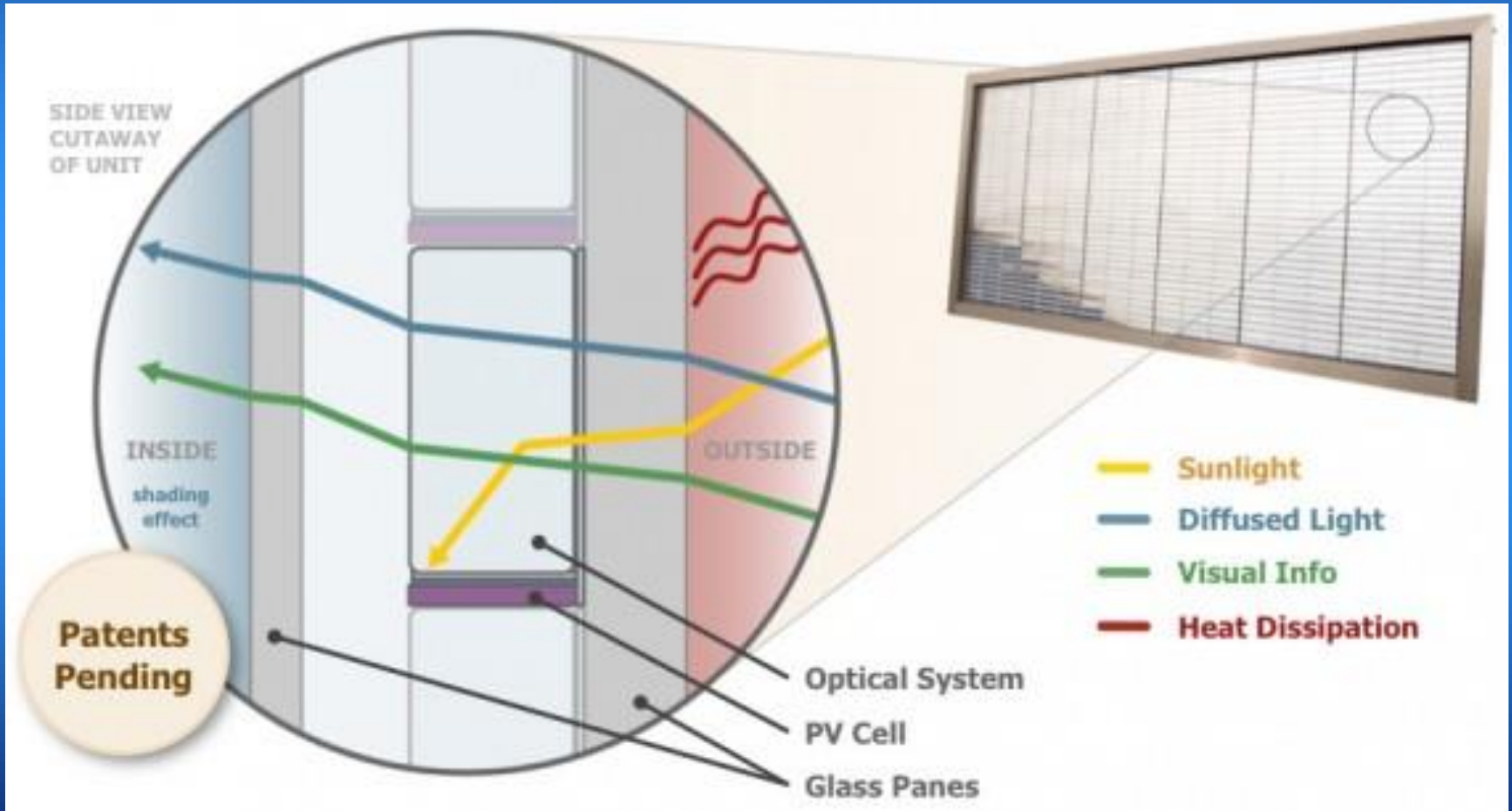
Nicho dos ursos polares - Zoológico Hellenbrunn (Munique)

A day made of glass

(Corning)

Vidro Plano – Arquitetura

Pythagoras – PVGU (Photo-Voltaic Glass Unit)



Vidro Plano – Arquitetura

Pythagoras – PVGU (Photo-Voltaic Glass Unit)

Pythagoras Solar (Israel, EUA e Taiwan), fundada em 2007



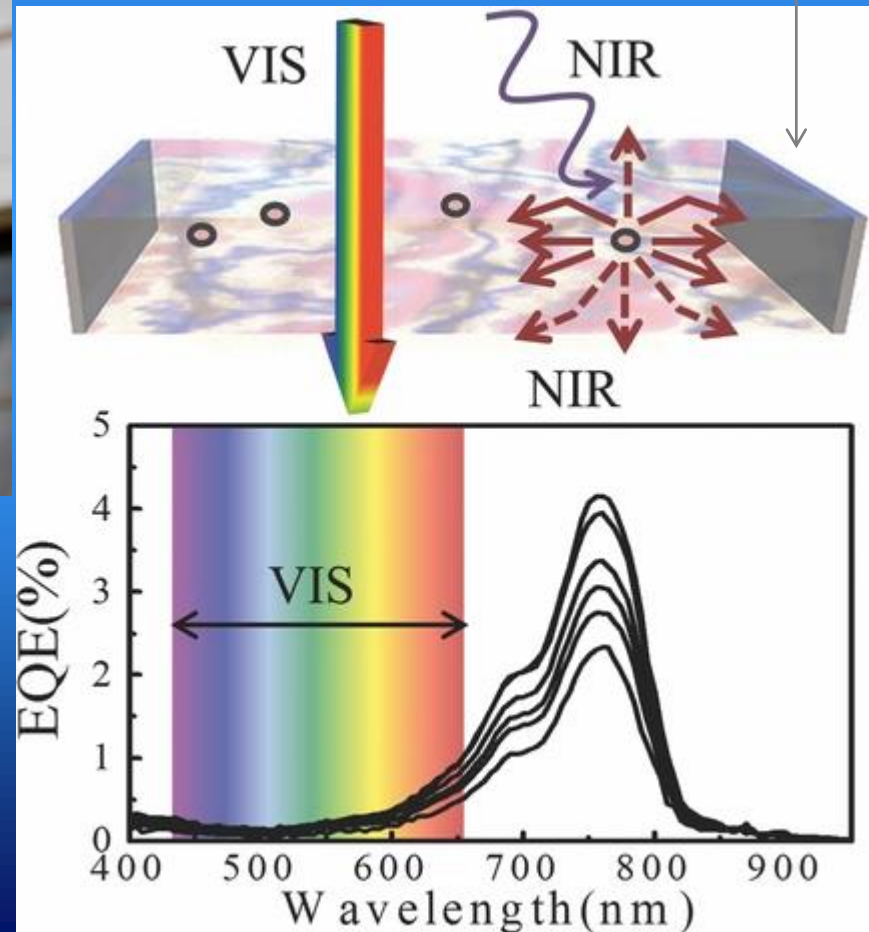
Vidro Plano – Arquitetura

Near-Infrared Harvesting Transparent Luminescent Solar Concentrators

Trabalho experimental – Michigan State University



As bordas contêm tiras de células fotovoltaicas



- O vidro luminesce no infravermelho próximo (NIR)
- A pesquisa encontra-se em andamento (setembro de 2014).
- A eficiência atual ainda é baixa (~1%), mas a projeção é atingir-se ~7%.
- Poderia ser utilizado em janelas, celulares, tablets, ...

Vidro Plano – Células Solares

GMB Solarglas | SILK



- Relevo (rugosidade controlada ou pirâmides) na superfície do vidro para reduzir a reflexão da radiação luminosa
- Além disso, os vidros têm ultra-baixo teor de ferro (industrialmente: “ultra-brancos”)

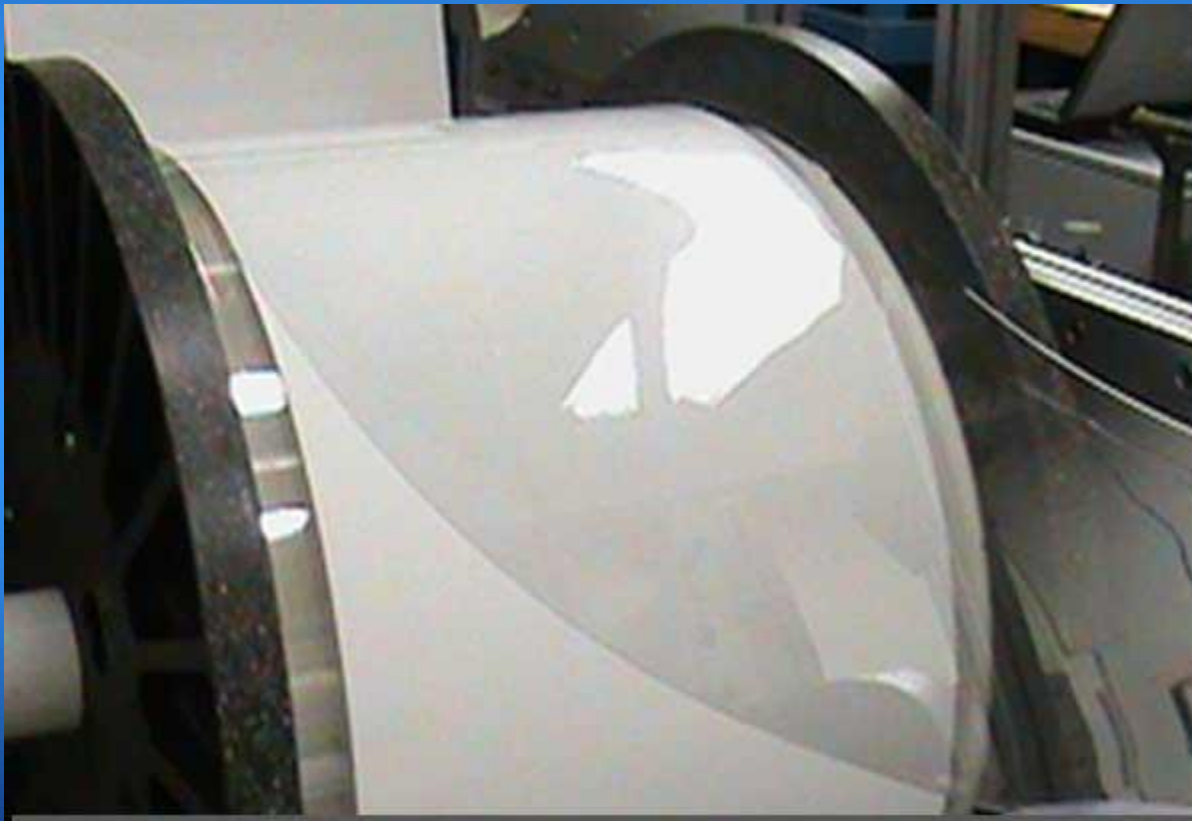
GMB Solarglas | CONE



Vidro Plano Extra-Fino

Para LCD's, tablets, telefones, etc.

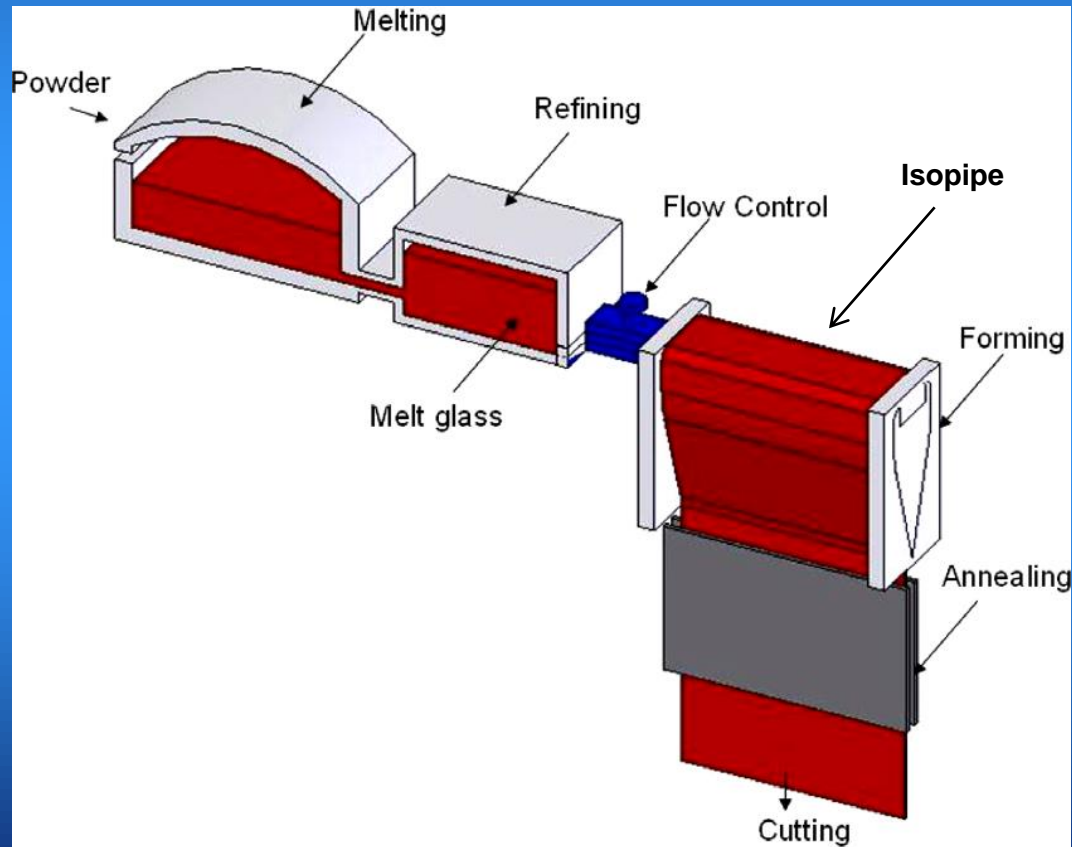
Folhas com até 50 μm de espessura \Rightarrow flexíveis



Vidro Plano Extra-Fino

Overflow fusion process

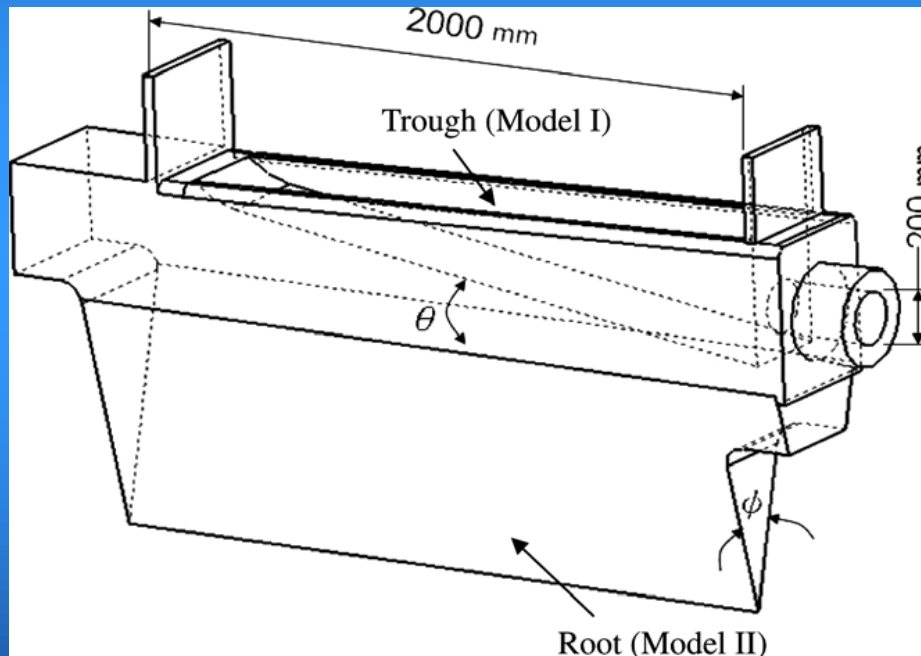
Desenvolvimento coordenado por G. Clinton Shay (Corning Inc.)



Vidro Plano Extra-Fino

Overflow fusion process

“Isopipe”



- Vidro de altíssima qualidade e homogeneidade desce por ambos os lados e se funde numa única chapa abaixo do “isopipe”.
- A alta qualidade de sua superfície deve-se ao fato de a chapa formar-se sem contato com o refratário ou com estanho (caso do vidro float)

Vidro Plano Extra-Fino

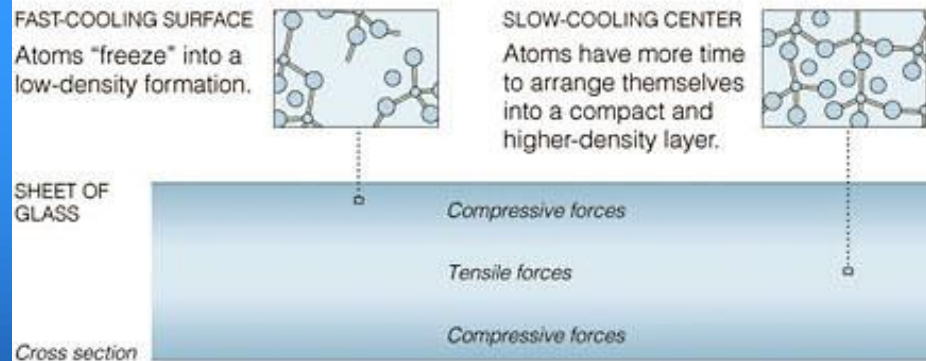
Têmpera Química

Tempered for Strength

The process of tempering makes glass stronger by putting the surface into compression, so that more force is needed for cracks to spread and grow.

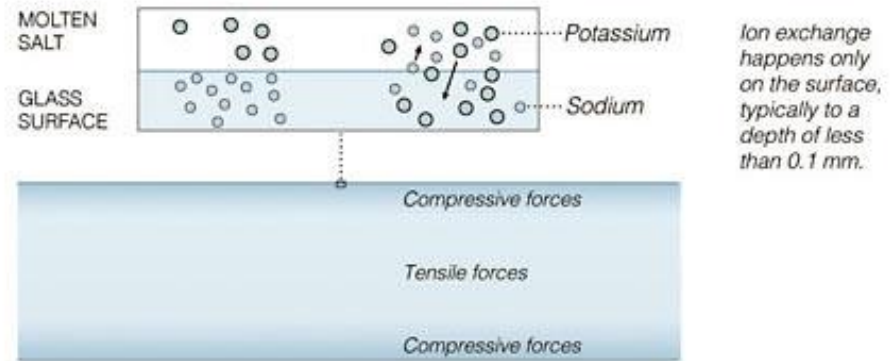
Thermal tempering

A sheet of glass is heated and then cooled with air. The surface cools more rapidly than the interior. As the interior cools gradually, it becomes more dense and shrinks, pulling the less dense surface into compression. Thermal tempering works well for flat sheets, although it can cause optical distortions to the glass because the sheet sits on rollers while being heated.



Chemical tempering

Glass is put into a hot bath of molten salt. A chemical reaction causes some sodium atoms on the surface to be replaced with larger potassium atoms from the salt bath. The larger atoms overcrowd and compress a thin surface layer of the glass. Chemical tempering works best for curved or irregular glass, and for glass where optical qualities are important.



Source: David J. Green, The Pennsylvania State University

MIKA GRÖNDAHL/THE NEW YORK TIMES

Vidro Plano Extra-Fino

Gorilla Glass (Corning)



Vidro Plano Extra-Fino

Gorilla Glass (Corning)

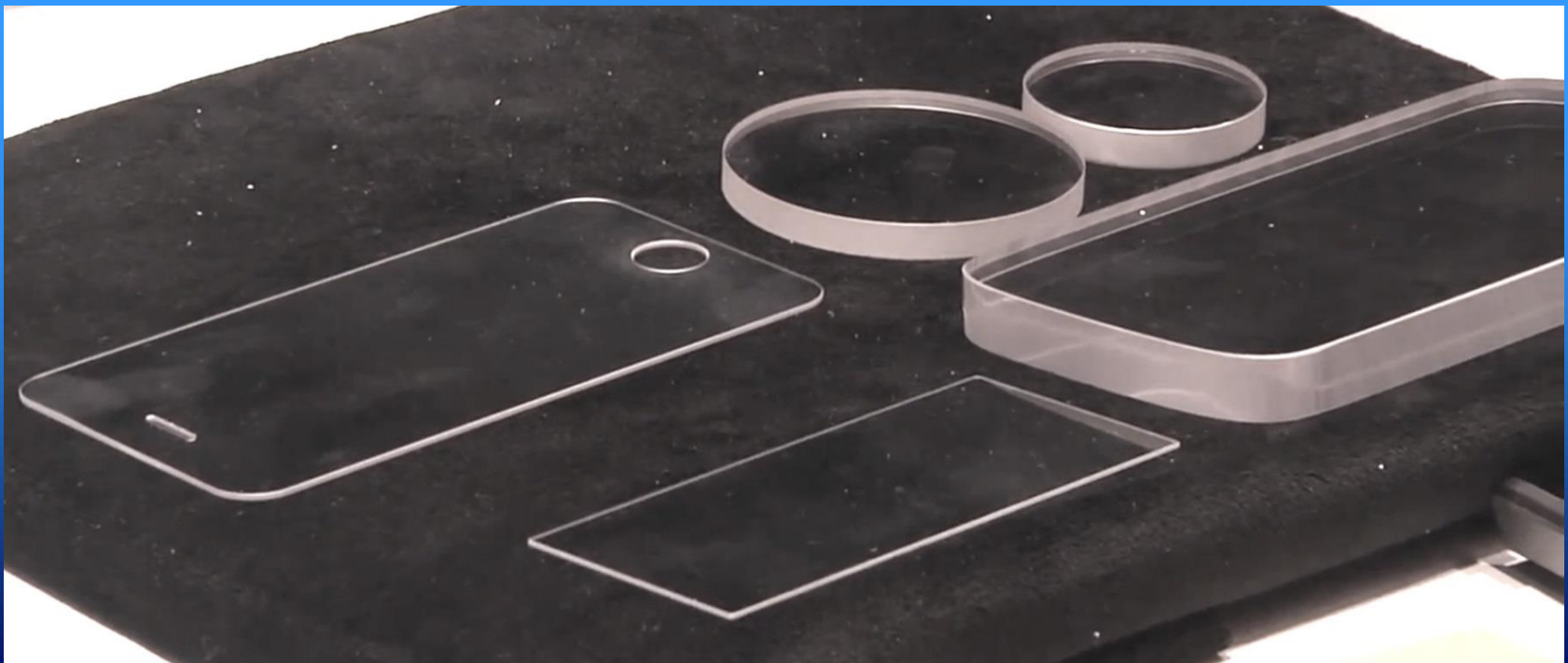
- Vidro álcali-aluminossilicato com 1 mm de espessura, utilizado em eletrônicos: iPhones, tablets, etc.
- Excelente resistência à abrasão e a impactos após têmpera química
- Desenvolvido a pedido de Steve Jobs, fundador da Apple (na verdade, o processo já tinha sido desenvolvido nos anos 70, mas foi adaptado para produção em larga escala)
- Outubro 2012: “Gorilla Glass 2”, com 0.8 mm
- Em 2013, anunciada uma 3ª geração: 3 x mais resistente

Corning Incorporated
One Riverfront Plaza
Corning, NY 14831 USA
Visite o Corning Museum of Glass

Vidro Plano Extra-Fino

Gorilla Glass X Sapphire Glass

- Fevereiro de 2014: *GT Advanced Technologies* (EUA) confirma investimentos da Apple no desenvolvimento de outra geração de materiais para displays de telefones celulares e tablets: **Sapphire Glass**, mais resistente que Gorilla Glass
- Na verdade, não se trata de um vidro e sim de safira monocristalina (Al_2O_3), crescida artificialmente pelo processo Czochralski (o mesmo utilizado para crescimento de silício eletrônico)



Vidro Plano Extra-Fino

Gorilla Glass 4 (Corning)

- Em outubro de 2014, *GT Advanced Technologies* entrou com pedido de concordata. Não conseguiu produzir nem a quantidade e nem o preço contratados com a Apple.
- Gorilla Glass 4: anunciado em 20 de novembro de 2014
- Tensão de compressão superficial > 850 MPa
- Segundo a Corning:
 - Duas vezes mais resistente que os vidros de cobertura do mercado, quando derrubado sobre superfícies rugosas.
 - Presente em mais de 3 bilhões de dispositivos, de 40 grandes marcas (1395 modelos).
- “*Corning Looks to Make Gains in Automotive Market*”
(glassBYTES.com, 07.outubro.2016): “*Corning has already made inroads in the automotive market, said Eric Biribize, spokesman for Corning. The company developed its first windshield for the Ford GT. Corning has also developed a windshield for the BMW i8.*”

A imaginação é a chave da inovação



Wilson Solar Grill
(Protótipo)

Protótipo do prof. David Wilson (MIT): lente de Fresnel funde nitrato de lítio, o qual retorna o calor lentamente (calor latente) - até 25 horas, a T's de até 230°C (portanto pode ser usada à noite)





Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Vidros Aplicações Especiais

Samuel M. Toffoli

