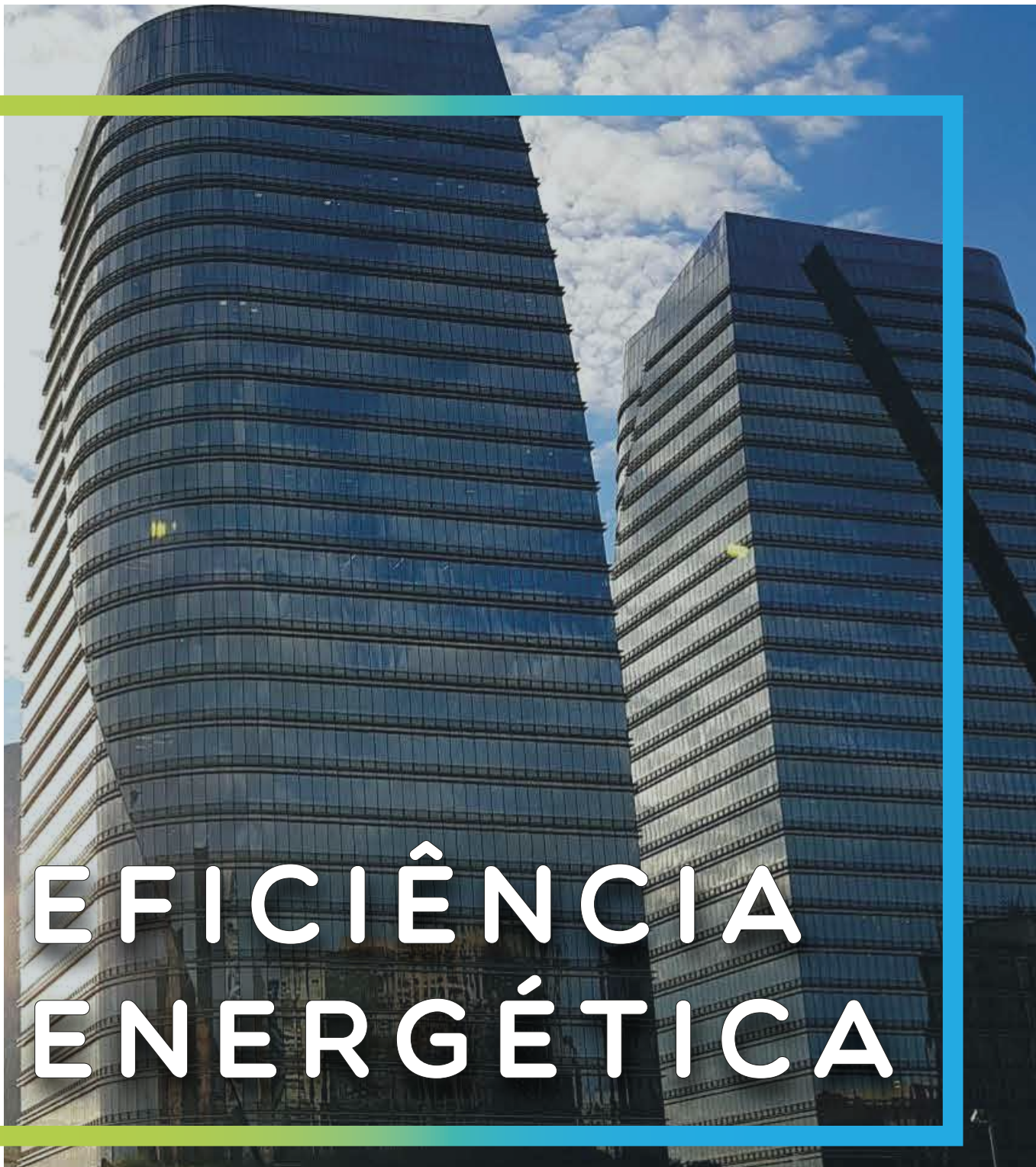




GUIA DE

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA





O USO DO VIDRO VEM GANHANDO ESPAÇO SIGNIFICATIVO NA ARQUITETURA BRASILEIRA.

Com climas tão diversos e alta intensidade de radiação solar, o vidro assume papel de destaque para obtenção de nível de eficiência energética elevado nos projetos brasileiros. Tais resultados só são possíveis por meio do uso de vidros de controle solar de alto desempenho, hoje fabricados em território nacional.



JANELA DO EDIFÍCIO YACHTHOUSE - SC - PROJETO: PININFARINA

APRESENTAÇÃO

A ABIVIDRO e seus associados continuamente promovem pesquisas e programas de educação visando esclarecer a cadeia da construção sobre a necessidade de especificação adequada do vidro em função do tipo de projeto, área envidraçada, clima, orientação solar e outros aspectos que influenciam na eficiência energética das edificações associada ao bem estar de seus usuários. Este guia apresenta conceitos básicos para iniciar o projetista no estudo de eficiência energética com o uso de vidro em edificações no Brasil. Esperamos este seja o ponto de partida para a investigação mais aprofundada do tema e que os conceitos aqui apresentados colaborem no desenvolvimento de projetos de alto desempenho, transparência e leveza.

ÍNDICE

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	1
CONTROLE DOS GANHOS DE CALOR NAS EDIFICAÇÕES.....	2
O QUE SÃO VIDROS DE CONTROLE SOLAR.....	3
ENTENDA O FATOR SOLAR.....	4
TRANSMISSÃO LUMINOSA E ÍNDICE DE SELETIVIDADE.....	6
REFLEXÃO OU TRANSPARÊNCIA.....	7
ASPECTO VISUAL.....	8
PAF.....	9
QUAL DEVE SER A RELAÇÃO ENTRE PAF E FS?.....	10
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	12
ECONOMIA DE ENERGIA COM VIDROS DE CONTROLE SOLAR.....	14
ECONOMIA DE ENERGIA EM FUNÇÃO DO CLIMA.....	17
CONFORTO TÉRMICO.....	18
VIDRO INSULADO.....	19
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E VIDROS INSULADOS.....	21
CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS.....	23
ETIQUETAGEM DE CONFORTO TÉRMICO DE ESQUADRIA.....	25
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	26

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

1

O consumo de energia elétrica em edificações distribui-se basicamente entre os sistemas de iluminação, ar-condicionado e demais equipamentos. Aumentar a eficiência energética da edificação significa reduzir esse consumo, sem diminuir o padrão de conforto do usuário.

Os vidros são um dos componentes que influenciam na carga térmica das edificações, dentre as fontes de calor a ser compensado pelo sistema de climatização.

A Figura 1 ilustra as principais fontes de calor numa residência.

Sendo as janelas uma dessas fontes de calor é importante na fase de projeto avaliar o sua participação na geração de calor em função da área envidraçada, posicionamento, orientação solar, especificação dos vidros e clima pois pode se reduzir significativamente o consumo de energia para climatização.

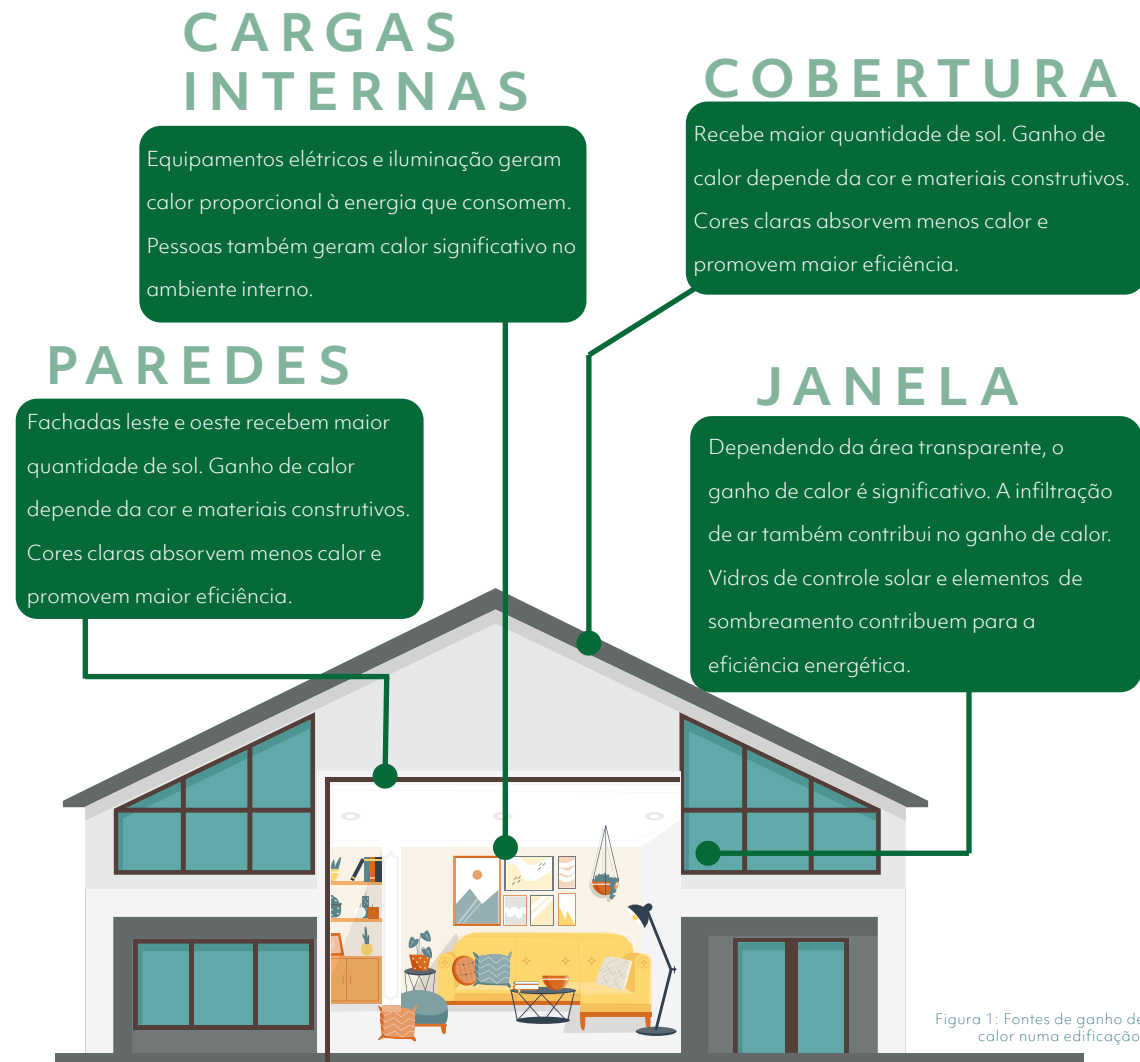


Figura 1: Fontes de ganho de calor numa edificação.

CONTROLE DOS GANHOS DE CALOR NAS EDIFICAÇÕES

2

Controlar os ganhos de calor na edificação é o caminho para se alcançar maior eficiência energética. Equipamentos e sistemas mais eficientes diminuem esses ganhos e reduzem o consumo de energia em climatização.

A Figura 2 apresenta valores típicos de ganho de calor gerado por alguns itens comuns em residências. Observa-se que uma pessoa em atividade sedentária acrescenta 120 W de calor ao ambiente, ou seja, mais do que uma TV de 40" ligada. Por isso, em um ambiente fechado, com ocupação e equipamentos ligados, a temperatura vai aumentando gradualmente, havendo a necessidade de promover o resfriamento por ventilação natural ou ar-condicionado.

Uma janela com 1 m² de vidro comum, fechada, recebendo o sol da tarde de verão irá adicionar 600 W a este ambiente, acelerando o aumento de temperatura interna. A substituição do vidro comum por um mais eficiente de controle solar pode reduzir o calor gerado pelas janelas em um terço(200 W), como veremos a seguir.

	Lâmpada LED de 9 W	9 W
	Notebook	40 W
	TV 40"	100 W
	Pessoa em atividade sedentária	120 W
	Cobertura de fibrocimento no horário de pico de verão	130 W/m ²
	Janela com vidro comum recebendo sol da tarde no verão (700 W/m ²)	600 W/m ²
	Janela com vidro de controle solar (FS = 0,30) recebendo sol da tarde no verão (700 W/m ²)	200 W/m ²

Figura 2: Exemplos de fontes de ganho de calor em residências.

Equipamentos elétricos mais eficientes e elementos arquitetônicos de alto desempenho também podem ser escolhidos para o projeto de edificações mais sustentáveis.

O QUE SÃO VIDROS DE CONTROLE SOLAR?

Os vidros de controle solar contém um revestimento metálico (coating) invisível a olho nu que possibilita filtrar a radiação solar e reduzir o ganho de calor no ambiente. Por ser aplicado por um processo de alta tecnologia ele não sofre desgastes nem desbota com o tempo.

O *coating** filtra a radiação do sol, reduzindo o ganho de calor nos ambientes internos, conforme ilustrado na Figura 3. Neste experimento, um vidro de controle solar foi colocado ao lado de um vidro incolor. As duas amostras foram expostas ao sol, em uma caixa de madeira aberta, com um papel preto no fundo. Abaixo do vidro incolor a temperatura do papel atingiu 40°C, enquanto que sob o vidro de controle solar o papel preto alcançou a temperatura de 28°C, comprovando sua eficácia na redução do ganho de calor solar.

* : *Coating* é o nome comercial dado ao revestimento dos vidros de controle solar.

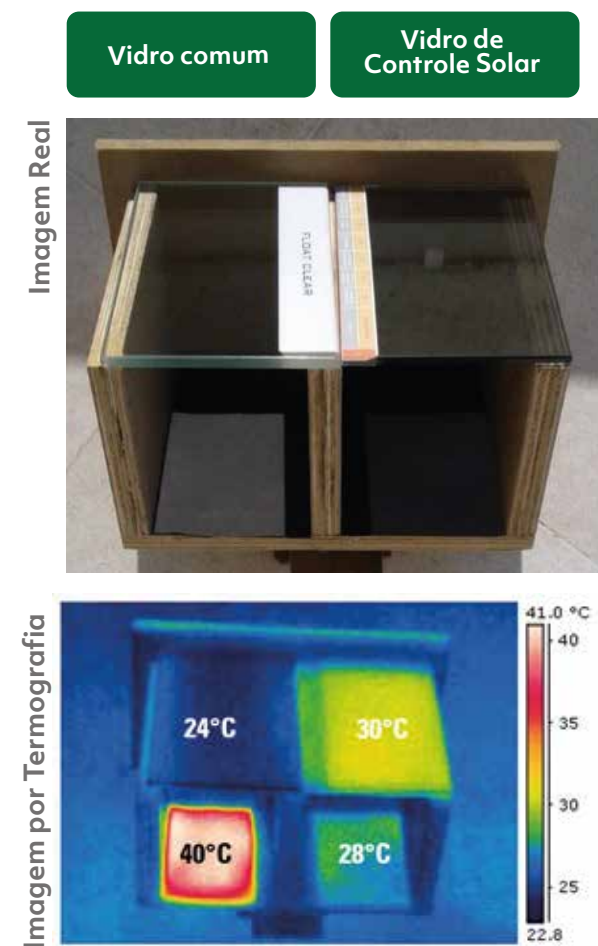
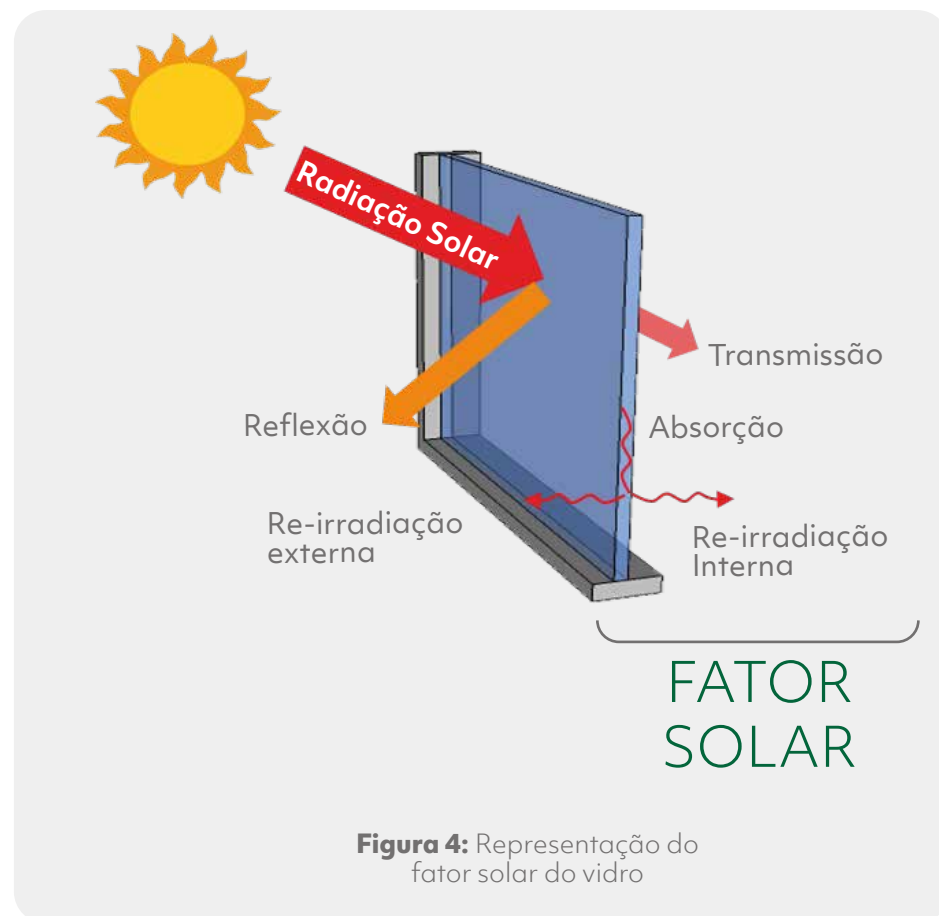


Figura 3: Comparativo de temperatura resultante atrás de um vidro comum e vidro de controle solar quanto expostos ao Sol.

ENTENDA O FATOR SOLAR

Quando o vidro está exposto ao sol, uma parcela da radiação incidente é transmitida através do vidro (Transmissão), outra parcela é refletida para o ambiente externo (Reflexão) e uma terceira fração é absorvida pelo produto (Absorção) e irradiada para ambos os lados, interno e externo (Re-irradiação interna e externa). Fator Solar (FS) é um índice que mede o quanto da radiação do sol atravessa um vidro na forma de calor. Conforme ilustrado na Figura 4 o Fator Solar compreende a parcela de calor transmitida, mais aquela absorvida no vidro e re irradiada para o ambiente interno. Sendo representada por um número entre 0 e 1.

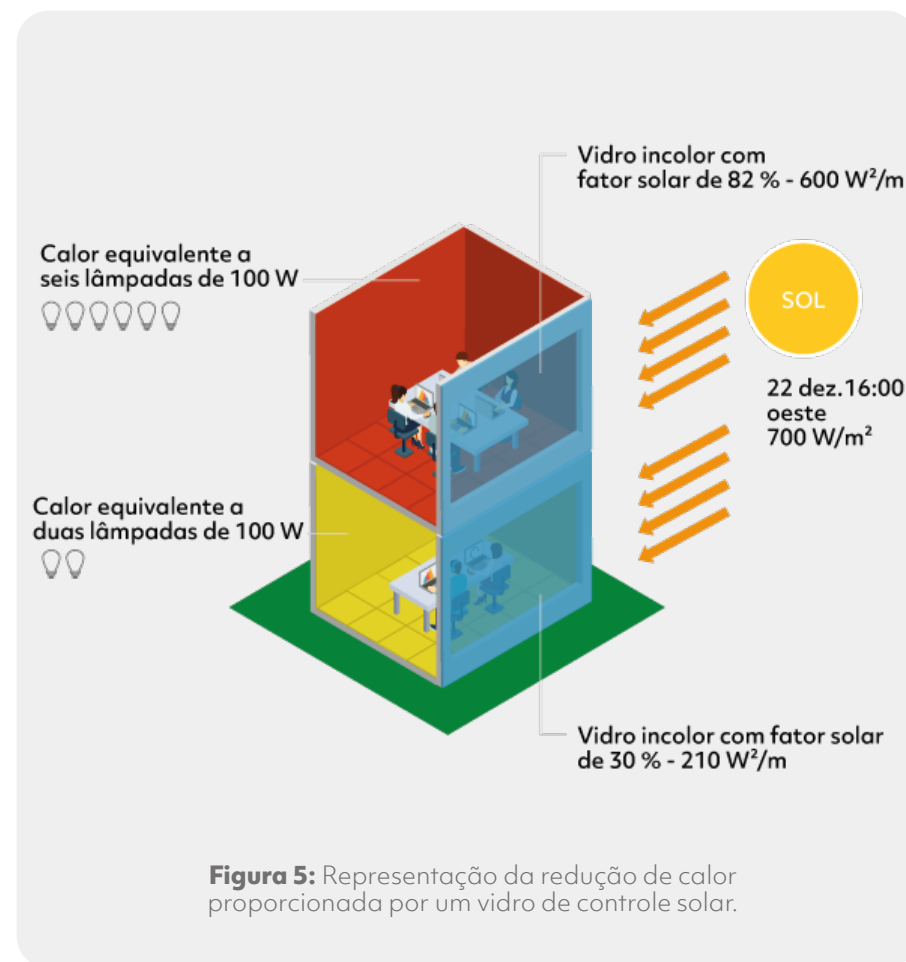
Para referência o vidro incolor 6mm possui fator solar 0,82 ou seja permite que 82% da radiação solar impacte o ambiente. Vidros coloridos, refletivos e de controle solar de alta eficiência podem atingir Fator Solar próximos a 0,3 reduzindo significativamente o calor gerado pela fachada.



ENTENDA O FATOR SOLAR

A redução do ganho de calor proporcionada por um vidro de controle solar pode ser analisada em função do Fator Solar. A Figura 5 mostra um exemplo comparando a quantidade de calor que atravessa uma superfície envidraçada em uma fachada oeste num dia de sol de verão na cidade de São Paulo.

No ambiente superior o vidro incolor 6mm resultaria em um ganho de calor 600W/m^2 de janela enquanto o no ambiente inferior o vidro com fator solar 0,30 reduziria este ganho para 210W/m^2 gerando economia de energia de climatização.



TRANSMISSÃO LUMINOSA E ÍNDICE DE SELETIVIDADE

De modo geral, pode-se afirmar que os vidros mais escuros e/ou mais refletivos irão bloquear melhor o ganho de calor do sol. Porém, resultarão também no menor aproveitamento da luz natural e contato visual com o exterior, o que pode ser indesejável. O grande diferencial dos vidros de controle solar é a possibilidade de conciliar a menor entrada de calor com alta Transmissão Luminosa (TL). Em algumas situações, vidros mais escuros ou refletivos são escolhidos por diminuir o ofuscamento, ou o excesso de luz nos ambientes. A Figura 6 mostra o efeito visual na mudança de um vidro com TL de 0,80 para outro com TL de 0,35. Nota-se o “escurecimento” do vidro com menor Transmissão Luminosa. Esse efeito é desejável em grandes áreas envidraçadas, cortando o excesso de luz e reduzindo o desconforto visual por ofuscamento.



Figura 6: Comparativo entre um vidro incolor comum (esq.) com TL 0,80 e um vidro de controle solar (dir.) com TL 0,35.

O Índice de Seletividade (IS) representa a relação entre a Transmissão Luminosa e o Fator Solar. A Tabela 1 apresenta as especificações de seis diferentes tipos de vidro. Os quatro vidros de controle solar possuem Fator Solar, entre 0,32 e 0,34, mas Índices de Seletividade que variam de 1,00 a 1,70. Enquanto o vidro de controle solar nº 1 deixa passar a mesma quantidade de luz e calor, o vidro nº 4 tem IS de 1,70, indicando que passa 70% mais luz do que calor, ou seja, é um vidro mais “seletivo”. Os especificadores combinam estes fatores para chegar no conjunto que buscam para cada projeto e ambiente em função da região, orientação solar e outros fatores de ambiente e arquitetura.

Tabela 1: Exemplos de especificações de vidros com diferentes índices de seletividade.

Vidro	Transmissão Luminosa	Fator Solar	Índice de Seletividade
Incolor 6 mm	0,88	0,84	1,05
Verde 6 mm	0,75	0,65	1,15
Controle solar nº 1	0,34	0,34	1,00
Controle solar nº 2	0,41	0,34	1,22
Controle solar nº 3	0,48	0,33	1,46
Controle solar nº 4	0,54	0,32	1,70

Teoricamente, vidros mais claros podem ter alta transmissão de calor, mas com o uso de revestimentos de controle de solar, é possível filtrar esse calor, mantendo-se alta a transparência do vidro.

REFLEXÃO OU TRANSPARÊNCIA?

Existem vidros de controle solar com características bem distintas em relação à transparência, cor e reflexão. O gráfico da Figura 7 apresenta a relação entre Fator Solar (FS) e Transmissão Luminosa (TL) de 110 vidros de controle solar disponíveis no mercado brasileiro. Existe uma tendência de maior FS para vidros mais transparentes (maior TL).

A região em destaque no gráfico exemplifica que em uma determinada faixa de FS, no caso, entre 0,30 e 0,50, existe uma ampla variedade de produtos com TL entre 0,20 e 0,60. Isso indica que é possível ter diferentes padrões de transparência na fachada para uma mesma taxa de ganho de calor, ou seja, é possível desenvolver um projeto mais transparente, com o mesmo nível de eficiência energética.

As fotos da Figura 8 apresentam duas situações obtidas com vidros de controle solar. À esquerda uma fachada mais transparente, com baixa reflexão e à direita foi utilizada uma especificação de vidro mais refletiva, com menor TL.

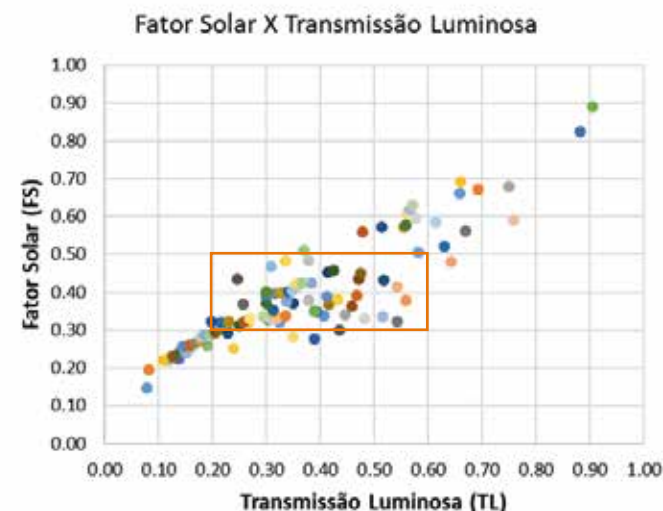


Figura 7: Relação entre Fator Solar e Transmissão Luminosa para 110 tipos de vidro disponíveis no mercado brasileiro.

**ALTA TRANSMISSÃO LUMINOSA
BAIXA REFLEXÃO**



**BAIXA TRANSMISSÃO LUMINOSA
ALTA REFLEXÃO**



Figura 8: Exemplos de fachadas com dois diferentes tipos de vidros de controle solar: um com maior transmissão luminosa (esq.) e outro com maior reflexão (dir.)

ASPECTO VISUAL

Os vidros filtram o calor da radiação solar processam a luz, transmitindo uma parcela, refletindo e absorvendo o restante. Essas três propriedades, transmissão, reflexão e absorção luminosa, costumam ser apresentadas nos catálogos de produtos dos fabricantes e fornecedores de vidro. São valores apresentados em percentual, cuja soma das 3 parcelas deve totalizar 100%.

Conforme a cor da massa do vidro e de seu revestimento de controle solar, o aspecto pode variar de acordo com o balanceamento entre as propriedades luminosas.

A Figura 9 ilustra quatro possibilidades de aspecto obtidas com vidros de controle solar, variando desde um vidro muito claro, ou transparente, até uma especificação mais balanceada, sem reflexão ou opacidade marcante.

O balanceamento entre essas três propriedades irá definir o padrão estético do vidro e deve ser buscado juntamente com o desempenho térmico desejado, estudando-se o fator solar e a transmitância térmica (que será apresentada a seguir). Em geral, a escolha pela especificação ideal de vidro deve ser feita para cada projeto por meio de simulação computacional, considerando o clima, a área envidraçada, a orientação solar, tipo de uso da edificação e elementos de sombreamento.

O NÍVEL DE TRANSMISSÃO, REFLEXÃO E ABSORÇÃO LUMINOSA DEFINE O ASPECTO ESTÉTICO DO VIDRO.

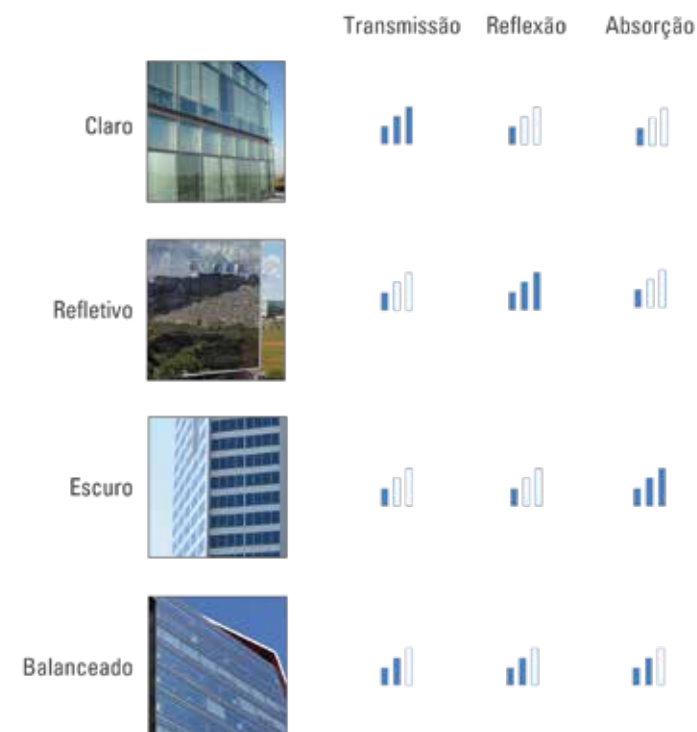


Figura 9: Exemplo de vidros com diferentes aspectos visuais

PERCENTUAL DE ABERTURA DA FACHADA

O uso de maiores áreas envidraçadas se tornaram tendência na arquitetura, mesmo em climas quentes como no Brasil. Mas numa fachada envidraçada, nem toda a área de vidro deve ser considerada para o cálculo do percentual de abertura da fachada (PAF). Existem partes da fachada onde o vidro funciona como revestimento, cobrindo elementos da estrutura e paredes do edifício, esse vidro é chamado de *spandrel glass*, conforme indicado no Projeto 3 da Figura 10, e representa menor ganho de calor do que os vidros das janelas, pois está colocado em frente a um material opaco.

O Percentual de Abertura da Fachada (PAF) contempla a área de vidro realmente transparente, que permite o contato visual com o exterior e, conseqüentemente, a incidência de sol nos ambientes internos. Esse indicador é muito utilizado como parâmetro de referência em normas de eficiência energética. Em geral, as normas exigem que quanto maior o PAF, mais eficiente seja o vidro utilizado (com baixo Fator Solar), para garantir menor consumo de energia.

A Figura 10 ilustra exemplos de projetos bem diferentes. O projeto 1 representa um prédio com PAF de 20%. O mesmo percentual de abertura é representado no projeto 2, mas neste caso, com uma fachada inteira revestida de vidro. O projeto 3 ilustra uma situação muito comum de edifícios com pele de vidro, onde é alcançado um PAF de 60%, com fachada inteiramente revestida em vidro. Certamente, esse último projeto deverá ter um vidro com Fator Solar mais baixo para reduzir o ganho de calor devido a maior área de janela. Esse balanço entre área de janela e tipo de vidro é o ponto de partida para o projeto de uma fachada eficiente. Quanto mais alto o Percentual de Abertura da Fachada, mais baixo deve ser o Fator Solar do vidro utilizado para garantir menor consumo de energia em ar-condicionado.

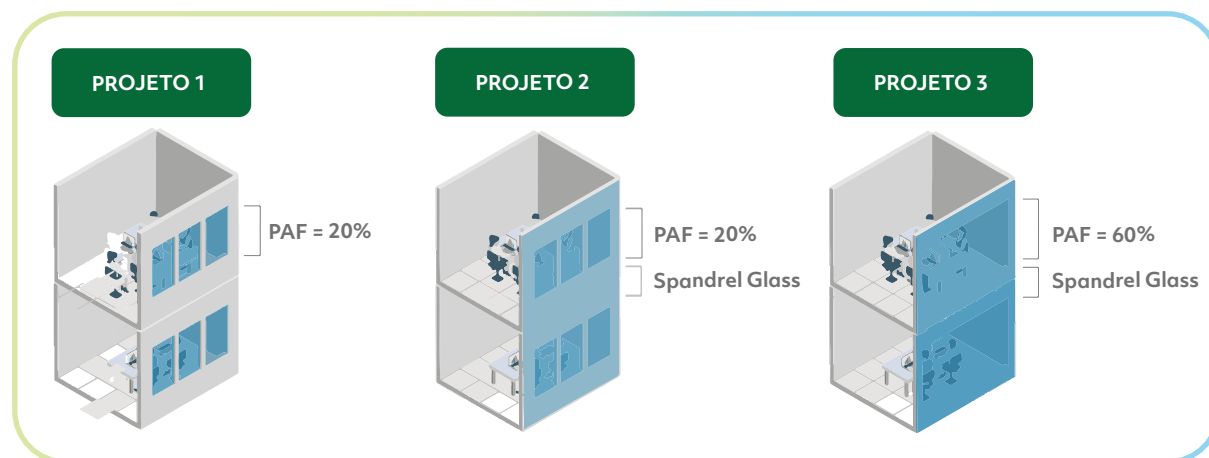


Figura 10: Representação do Percentual de Abertura da Fachada (PAF) para três tipos de edificação.

QUAL DEVE SER A RELAÇÃO ENTRE O PAF E FS?

Quanto maior a área transparente da fachada, mais baixo deve ser o Fator Solar (FS) do vidro utilizado, minimizando assim o ganho de calor. Mas até que ponto o FS deve ser reduzido para se obter um bom nível de eficiência energética?

O gráfico da Figura 11 ajuda a compreender melhor a relação entre PAF e FS, mostrando o ganho de calor por m^2 de fachada à medida que se reduz o percentual de abertura e se substitui o vidro incolor por outros com Fator Solar mais baixo. A linha vermelha tracejada no gráfico indica que a fachada com PAF de 60% e vidro com FS de 0,35 proporciona menor ganho de calor do que todas as opções de percentual de abertura com o vidro incolor (FS = 0,82).

Contra a opção com vidro verde, o prédio com 60% de abertura e vidro mais eficiente ainda proporciona menor ganho de calor do que o prédio com 40% de área de abertura.

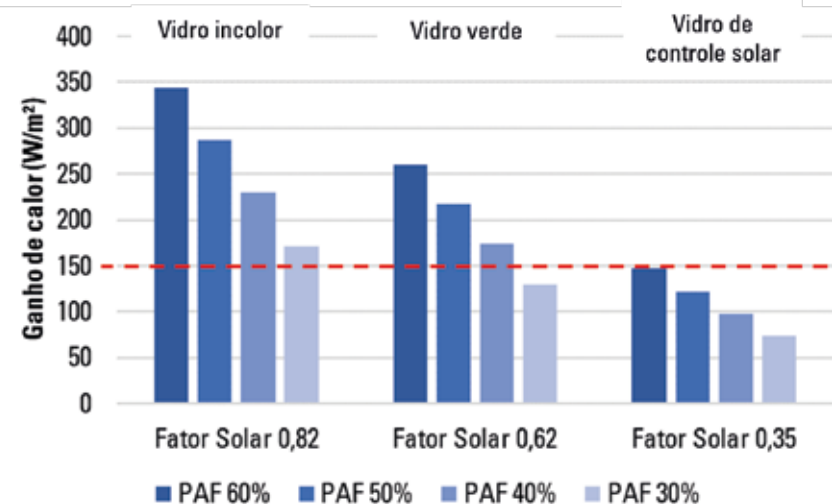


Figura 11: Comparativo entre o ganho de calor com três tipos de vidro aplicados a quatro níveis de Percentual de Abertura da Fachada (PAF)

QUAL DEVE SER A RELAÇÃO ENTRE O PAF E FS?

Essa redução no ganho de calor, proporcionada pelos vidros de controle solar, é que tem permitido o desenvolvimento de projetos com fachada em pele de vidro e alto nível de eficiência, atendendo a normas internacionais de projeto sustentável (Figura 12).

Esse comparativo não considera as variações de radiação solar que ocorrem por fachada, nem as mudanças de temperatura a que o prédio está exposto conforme o clima. Para avaliar o impacto de diferentes tipos de vidro e decidir pela especificação mais adequada ao projeto e clima, costuma-se desenvolver uma simulação energética computacional.



Figura 12: Edifício Multiplan Morumbi Corporate, com 50% de PAF na fachada em pele de vidro obteve certificação sustentável LEED® nível Gold. - Projeto: Aflalo e Gasperini Arquitetos

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Avaliar a influência de todos os ganhos de calor do edifício no consumo de energia em climatização é uma tarefa complexa. Muitas das fontes de calor variam de intensidade ao longo do dia e do ano. Por exemplo, a quantidade de pessoas varia, bem como o número de equipamentos elétricos e lâmpadas ligadas ao longo do dia. Além disso, dependendo da região, o clima sofre grandes mudanças ao longo do dia e do ano. A incidência do sol nas fachadas muda a cada hora, alterando a influência das janelas no consumo de energia em climatização.

Com simulação computacional pode-se estimar o consumo de energia de uma edificação em função do clima, considerando todas essas variações de uso ao longo do ano. Dessa forma, é possível avaliar o impacto de diferentes especificações de vidro para a edificação ainda em fase de projeto. Um dos programas computacionais para simulação energética de edificações mais utilizados no Brasil é o EnergyPlus. Nesse programa, o edifício é representado por meio de sua geometria (área e posição das paredes, cobertura e piso), propriedades físicas dos componentes construtivos, dados internos de uso e ocupação, características do sistema de ar-condicionado ou rotinas de ventilação natural. O modelo, exemplificado na Figura 13, é simulado frente às condições climáticas da cidade de interesse, permitindo avaliar seu comportamento térmico e consumo de energia.



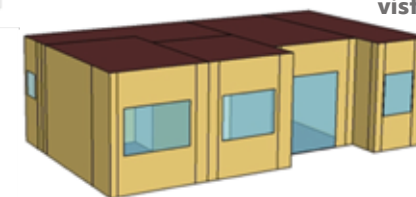
EnergyPlus é um software gratuito, desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE) dos Estados Unidos, para simulação do consumo de energia de edificações e estudo de estratégias de eficiência energética.



Planta-baixa



Croqui do Modelo de Simulação



Modelo de simulação visto em 3D

Figura 13 : Planta-baixa de um pavimento de edifício residencial, e seu modelo esquemático para simulação computacional no EnergyPlus visto em planta e em 3D.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para representar os vidros, o EnergyPlus considera seus dados de transmissão, reflexão e absorção de luz e calor. O quadro da Figura 14 ilustra os campos utilizados para a representação do vidro no programa, com destaque para as propriedades ópticas, fornecidas pelos fabricantes.

O **Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações**, publicado pela ABIVIDRO, traz em Apêndice uma tabela com propriedades ópticas de mais de 100 produtos nacionais.

No desenvolvimento do projeto de uma edificação, é comum analisar uma série de especificações de vidro, procurando.

- Estética;
- Segurança;
- Desempenho acústico;
- Certificação ambiental pretendida;
- Nível de conforto térmico alcançado;
- Custo inicial do investimento;
- Nível de eficiência energética;
- Custo anual de energia;
- Desempenho acústico.

Field	Units	Obj1
Name		FS30-ST420
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	0.008
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.113
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.158
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.201
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.187
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.254
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.207
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.8905
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.8905
Conductivity	W/m-K	1
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		1
Solar Diffusing		
Young's modulus	Pa	
Poisson's ratio		
Window Glass Spectral and Incident Angle Transmittance		
Window Glass Spectral and Incident Angle Front Reflectance		
Window Glass Spectral and Incident Angle Back Reflectance		

Figura 14: Propriedades físicas dos vidros, disponíveis no Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações – ABIVIDRO.

Produto	Espessura (mm)	T _S	R _{fs}	R _{bs}	T _V	R _{fs}	R _{bs}	T _{IR}	R _{fs}	R _{bs}	T _S	R _{fs}	R _{bs}
4	6	0.14	0.33	0.38	0.15	0.38	0.33	0.09	0.49	0.24	4.30	0.63	
4	6	0.13	0.32	0.36	0.15	0.37	0.31	0.09	0.49	0.24	4.30	0.63	
4	6	0.13	0.30	0.36	0.15	0.37	0.31	0.09	0.49	0.24	4.30	0.63	
4	6	0.13	0.28	0.35	0.19	0.32	0.33	0.09	0.53	0.28	4.30	0.68	
4	6	0.13	0.26	0.35	0.18	0.31	0.33	0.09	0.53	0.28	4.30	0.64	
4	6	0.14	0.25	0.35	0.18	0.31	0.33	0.09	0.53	0.28	4.30	0.64	
4	6	0.29	0.18	0.25	0.30	0.22	0.23	0.09	0.63	0.40	5.20	0.75	
4	6	0.28	0.17	0.25	0.30	0.23	0.23	0.09	0.63	0.39	5.30	0.73	
4	6	0.23	0.17	0.25	0.30	0.23	0.23	0.09	0.65	0.39	5.30	0.73	
4	6	0.09	0.19	0.38	0.13	0.38	0.33	0.09	0.49	0.23	4.30	0.63	
4	6	0.07	0.15	0.38	0.12	0.23	0.35	0.09	0.49	0.23	4.30	0.55	

Figura 15: Propriedades físicas dos vidros, disponíveis no Manual Técnico do Vidro Plano para Edificações – ABIVIDRO. Em destaque, as propriedades ópticas utilizadas para simulação no EnergyPlus.

ECONOMIA DE ENERGIA COM VIDROS DE CONTROLE SOLAR

Para os diferentes climas brasileiros, o uso de vidros de controle solar nas edificações pode resultar em grande economia de energia em ar-condicionado, quando comparado ao uso de vidro incolor comum. Como as condições climáticas variam ao longo do dia e do ano em muitas regiões do país, a economia de energia só é possível de ser calculada com precisão na fase de projeto por meio de simulação computacional.



ECONOMIA DE ENERGIA COM VIDROS DE CONTROLE SOLAR

O exemplo a seguir mostra o resultado da análise energética desenvolvida no programa EnergyPlus considerando três opções de vidro para as janelas de um dormitório localizado em São Paulo, com a fachada voltada para o norte.

A Figura 16 apresenta o modelo adotado na análise e suas características mais relevantes. Foram avaliados, um vidro incolor com $FS = 0,80$ e dois vidros de controle solar, um com $FS = 0,60$ e $FS = 0,30$. A Figura 17 apresenta os valores de consumo anual de energia em climatização do dormitório para cada opção de vidro simulada.

A substituição do vidro incolor por vidro de controle solar com FS de 0,30 promoveu economia de 37% no consumo de energia em ar-condicionado. Ressalta-se que esse consumo de energia é resultante das diversas fontes de ganho de calor na edificação, por isso a mudança do vidro tem impacto apenas numa parcela do consumo em climatização. Para calcular o custo de energia economizado, basta multiplicar a economia em kWh pela tarifa de energia praticada pela concessionária (em R\$/kWh). No Brasil, as tarifas variam conforme a região ou o estado, mas para exemplificar, a Figura 17 apresenta uma estimativa com base num custo médio de R\$ 0,80/kWh. Neste exemplo, a substituição do vidro incolor por um vidro com FS de 0,30 proporcionou uma economia de R\$ 133/ano. Valor que pode compensar o investimento adicional no vidro de controle solar.

EXEMPLO: DORMITÓRIO

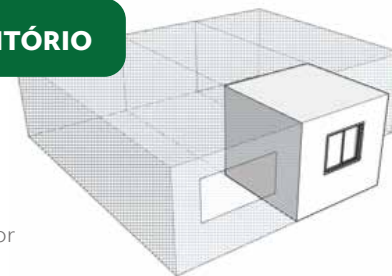


Figura 16: Características do modelo para estudo de desempenho energético por simulação computacional.

Cidade: São Paulo
Orientação da fachada: Norte
Uso do cômodo: dormitório
Dimensões: 3,0 x 3,5 x 2,7 m (larg x comp x alt)
Dimensões da janela: 1,5 x 1,2 m (larg x alt)
Paredes: alvenaria
Teto e piso: laje de concreto
Ocupação: 2 pessoas
Ar-condicionado: Split de eficiência 3,2 W/W

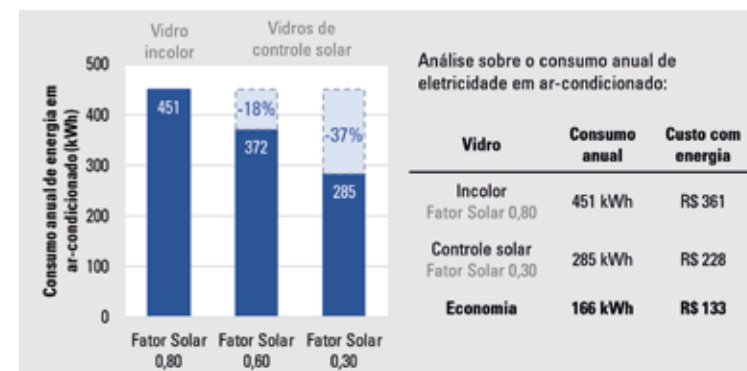


Figura 17: Análise energética para o modelo de um dormitório substituindo-se o vidro incolor por vidros de controle solar.

ECONOMIA DE ENERGIA COM VIDROS DE CONTROLE SOLAR

A mesma simulação foi realizada para um ambiente de escritórios com orientação oeste e percentual de Abertura da Fachada (PAF) de 40% no clima de São Paulo.

Neste caso, por ser um ambiente comercial, o sistema de iluminação e os equipamentos de escritório representam uma parcela importante no consumo de energia e na carga térmica interna, reduzindo a influência da fachada, quando comparado ao modelo do dormitório, mostrado anteriormente. Mesmo assim, a substituição do vidro incolor (FS = 0,80) por um vidro de controle solar com fator solar igual a 0,60 resultou em 11% de economia de energia em climatização (Figura 19). A utilização de um vidro ainda mais eficiente, com fator solar igual 0,30, ampliou a economia anual de energia em climatização para 24%. Nesse caso, a conta de energia anual foi reduzida em R\$ 227. **Pensando num projeto mais eficiente, essa redução de despesa futura pode ser utilizada como investimento em um vidro melhor, que vai se pagar em poucos anos, e gerar economia durante toda a vida útil do prédio.**

EXEMPLO: ESCRITÓRIO

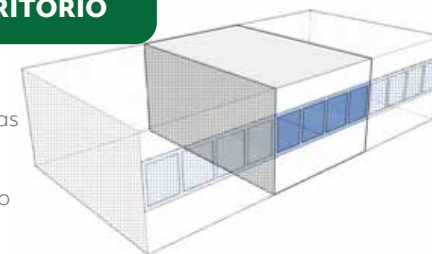


Figura 18: Características do modelo para estudo de desempenho energético por simulação computacional.

Cidade: São Paulo
Orientação da fachada: Norte
Uso da sala: escritório
Dimensões: 4,0 x 6,0 x 3,0 m (larg x comp x alt)
Dimensões da janela: 4,0 x 1,2 m (larg x alt)
Paredes: alvenaria
Teto e piso: laje de concreto
Ocupação: 3 pessoas
Iluminação: 12 W/m²
Equipamentos: 16 W/m²
Ar-condicionado: Split de eficiência 3,2 W/W

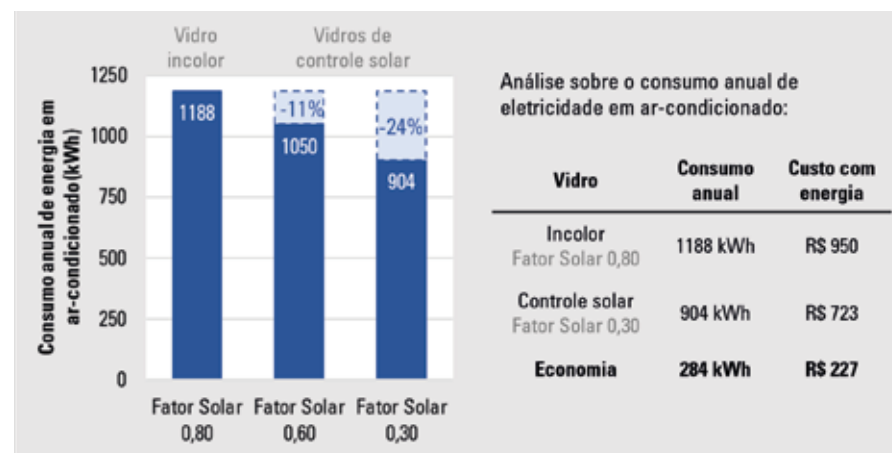


Figura 19: Análise energética para o modelo de um escritório substituindo-se o vidro incolor por vidros de controle solar.

ECONOMIA DE ENERGIA EM FUNÇÃO DO CLIMA

As simulações anteriores foram realizadas com dados climáticos da cidade de São Paulo. Evidentemente, em climas diferentes os resultados serão outros. A Figura 20 mostra o percentual de economia de energia obtido em 14 capitais brasileiras ao substituir o vidro incolor (FS = 0,80) pelo vidro de controle solar com fator solar de 0,30. O mesmo modelo do escritório analisado anteriormente foi utilizado neste exercício.

Nas regiões, norte e nordeste, economia é menor pois a temperatura do ar é frequentemente quente, influenciando o desempenho térmico da edificação. Nesses casos, é importante observar o isolamento térmico da fachada além de usar os vidros de controle solar.

Na região sul e sudeste, a utilização de vidros de controle solar promove economia percentual significativa, pois nessas latitudes a influência do sol muda completamente o comportamento térmico da edificação, dado que temperatura do ar externo é mais amena ao longo do ano.

A economia percentual de energia com vidros de controle solar tende a ser maior em regiões com maior flutuação de temperatura, em geral, mais afastadas da linha do equador.

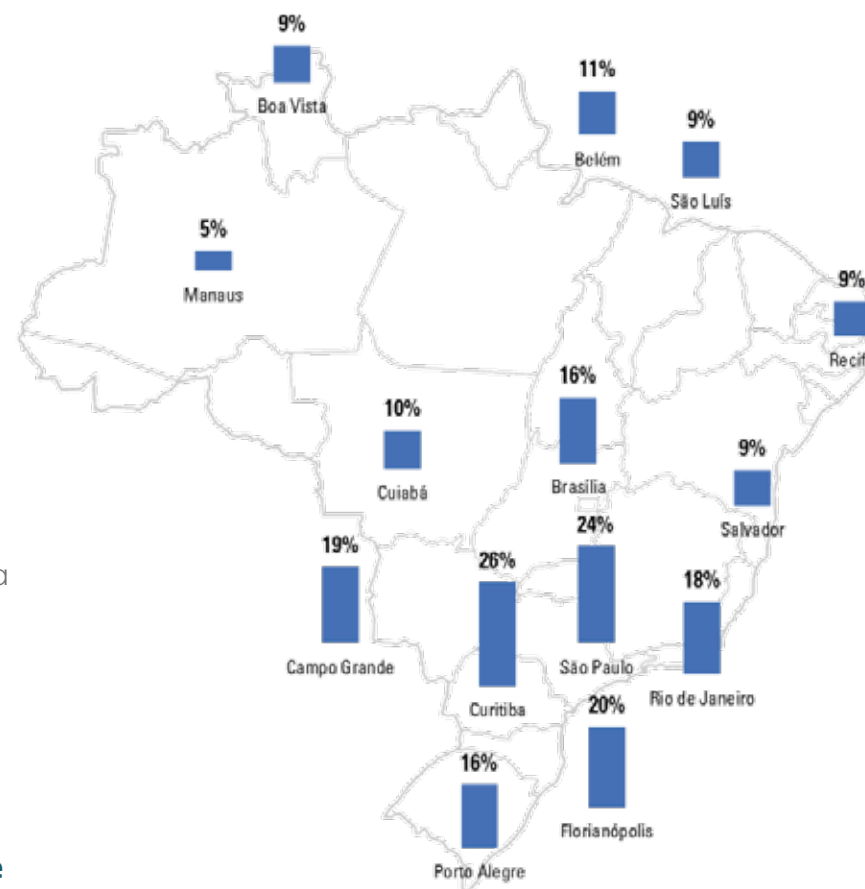
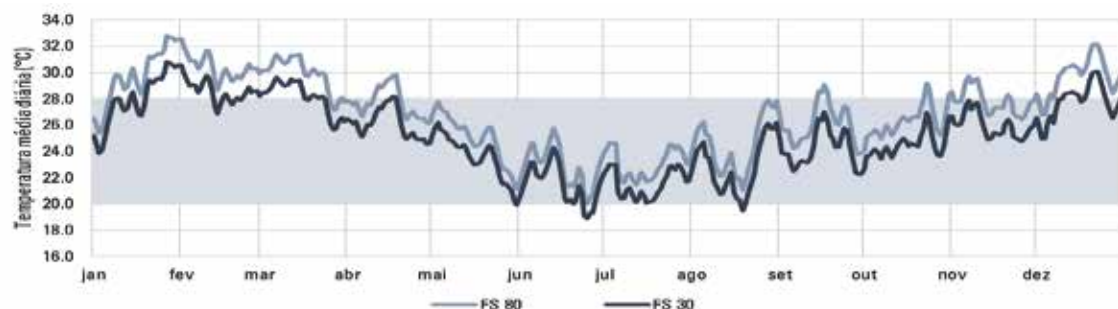


Figura 20: Economia de energia obtida com climatização de uma sala de escritório com a substituição do vidro incolor por vidro de controle solar com FS de 0,30 em 14 capitais brasileiras.

CONFORTO TÉRMICO

As simulações anteriores consideraram os modelos com o uso do ar-condicionado sempre que necessário. O programa de simulação faz o cálculo do consumo de energia conforme a temperatura resultante no interior do ambiente. Para entender como o tipo de vidro influencia na temperatura interna, o mesmo dormitório apresentado anteriormente (fachada norte, em São Paulo) foi simulado sem ar-condicionado, com as janelas fechadas, e ventilação apenas por suas frestas. Avaliou-se a temperatura média do ar interno para cada dia do ano para a opção do dormitório com vidro incolor na janela (FS = 0,80) e com o vidro de controle solar (FS = 0,30).

O gráfico da Figura 21 compara o perfil de temperatura média do ar no dormitório para os 365 dias do ano, considerando o clima de São Paulo. Observa-se que a opção com vidro de controle solar (linha mais escura) resulta numa redução da temperatura ao longo do ano, quando comparado ao vidro incolor (linha mais clara).



A faixa em destaque no gráfico representa um intervalo de temperatura aceitável para conforto térmico, entre 20°C e 28°C. Com o vidro incolor, em 36% do dias do ano, ou seja, 131 dias, a temperatura média do ambiente é superior a 28°C, conforme ilustrado no infográfico à direita na Figura 21. Com o vidro de controle solar, a quantidade de dias com temperatura é reduzida para 21%, ou seja, 77 dias. Na simulação desses cenários, comprova-se que a aplicação do vidro de controle solar pode evitar o uso de ar-condicionado em 54 dias. Essa redução promove melhoria do conforto térmico, caso o ambiente não seja climatizado e se tire proveito apenas da ventilação natural; e economia de energia, caso haja climatização artificial.

Percentual de dias do ano com temperatura média nas faixas indicadas:

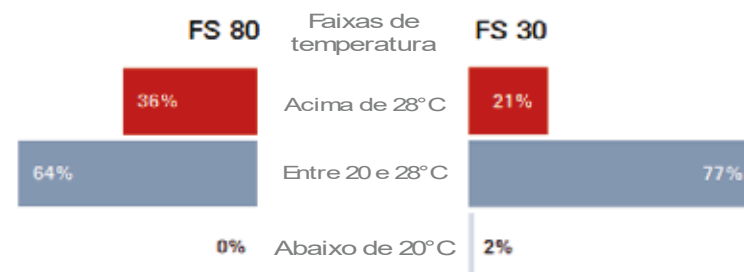


Figura 21: Análise de temperatura média do ar realizada por simulação computacional de um modelo de dormitório, com fachada voltada para o norte, em São Paulo, substituindo-se o vidro incolor por vidro de controle solar.

VIDROS INSULADOS

As trocas de calor em uma chapa de vidro instalada em uma janela ocorrem de duas formas: devido à radiação solar; e por condução devido à diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno. Nessa segunda situação, o resultado depende de qual ambiente está mais quente (Figura 22).

No verão, há um ganho de calor através do vidro. E no inverno ocorre o contrário. Em ambas as situações, pode ocorrer desconforto térmico para as pessoas situadas próximas à janela ou fachada envidraçada, seja por sensação de calor excessivo ou frio intenso.

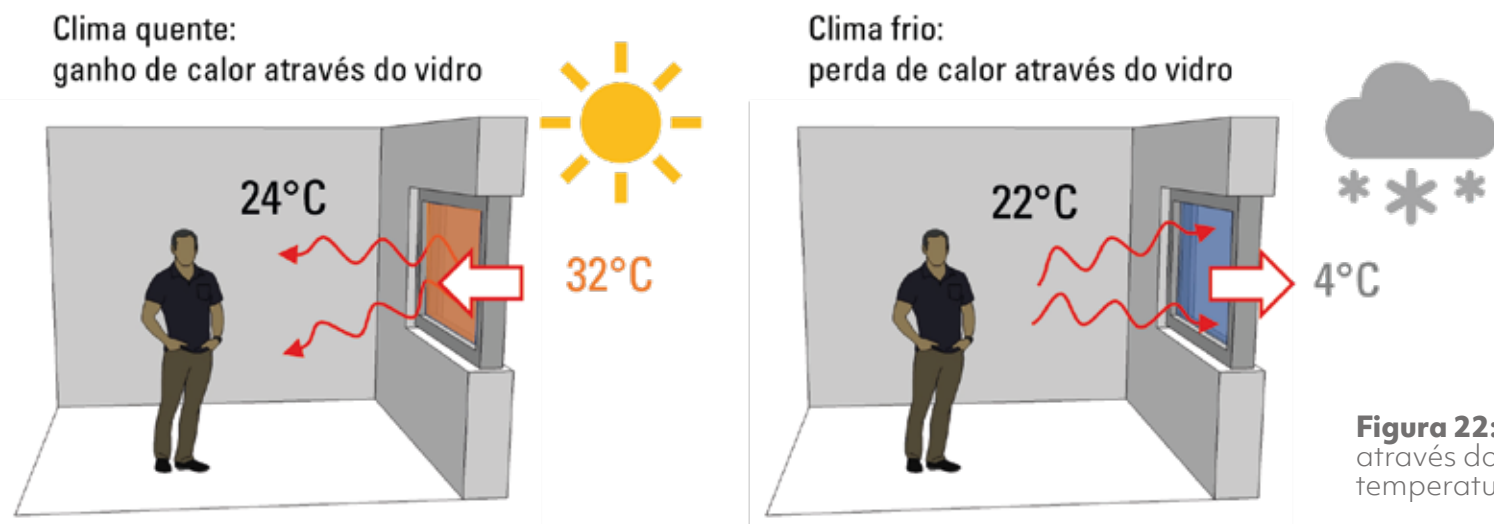


Figura 22: Direção do fluxo de calor através do vidro, devido à diferença de temperatura.

VIDROS INSULADOS

Para diminuir o desconforto térmico próximo à fachada, pode-se utilizar uma composição de vidro insulado. O vidro insulado é montado com duas ou mais camadas, separadas por câmaras de ar (Figura 23). O “colchão” de ar funciona como um isolante térmico, diminuindo o fluxo de calor por condução.

Dessa forma, a chapa de vidro interna permanece numa temperatura mais estável e próxima à temperatura do ar interno, diminuindo a sensação de desconforto térmico.

Além da redução nas trocas de calor por condução, os vidros insulados resultam em menor ganho de calor solar, pois a segunda chapa de vidro promove um filtro adicional ao sol, reduzindo o Fator Solar final da composição.

Diferentes combinações de vidros interno e externo podem ser estudadas para uma composição insulada, buscando-se o aspecto visual e desempenho térmico desejados para o tipo de edificação e clima em questão.

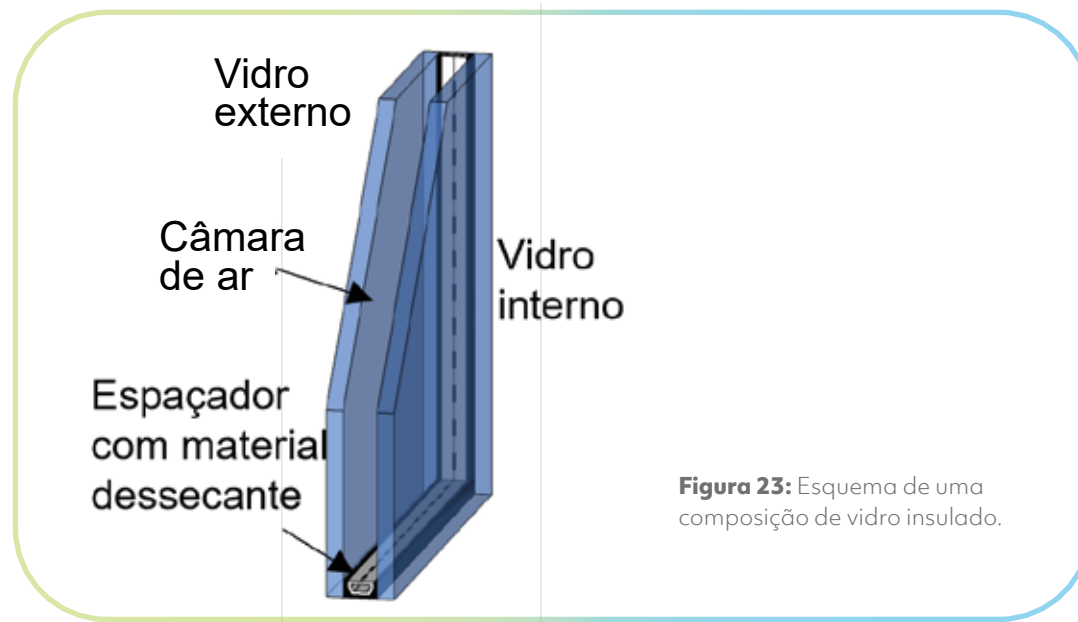


Figura 23: Esquema de uma composição de vidro insulado.

Vidros insulados minimizam os problemas de desconforto térmico por diferença de temperatura, sendo recomendados para grandes áreas envidraçadas ou climas com temperaturas extremas.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E VIDROS INSULADOS

A propriedade física que representa a transferência de calor por diferença de temperatura de um componente construtivo é a Transmissão Térmica, medida em $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$. Um vidro monolítico de 6 mm tem transmitância térmica de $5,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Isso significa que ele permite a passagem de 5,7 Watts de calor por metro quadrado a cada um grau de diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno.

Vidros insulados com uma câmara de ar resultam em transmitância térmica 50% menor. Se um dos vidros for de controle solar com revestimento metálico de baixa emissividade (os chamados vidros *low-e*) a transmitância térmica pode chegar a $1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Nos catálogos de produtos, é comum esta propriedade vir indicada com a letra U ou com a expressão U-value, utilizada internacionalmente. Quanto mais baixo o valor U, menor a condução de calor, reduzindo a necessidade do uso do sistema de climatização, seja para resfriamento ou aquecimento.

Vidro	Monolítico				Insulado			
	TL	FS	IS	U ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	TL	FS	IS	U ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
Controle solar nº 1	0,34	0,34	1,00	5,6	0,30	0,25	1,20	2,8
Controle solar nº 2	0,41	0,34	1,22	3,5	0,36	0,28	1,29	1,8
Controle solar nº 3	0,48	0,33	1,46	5,6	0,43	0,26	1,65	2,8
Controle solar nº 4	0,54	0,32	1,70	3,1	0,50	0,28	1,79	1,5

Observa-se nos dados da Tabela 2 que os vidros insulados resultam em aumento do Índice de Seletividade (IS) dos vidros, pois proporcionam maior redução no Fator Solar (FS) do que na Transmissão Luminosa (TL) dos vidros. Esse comportamento é importante para projetos onde se busca alta transparência, com baixo ganho de calor.

Tabela 2: Exemplos de composições de vidro com diferentes valores de transmitância térmica.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E VIDROS INSULADOS

A Figura 24 ilustra o efeito da utilização de um vidro insulado sobre a temperatura resultante na face interna da janela, considerando uma fachada oeste em dias quentes na cidade de São Paulo. Observa-se que no dia 2 a temperatura máxima na face interna do vidro insulado (linha mais clara) é 8°C menor do que a do vidro não insulado (linha mais escura). Essa redução contribui para melhorar as condições de conforto térmico interno, reduzindo também o consumo de energia em climatização.

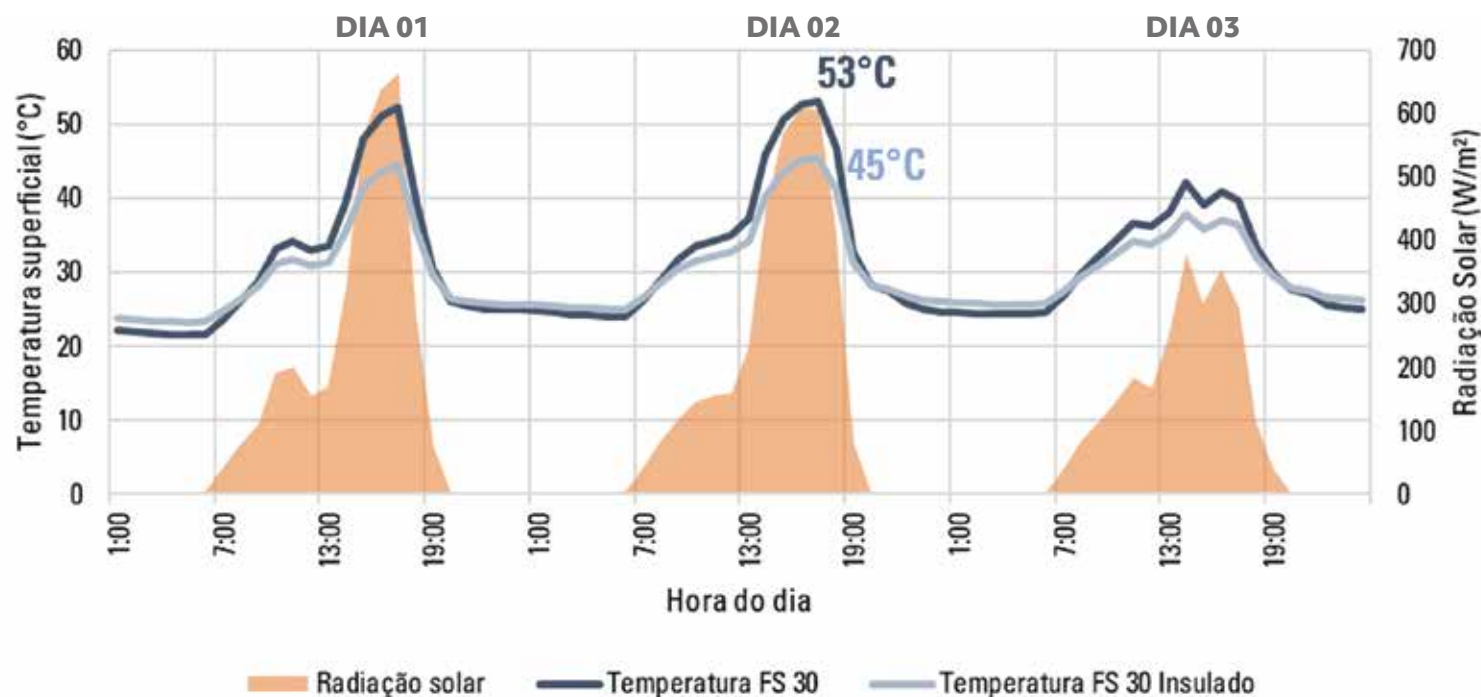


Figura 24: Redução na temperatura superficial interna do vidro insulado.

CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS

A preocupação com o desenvolvimento de projeto de edificações mais sustentáveis tem crescido muito ultimamente. No Brasil, alguns sistemas de certificação e etiquetagem de edificações têm sido utilizados como ferramenta de reconhecimento dos projetos mais eficientes e de menor impacto ambiental. A redução do consumo de energia, sem prejuízo aos padrões de conforto nas edificações, é fundamental para reduzir os custos operacionais dos edifícios e do sistema de energia do país. Como consequência, diminui também o impacto ambiental pois evita a necessidade de ampliação do parque gerador de energia elétrica.

As análises por simulação apresentadas anteriormente mostram que o projeto da fachada, ou seja, dimensionamento das áreas de abertura e especificação dos vidros, é determinante para o nível de eficiência energética das edificações. A avaliação do consumo de energia das edificações ainda em fase de projeto é um requisito comum nas diversas ferramentas de certificação. Em geral, esses sistemas avaliam o nível de eficiência do projeto por simulação computacional, comparando o seu consumo ou custo de energia, ao de um modelo de referência, seguindo determinados padrões de sistema construtivo.



CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS

O quadro da Figura 25 resume os principais sistemas de certificação e normas relacionados ao desempenho de edificações e como o vidro é tratado em cada normativa.

Em geral, essas ferramentas indicam a necessidade de vidros com baixo Fator Solar ou elementos de sombreamento para edifícios com grandes áreas envidraçadas. A análise do projeto por simulação computacional é necessária para comprovar a especificação mais adequada para cada caso. É possível analisar a integração de elementos de sombreamento e fazer compensações, ajustando parâmetros do projeto que envolvam não apenas o vidro, mas outras estratégias de eficiência para limitar o consumo de energia ao máximo pretendido.



Certificação LEED

Avalia diversos aspectos de sustentabilidade do projeto e construção da edificação. Entre os quesitos, a eficiência energética é avaliada por simulação computacional, comparando-se o projeto com um modelo de referência com vidro de Fator Solar igual a 0,25 e percentual de abertura da fachada limitado a 40%.



Etiquetagem PROCEL Edifica

Classifica o nível de eficiência energética da edificação de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A análise pode ser feita por simulação, onde o projeto é comparado com um modelo de referência com vidro incolor de 3 mm de espessura ($FS = 0,87$) e área de janela reduzida até atingir o nível de eficiência pretendido.



Processo AQUA

Avalia diversos aspectos de sustentabilidade desde a gestão do projeto até a construção da edificação. Entre os quesitos, a eficiência energética é avaliada por simulação computacional, seguindo os parâmetros da Etiquetagem PROCEL Edifica.



ABNT NBR 15575

A Norma de Desempenho é aplicada a edificações residenciais. Cômodos com grande área de janela (maior do que 20% da área de piso) devem empregar vidros de controle solar ou elementos de sombreamento. Quanto maior a área de janela, menor deve ser o FS do vidro utilizado. A análise pode ser feita por tabelas ou simulação computacional.

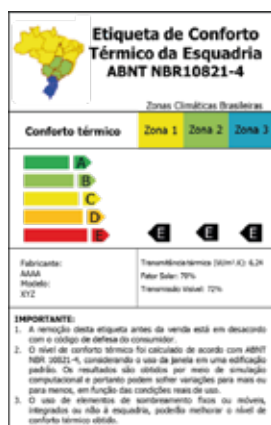
ETIQUETAGEM DE CONFORTO TÉRMICO DE ESQUADRIAS

A norma ABNT NBR 10821 (Esquadrias para edificações) traz em sua Parte 4 um procedimento para classificar o desempenho térmico de esquadrias aplicadas a edificações residenciais, considerando o nível de conforto térmico proporcionado pela esquadria completa (porta ou janela), em função do tipo de vidro, material e desenho dos perfis (aço, alumínio, madeira ou PVC).

A Etiqueta de Conforto Térmico de Esquadrias classifica o produto, independente do projeto onde será empregada, servindo como referência para o consumidor final identificar quais produtos proporcionam maior nível de conforto em cada região do país (Figura 26).

A etiquetagem é voluntária e cada fabricante de esquadrias pode apresentar a classificação afixada em seus produtos ou informada nos catálogos técnicos.

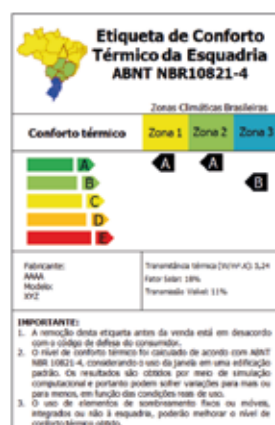
Em geral, para proporcionar maior nível de conforto é necessário utilizar vidros de controle solar, com baixo Fator Solar, diminuindo os ganhos de calor para o interior das edificações. O tipo de perfil também contribui no desempenho global da esquadria, ao evitar “pontes térmicas”, ou seja, pontos fracos por onde pode passar mais calor. Vidros insulados trazem maior benefício na região sul do país, onde o frio é mais intenso.



Vidro: incolor
FS: 0,87
Perfil: alumínio



Vidro: controle solar
FS: 0,42
Perfil: PVC



Vidro: controle solar
FS: 0,23
Perfil: PVC



Vidro: controle solar insulado
FS: 0,25
Perfil: PVC

Acesse a calculadora de conforto térmico no portal Vidro Certo para simular mais opções de esquadrias e vidros.

vidrocerto.org.br/calculadora

Figura 26: Etiqueta de conforto térmico de esquadrias com diferentes exemplos de especificações de vidro e perfis (ABNT NBR 10821-4).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O vidro é um material de construção fantástico, permitindo a integração visual com o exterior, trazendo luz natural para os ambientes internos e conferindo uma estética diferenciada em diversos projetos. É justamente por sua transparência e leveza, sua especificação deve ser feita com atenção, para evitar desconforto térmico e otimizar o consumo de energia em climatização nas edificações.

Este guia apresentou uma introdução sobre eficiência energética relacionada à especificação do vidro plano para edificações.

A indústria brasileira de vidro plano dispõe de produtos de elevado desempenho térmico, permitindo versatilidade no desenvolvimento de projetos, com áreas envidraçadas em clima tropical, como em grande parte do país.

O uso de vidros de controle solar ajuda a reduzir a utilização de elementos de sombreamento, tais como brises, venezianas e cortinas, pela diminuição da carga térmica da edificação.

A Norma de Desempenho para edifícios habitacionais (ABNT NBR 15575), bem como o Programa Brasileiro de Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética de Edificações, ressaltam a necessidade do uso de vidros de controle solar como estratégia de melhoria no desempenho térmico dos projetos. O uso de simulação computacional é ferramenta imprescindível para a especificação adequada do vidro em cada situação, considerando características do projeto e clima onde será inserido.



CRÉDITOS

AUTOR

**FERNANDO
WESTPHAL**

COLABORAÇÃO

**MAURICIO F. DE JESUS
THAÍS STEIGER
THAISE VICTORINO
REBECA GUIMARÃES**

ACERVO

**AGC
CEBRACE
GUARDIAN
SAINT GOBAIN
VIVIX**

MANTENEDORA



Conheça mais sobre vidros, suas aplicações e curiosidades em:
vidrocerto.org.br



GUIA DE

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

