

GUIA DE



EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA



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

Mesmo com climas tão diversos e alta intensidade de radiação solar em todo o território, o país dispõe de projetos tendo o vidro como elemento de destaque e nível de eficiência energética elevado. Tais resultados só são possíveis por meio do uso de vidros de controle solar de alto desempenho, hoje fabricados em território nacional.





APRESENTAÇÃO

Nas últimas décadas, a ABIVIDRO tem desenvolvido uma série de pesquisas junto a seus associados e universidades, visando esclarecer toda cadeia produtiva do vidro plano sobre as necessidades de especificação adequada do vidro em função do tipo de projeto, área envidraçada, clima e orientação solar. Como resultado dessas pesquisas, as normas nacionais hoje contemplam os vidros de controle solar como estratégia imprescindível para promover a eficiência energética no país.

Este guia traz conceitos básicos para iniciar o projetista no estudo de eficiência energética relacionada ao uso de vidro em edificações no Brasil. Espera-se que este seja o ponto de partida para a investigação mais aprofundada do tema junto aos fabricantes 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.....	3
O QUE SÃO VIDROS DE CONTROLE SOLAR.....	4
ENTENDA O FATOR SOLAR.....	5
TRANSMISSÃO LUMINOSA E ÍNDICE DE SELETIVIDADE.....	7
REFLEXÃO OU TRANSPARÊNCIA.....	8
ASPECTO VISUAL.....	9
PAF.....	10
QUAL DEVE SER A RELAÇÃO ENTRE PAF E FS?.....	12
SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL.....	14
ECONOMIA DE ENERGIA COM VIDROS DE CONTROLE SOLAR.....	16
ECONOMIA DE ENERGIA EM FUNÇÃO DO CLIMA.....	19
CONFORTO TÉRMICO.....	21
VIDRO INSULADO.....	22
TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E VIDROS INSULADOS.....	24
CERTIFICAÇÕES AMBIENTAIS.....	25



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

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 representam um dos componentes de carga térmica das edificações, dentre todas as fontes de calor que resultam na variação da temperatura do ar interno e uso do sistema de climatização. A Figura 1 ilustra as principais fontes de calor numa residência. As janelas correspondem a uma dessas fontes, e dependendo do tipo de projeto, área envidraçada, orientação solar e clima, sua participação no consumo de energia pode ser significativa. Dessa forma, a especificação correta dos vidros deve levar em conta esses fatores.



EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

O aparelho de ar-condicionado trabalha para compensar todos esses ganhos de calor. As janelas (e os vidros) representam apenas uma parcela desses ganhos. Portanto, dependendo do clima e do projeto arquitetônico, as janelas podem ter papel fundamental no consumo de energia.

CARGAS INTERNAS

Equipamentos elétricos e iluminação geram calor proporcional à energia que consomem. Pessoas também geram calor significativo no ambiente interno.

COBERTURA

Recebe maior quantidade de sol. Ganho de calor depende da cor e materiais construtivos. Cores claras absorvem menos calor e promovem maior eficiência.

PAREDES

Fachadas leste e oeste recebem maior quantidade de sol. Ganho de calor depende da cor e materiais construtivos. Cores claras absorvem menos calor e promovem maior eficiência.

JANELA

Dependendo da área transparente, o ganho de calor é significativo. A infiltração de ar também contribui no ganho de calor. Vidros de controle solar e elementos de sombreamento contribuem para a eficiência energética.



Figura 1: Fontes de ganho de calor numa edificação.

CONTROLE DOS GANHOS DE CALOR NAS EDIFICAÇÕES

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

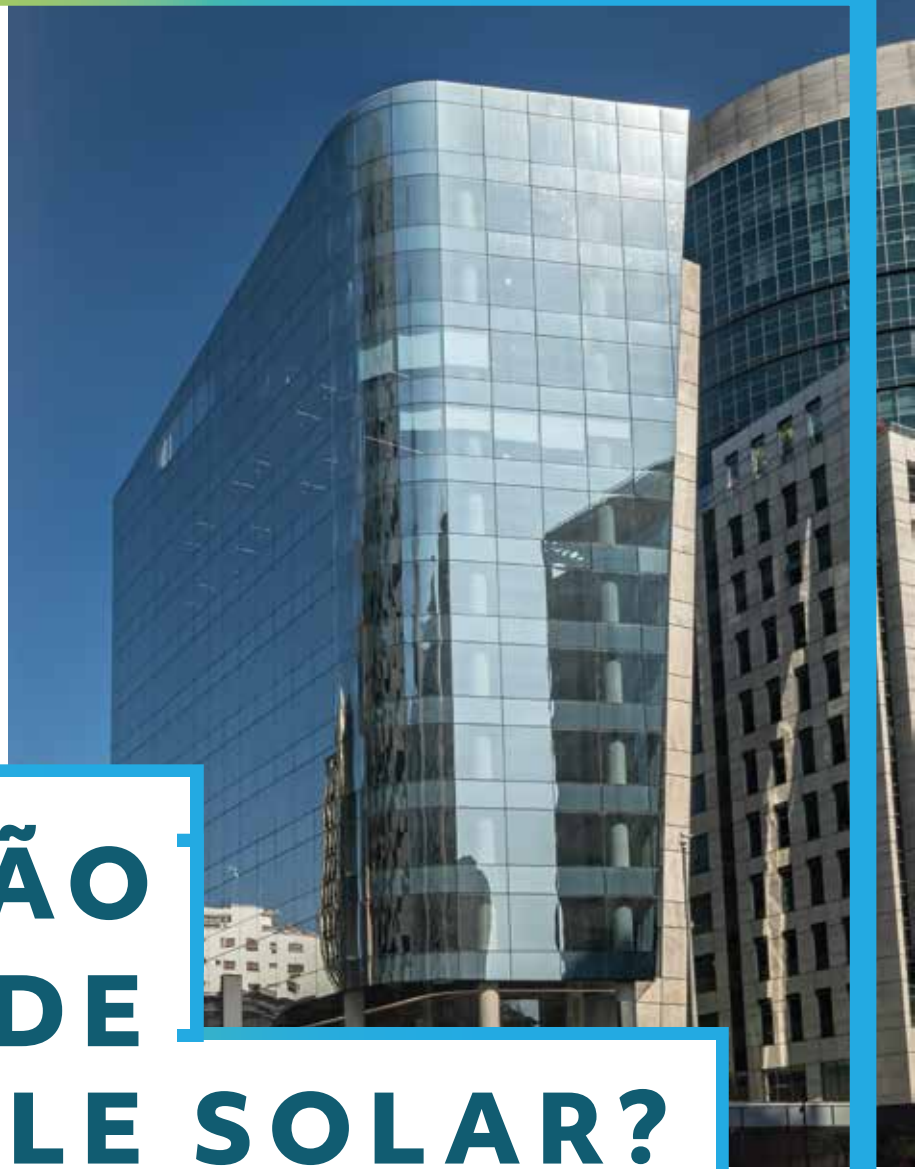
A Figura 2 apresenta valores típicos de ganho de calor gerado por alguns itens comuns em edificações residenciais. Observa-se que uma pessoa em atividade sedentária acrescenta de 120 W de calor ao ambiente, ou seja, mais do que uma TV de 40" ligada. Por isso, em um ambiente fechado, com ocupação e equipamentos 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, reduz esse ganho de calor em um terço, para 200 W. Essa melhoria pode ser alcançada com vidros de controle solar, conforme 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 verão (700 W/m ²)	200 W/m ²

Assim como existem equipamentos elétricos mais eficientes, elementos arquitetônicos de alto desempenho também podem ser escolhidos para o projeto de edificações mais sustentáveis.

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



O QUE SÃO VIDROS DE CONTROLE SOLAR?

Os vidros de controle solar saem de fábrica com um tratamento especial em uma de suas faces, com a finalidade de filtrar a radiação solar e, consequentemente, reduzir o ganho de calor no ambiente. Durante ou após o processo de fabricação, as chapas de vidro recebem a aplicação de um revestimento metálico (em inglês, chama-se coating) invisível a olho nu, por meio de processos de alta tecnologia.

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.

O coating é impregnado de forma permanente ao vidro e não sofre desgaste com o tempo.

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 diretamente para o ambiente externo (Reflexão) e uma terceira fração é absorvida no vidro (Absorção) e posteriormente 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.

O Fator Solar é representado por um número fracionário entre 0 e 1. O vidro incolor de 6 mm de espessura possui Fator Solar de 0,82, ou seja, permite passar 82% da radiação solar na forma de calor. Vidros coloridos, refletivos e vidros de controle solar podem ter o fator solar reduzido a valores abaixo de 0,40, proporcionando mais de 50% de redução do ganho de calor comparado a um vidro incolor.

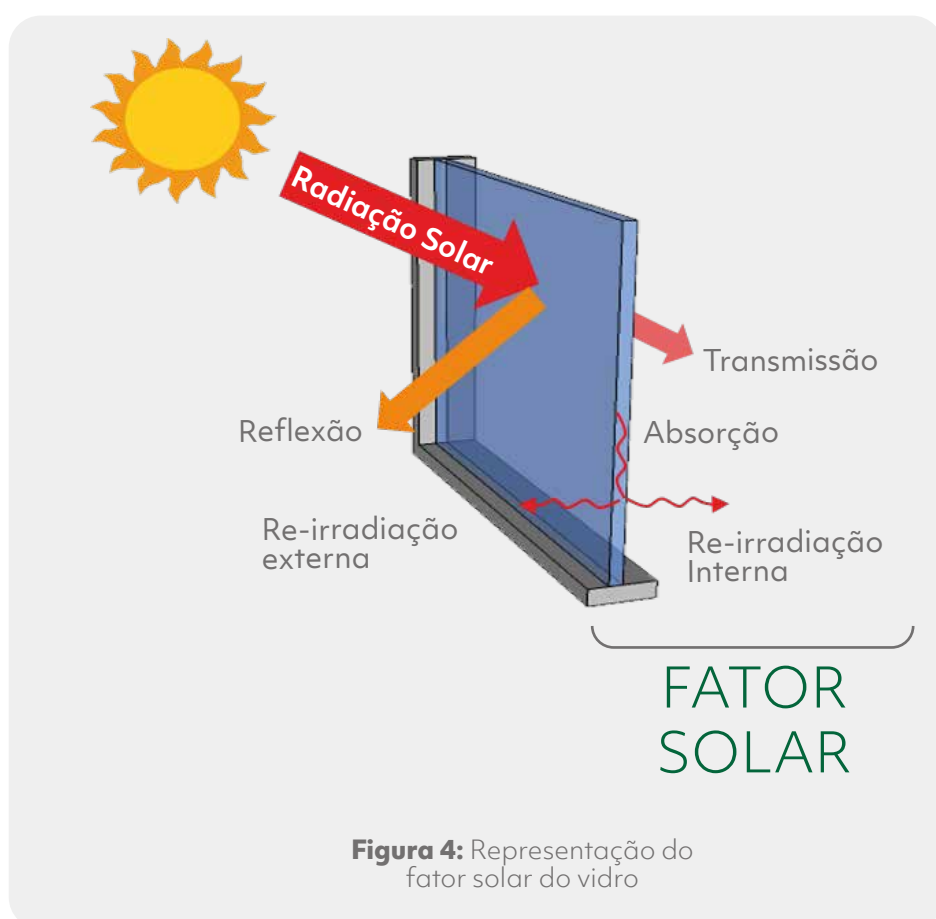


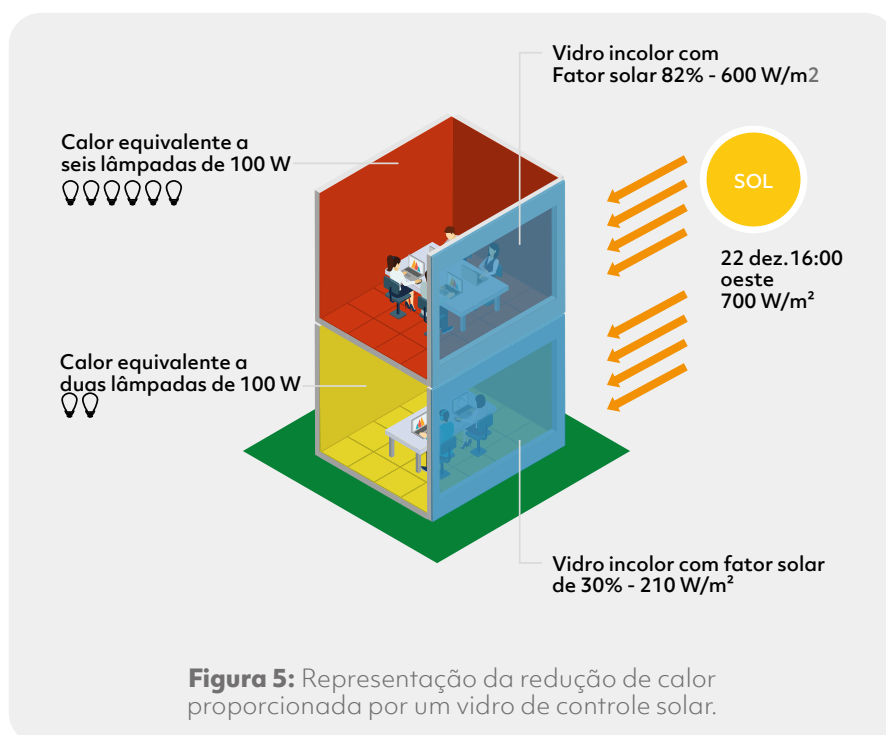
Figura 4: Representação do fator solar do vidro

ENTENDA O FATOR SOLAR

A grosso modo, 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 de cima, um vidro incolor de 6 mm, com fator solar de 0,82, resultaria num ganho de calor de 600 W/m^2 de janela. No ambiente abaixo, o uso de um vidro com fator solar igual a 0,30 reduz esse ganho de calor para 210 W/m^2 , ou seja, uma redução de 65%. Esse benefício resulta em redução da temperatura do ar interno e economia de energia, no caso de um ambiente climatizado. A grosso modo, 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 de cima, um vidro incolor de 6 mm, com fator solar de 0,82, resultaria num ganho de calor de 600 W/m^2 de janela. No ambiente abaixo, o uso de um vidro com fator solar igual a 0,30 reduz esse ganho de calor para 210 W/m^2 , ou seja, uma redução de 65%. Esse benefício resulta em redução da temperatura do ar interno e economia de energia, no caso de um ambiente climatizado.



TRANSMISSÃO LUMINOSA E ÍNDICE DE SELETIVIDADE

De modo geral, pode-se afirmar que os vidros mais escuros e os 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 que existem coatings que resultam em alta Transmissão Luminosa (TL). São vidros que filtram a radiação solar de forma mais eficiente, transmitindo mais luz do que calor. Em algumas situações, vidros mais escuros ou refletivos são desejados para diminuir o risco de ofuscamento, ou seja, o excesso de luz nos ambientes internos.

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. O Índice de Seletividade (IS) representa a relação entre a Transmissão Luminosa e o Fator Solar.



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

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.

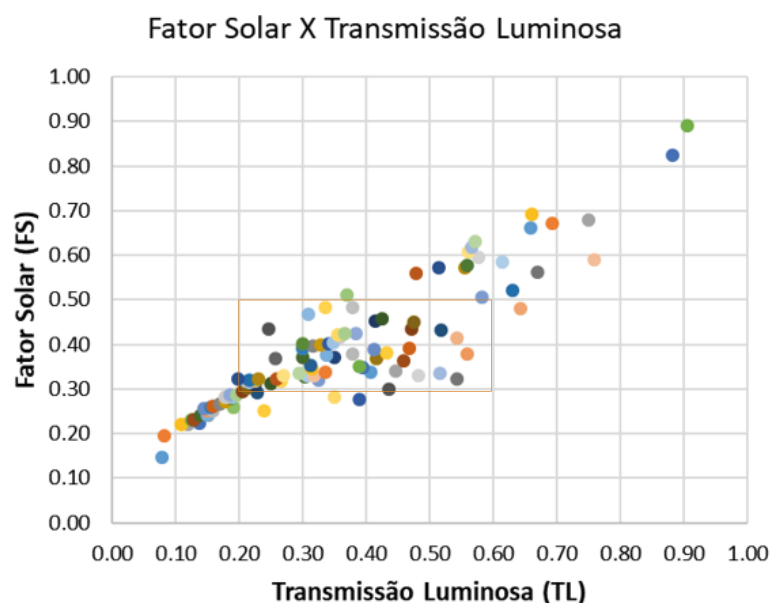
Tabela 1: Exemplos de especificações de vidros com diferentes índices de seletividade.

REFLEXÃO OU TRANSPARÊNCIA?

Existem diversas especificações de 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. Observa-se que existe de fato uma tendência de maior FS para vidros mais transparentes (maior TL).

Porém, 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.

Os prédios apresentados nas fotos da Figura 8 mostram essas duas situações bem distintas, possíveis de serem obtidas com vidros de controle solar. No prédio da esquerda, uma fachada mais transparente, com baixa reflexão. No projeto da direita foi utilizada uma especificação de vidro mais refletiva, com menor TL.



**ALTA TRANSMISSÃO LUMINOSA
BAIXA REFLEXÃO**



**BAIXA TRANSMISSÃO LUMINOSA
ALTA REFLEXÃO**



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

ASPECTO VISUAL

Da mesma forma que os vidros filtram o calor da radiação solar incidente, eles também processam a luz que vem do sol, transmitindo uma parcela, e 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. As imagens da Figura 9 ilustram 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, levando-se em conta 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.

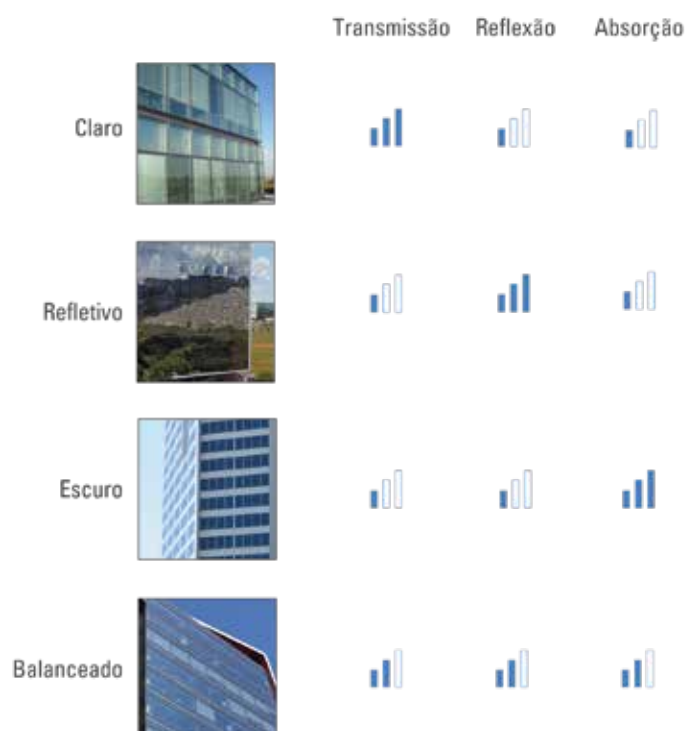


Figura 9: Exemplo de vidros com diferentes aspectos visuais

PERCENTUAL DE ABERTURA DA FACHADA

O uso de maiores áreas envidraçadas tem sido tendência na arquitetura, especialmente em edifícios de escritórios, mesmo em climas quentes como no Brasil. Mas numa fachada envidraçada, nem toda a área de vidro é totalmente transparente. Existem partes da fachada onde o vidro funciona como material de 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, consequentemente, 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.



PERCENTUAL DE ABERTURA DA FACHADA

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. Destaca-se que o PAF contempla apenas a área que permite passagem de luz para o interior do prédio. 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 à 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.

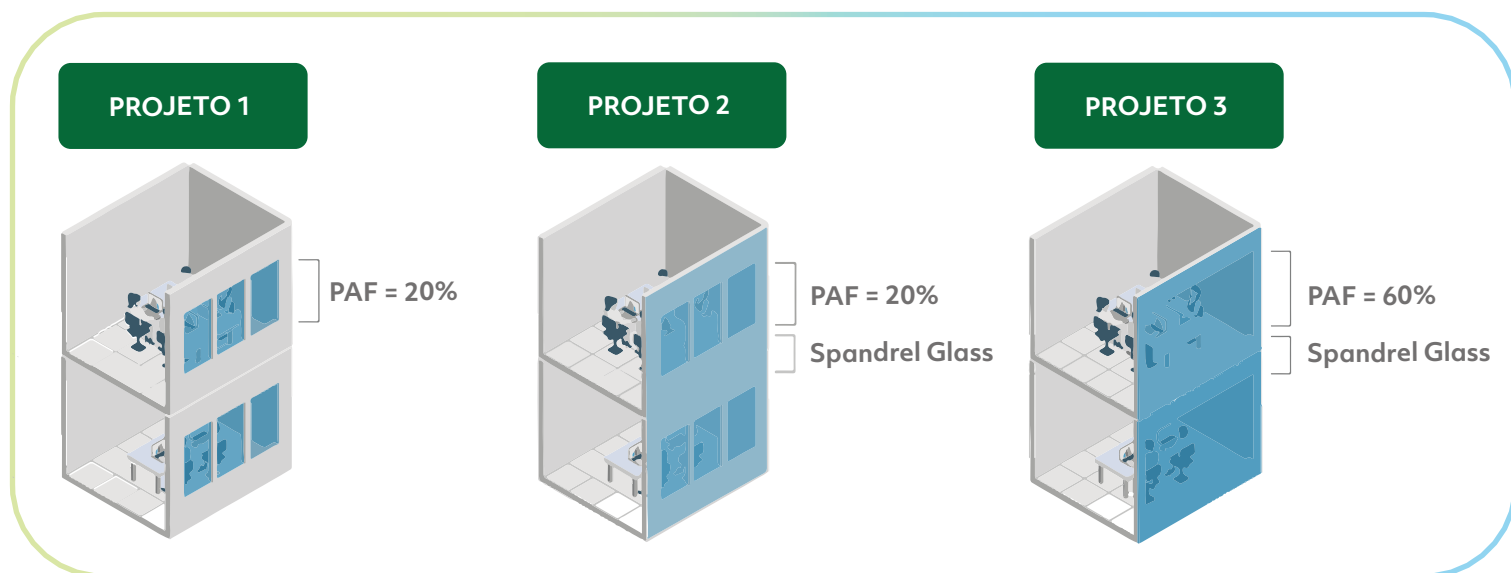


Figura 10: Representação do Percentual de Abertura da Fachada (PAF) para três tipos de edificação.

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.

QUAL DEVE SER A RELAÇÃO ENTRE O PAF E FS?

Vimos que quanto maior a área transparente da fachada, mais baixo deve ser o Fator Solar (FS) do vidro utilizado, minimizando assim o ganho de calor do sol. 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 do sol 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.

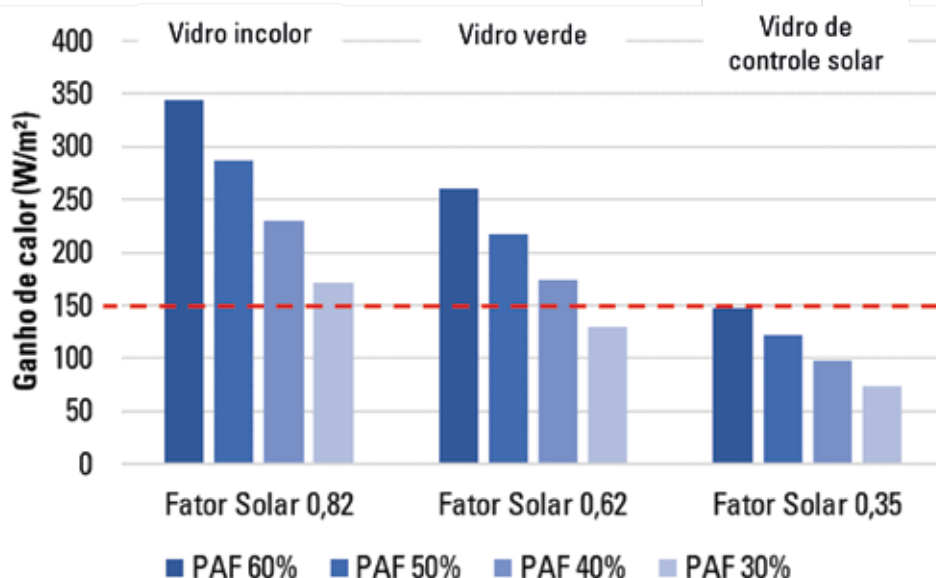


Figura 11: Comparativo entre o ganho de calor com três tipos de vidro aplicados a quatro níveis de Percentual de Abertura da Fachada (PAF)

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 eficientes com fachada em pele de vidro e alto nível de eficiência, atendendo a normas internacionais de projeto sustentável (Figura 12). Esse comparativo é extremamente simples, mas 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 apresentadas anteriormente 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.

Por meio de 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, de ampla utilização mundial para simulação do consumo de energia de edificações e estudo de estratégias de eficiência energética.

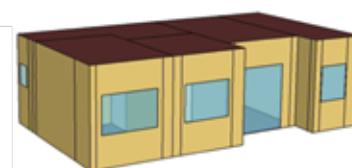


Figura 12: Edifício Multiplan Morumbi Corporate, com 50% de PAF na fachada em pele de vidro obteve certificação sustentável LEED® nível Gold. - Projeto: Aflalo e Gasperini Arquitetos

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. A Figura 15 representa uma fração dessa tabela, indicando os mesmos dados de entrada utilizados no EnergyPlus.

- Custo inicial do investimento;
- Nível de eficiência energética;
- Custo anual de energia;
- Nível de conforto térmico alcançado.

- Estética;
- Segurança;
- Desempenho acústico;
- Certificação ambiental pretendida.

Prodotto	Espresso (mm)	FL	RLw	RLl	TL	RLw	RLl	Se	ES	F3	ML (mm)	ES
6	0.14	0.11	0.18	0.15	0.18	0.15	0.09	0.48	0.24	4.80	0.63	
6	0.13	0.12	0.18	0.15	0.17	0.15	0.09	0.48	0.24	4.70	0.63	
6	0.13	0.10	0.18	0.15	0.17	0.15	0.09	0.48	0.24	4.70	0.63	
6	0.17	0.18	0.21	0.19	0.22	0.23	0.09	0.51	0.26	4.90	0.68	
6	0.17	0.26	0.21	0.18	0.21	0.23	0.09	0.53	0.26	4.90	0.64	
6	0.16	0.25	0.21	0.18	0.21	0.23	0.09	0.53	0.26	4.80	0.64	
6	0.29	0.18	0.25	0.20	0.22	0.23	0.09	0.61	0.40	5.20	0.75	
6	0.28	0.17	0.25	0.20	0.21	0.23	0.09	0.65	0.39	5.10	0.71	
6	0.27	0.17	0.25	0.20	0.21	0.23	0.09	0.65	0.39	5.10	0.71	
6	0.09	0.19	0.20	0.17	0.19	0.21	0.09	0.49	0.23	4.60	0.57	
6	0.07	0.15	0.18	0.13	0.17	0.15	0.08	0.48	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.



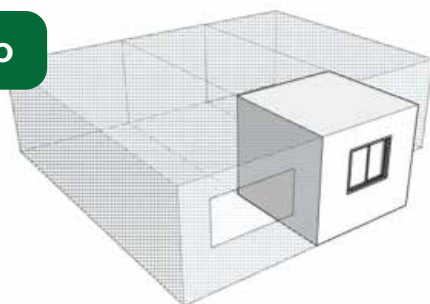
ECONOMIA DE ENERGIA COM VIDROS DE CONTROLE SOLAR

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 esquematicamente o modelo geométrico 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 outro com $FS = 0,30$. A Figura 17 apresenta os valores de consumo anual de energia em climatização do dormitório para cada opção de vidro simulada. Verifica-se que 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. Considerando essa tarifa, a substituição do vidro incolor por um vidro com FS de 0,30 proporcionou uma economia de R\$ 133/ano. Durante a fase de projeto, essa estimativa de economia pode ser aplicada na seleção de um vidro melhor do que o incolor, calculando-se o período de retorno do investimento.

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

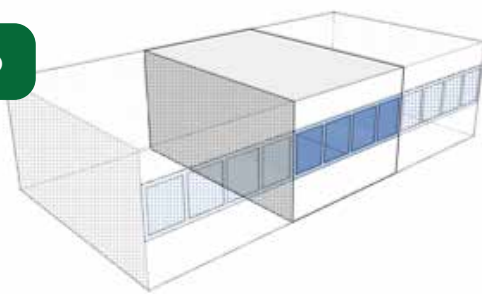
A mesma simulação anterior foi realizada para um ambiente de escritórios. Neste caso, considerou-se uma sala de 4,0 x 6,0 m, ou seja, 24 m², com uma janela de 4,0 m de largura por 1,2 m de altura, o que representa um Percentual de Abertura da Fachada (PAF) de 40%. A fachada foi orientada a norte, e o modelo foi simulado com clima de São Paulo. A Figura 18 mostra um desenho esquemático do ambiente e as características principais do modelo.

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: DORMITÓRIO

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



Cidade: São Paulo
Orientação da fachada: Oeste
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

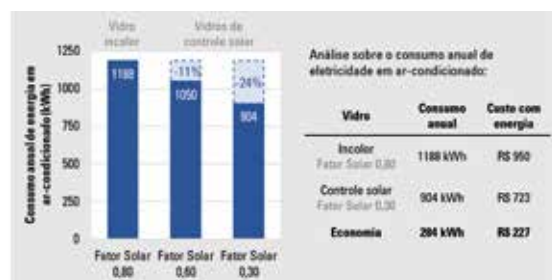


Figura 19: Análise energética para o modelo de um escritório substituindo-se o vidro incolor por vidros de controle solar.

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. O mapa apresentado na 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 igual a 0,30. O mesmo modelo do escritório analisado anteriormente foi utilizado neste exercício.

Observa-se que nas regiões mais quentes, norte e nordeste, o percentual de economia é mais baixo. Isso porque nesses climas a temperatura do ar é frequentemente quente, exercendo influência significativa no desempenho térmico da edificação. Nesses casos, reduzir o fator solar do vidro contribui para melhorar a eficiência energética, mas outros fatores do projeto também precisam ser aprimorados, tais como o isolamento térmico da fachada.

Nos climas da região sul e sudeste, a utilização de vidros de controle solar promove economia percentual significativa, pois nessas faixas de latitude a influência do sol muda completamente o comportamento térmico da edificação, pois a 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.

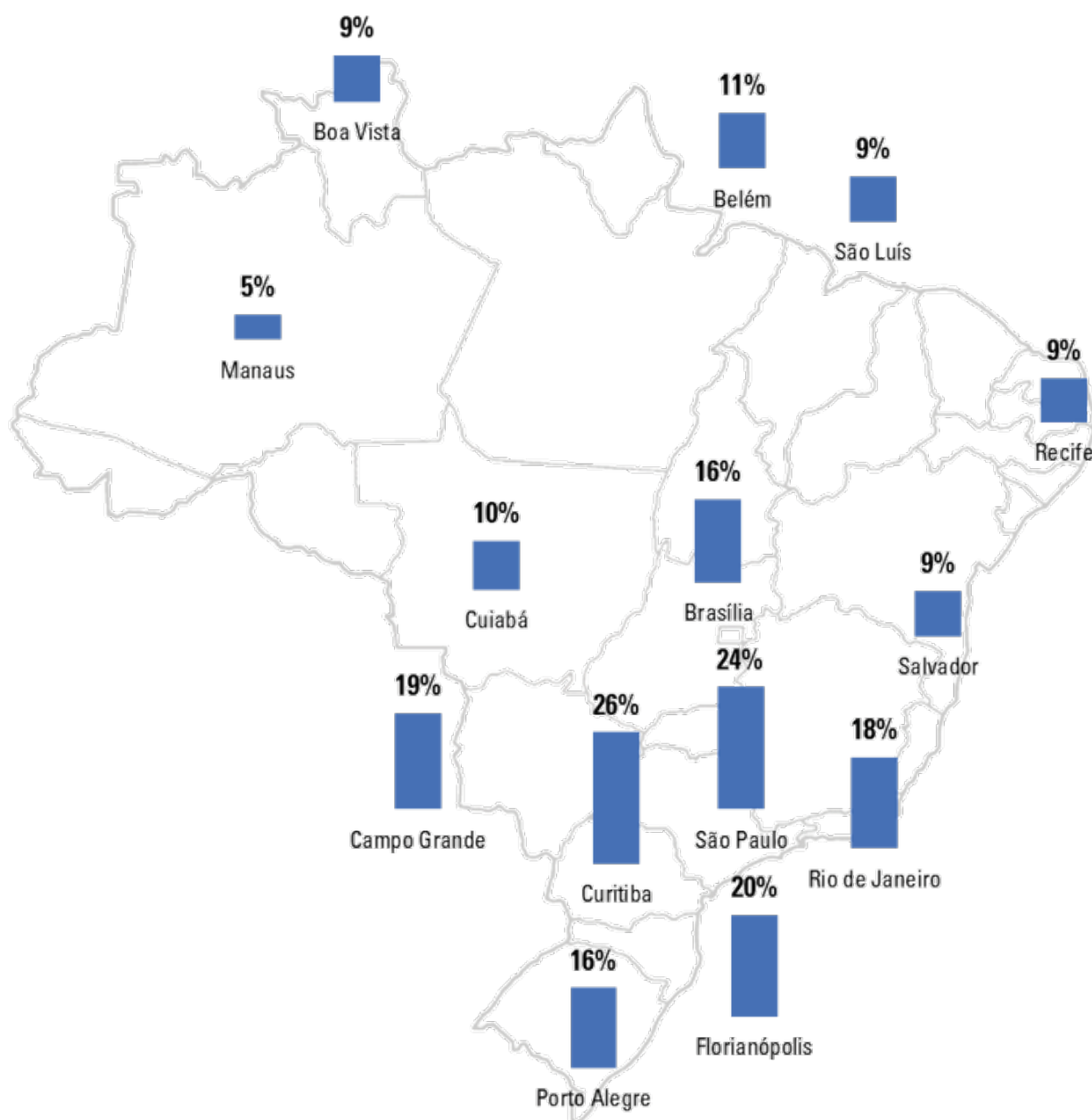


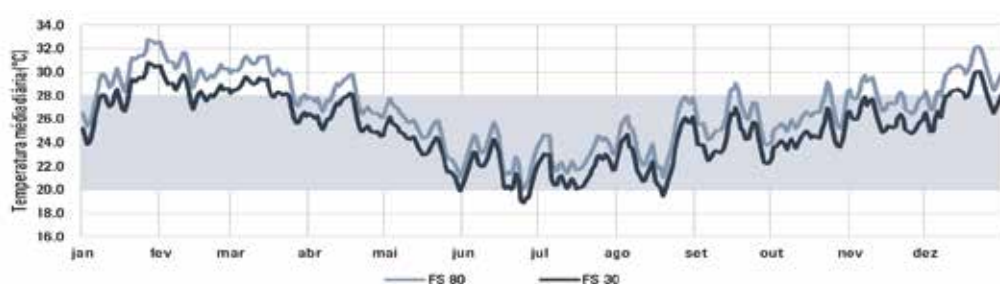
Figura 20: Economia de energia obtida com climatização de uma sala de escritório com a substituição do vidro incolor por vidro de controle solar com FS de 0,30 em 14 capitais brasileiras.

CONFORTO TÉRMICO

As simulações anteriores consideraram os modelos com o uso do ar-condicionado sempre que houver necessidade. 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 ($FS = 0,30$). Na simulação desses cenários, comprova-se que a aplicação do vidro de controle solar pode evitar o uso de ar-condicionado em 54 dias naquele ambiente. 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.

O gráfico da esquerda na 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 uniforme da temperatura ao longo do ano, quando comparado ao vidro incolor (linha mais clara).



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

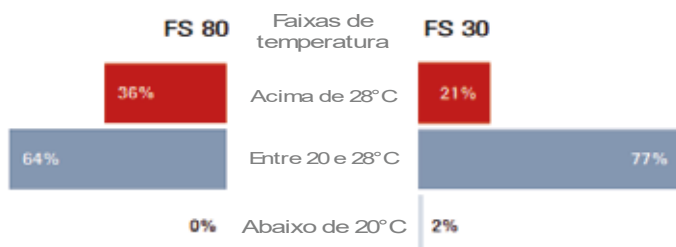


Figura 21: Análise de temperatura média do ar realizada por simulação computacional de um modelo de dormitório, com fachada voltada para o norte, em São Paulo, substituindo-se o vidro incolor por vidro de controle solar.

VIDROS INSULADOS

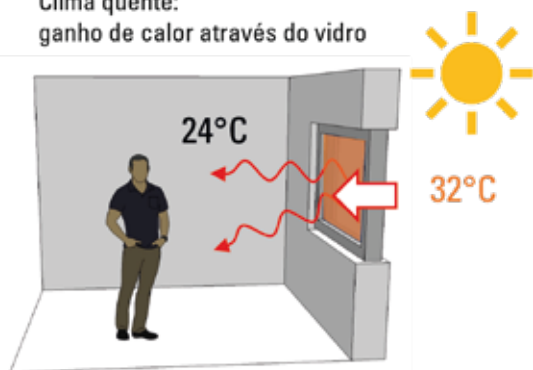
As trocas de calor em uma chapa de vidro instalada em uma janela ocorrem de duas formas: há o ganho de calor devido à radiação solar; e a troca de calor por condução no vidro devido à diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno. Nessa segunda situação, o resultado depende de qual ambiente está mais quente (Figura 22).

Se for no verão, há um ganho de calor através do vidro, pois o ar externo está mais quente que o interno. No inverno ocorre o contrário, e há uma perda de calor através do vidro porque o ar interno está mais quente. 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. 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.



VIDROS INSULADOS

Clima quente:
ganho de calor através do vidro



Clima frio:
perda de calor através do vidro



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

Para diminuir o risco de 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 uma ou mais câmaras de ar (Figura 23). O “colchão” de ar funciona como um isolante térmico, diminuindo o fluxo de calor por condução através da composição de vidro. 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 próximo ao vidro.

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

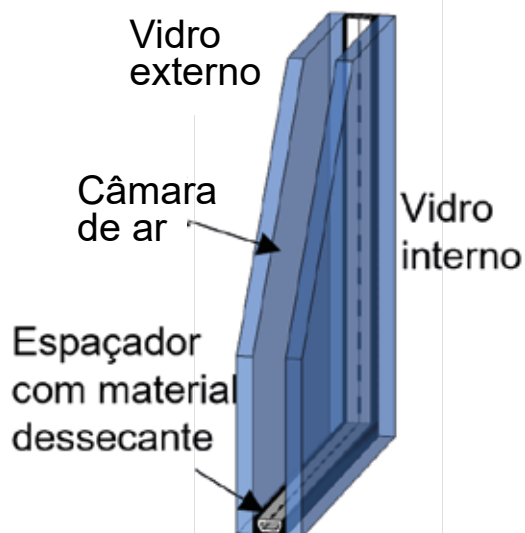


Figura 22: Esquema de uma composição de vidro insulado.

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E VIDROS INSULADOS

A propriedade física que informa a capacidade de transferência de calor por diferença de temperatura de um componente construtivo é a Transmitância Térmica, medida em $W/m^2.K$. Um vidro monolítico de 6 mm tem transmitância térmica de $5,7 W/m^2.K$. 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 ser reduzida ainda mais, podendo chegar a $1,5 W/m^2.K$, conforme mostra a Tabela 2. Nos catálogos dos fabricantes, 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 através da composição de vidro, diminuindo o potencial de desconforto térmico e, dessa forma, reduzindo a necessidade do uso do sistema de climatização, seja para resfriamento ou aquecimento.

Vidro	Monolítico				Insulado			
	TL	FS	IS	U ($W/m^2.K$)	TL	FS	IS	U ($W/m^2.K$)
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

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

TRANSMITÂNCIA TÉRMICA E VIDROS INSULADOS

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. O gráfico da Figura 23 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.

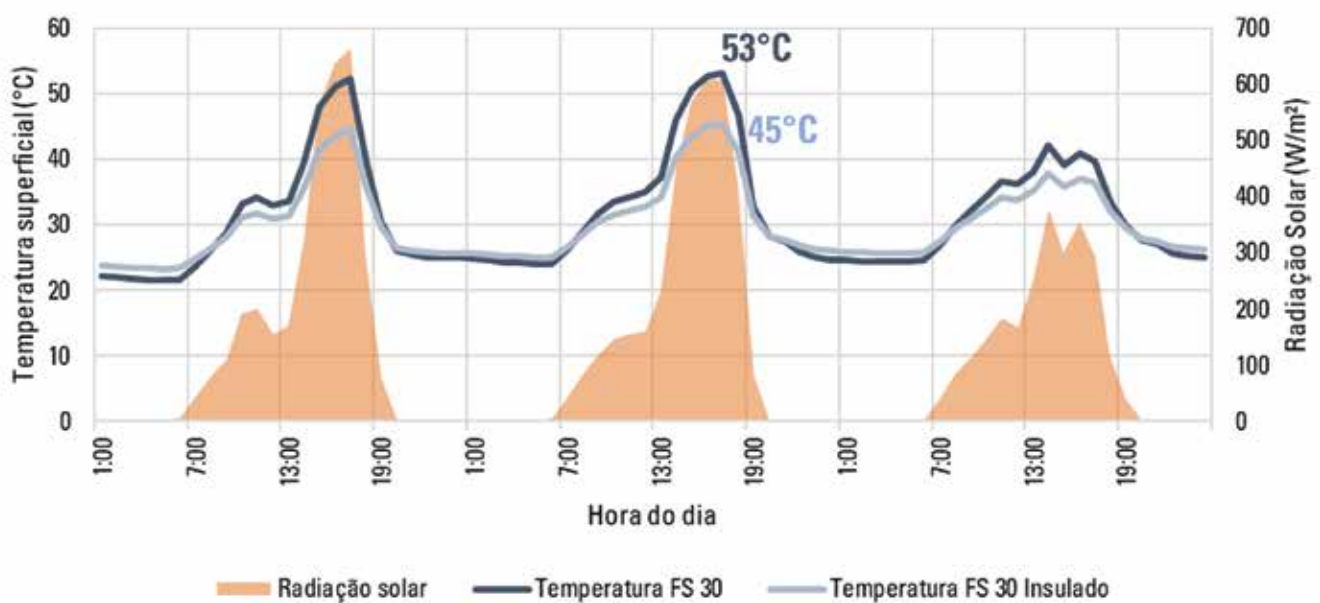


Figura 23: Redução na temperatura superficial interna do vidro insulado.

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 meio de 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 24 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%.



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.



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.



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.

Figura 24: Resumo das características principais das normas e ferramentas de certificação ambiental, desempenho e eficiência utilizadas no Brasil.

ESCRITA

ACERVO

MANTENEDORA

**FERNANDO WHESTPAL
MAURÍCIO F. DE JESUS
THAÍS STEIGER
THAISE VICTORINO**

**AGC
CEBRACE
GUARDIAN
VIVIX**



CRÉDITOS

GUIA DE



EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA