



Determinação de transmissão de luz, transmissão direta solar, transmissão total de energia solar, transmissão ultravioleta e fatores de vidraças relacionados

1 Escopo

Esta norma ISO especifica os métodos de determinação da transmissão de luz e energia da radiação solar de aberturas envidraçadas nas edificações. Esses dados característicos podem servir de base para cálculos de luz, aquecimento e ventilação de salas e podem permitir a comparação entre os diferentes tipos de vidros.

Esta norma ISO é aplicável tanto às unidades convencionais de vidros quanto à absorção ou reflexão de vidros de controle solar, utilizados nas aberturas envidraçadas. As fórmulas apropriadas para vidros individuais, duplos e triplos são dadas. Além disso, são estabelecidos os procedimentos gerais de cálculo para as unidades constituídas por mais de um componente.

Esta norma ISO é aplicável a todos os materiais transparentes. Uma exceção é o tratamento do fator secundário de transferência de calor e o fator total de energia solar para aqueles materiais que mostram transmissão significativa na região do comprimento de onda da radiação de temperatura ambiente (5 μm a 50 μm), como certas folhas plásticas.

NOTA Para vários vidros, incluindo elementos com propriedades de dispersão de luz, os procedimentos mais detalhados da ISO 15099 podem ser usados. Para cálculos de luz do dia, os procedimentos podem ser encontrados em referência [1].

2 Referências normativas

Os seguintes documentos referenciados são indispensáveis para a aplicação deste documento. Para o caso de referências datadas, somente a edição citada se aplica. Para as referências sem data, adota-se a última edição do documento citado (incluindo quaisquer emendas).

ISO 9845-1:1992, *Solar energy — Reference solar spectral irradiance at the ground at different receiving conditions — Part 1: Direct normal and hemispherical solar irradiance for air mass 1,5*

ISO 10291:1994, *Glass in building — Determination of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing — Guarded hot plate method*

ISO 10292:1994, *Glass in building — Calculation of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing*

ISO 10293:1997, *Glass in building — Determination of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing — Heat flow meter method*

ISO 10526:1999/CIE S005:1998, *CIE standard illuminants for colorimetry*

ISO/CIE 10527:1991, *CIE standard colorimetric observers*



CIE 13.3:1995, *Technical report — Method of measuring and specifying colour rendering properties of light source*

3 Determinação de parâmetros de caracterização

3.1 Generalidades

Os parâmetros de caracterização do vidro são determinados para a incidência quase paralela de radiação quase normal. Para as medidas, as amostras devem ser irradiadas por um feixe cujo eixo está em um ângulo não superior a 10° do normal à superfície. O ângulo entre o eixo e qualquer raio do feixe iluminador não deve exceder 5° (ver referência [2]).

Os parâmetros de caracterização do vidro são os seguintes:

- a transmissão espectral $\tau(\lambda)$, a refletância externa espectral $\rho_o(\lambda)$ e a refletância interna espectral $\rho_i(\lambda)$ na faixa de comprimento de onda de 300 nm a 2 500 nm;
- a transmissão de luz τ_v , a refletância da luz externa $\rho_{v,o}$ e a reflexão da luz interna $\rho_{v,i}$ para D65 iluminante;
- a transmissão direta solar τ_e a refletância direta solar ρ_e ;
- a transmissão total de energia solar (fator solar) g ;
- a transmissão UV τ_{UV} ;
- o índice geral de renderização de cores R_a .

Se o valor de uma determinada característica for necessário para diferentes espessuras de vidro (no caso de vidro não revestido) ou para o mesmo revestimento aplicado a diferentes substratos de vidro, pode ser obtido por cálculo (ver Anexo A).

Se nada mais for declarado, os parâmetros característicos publicados devem ser determinados utilizando as condições padrão dadas em 3.3 a 3.7. Outras condições opcionais dadas na Cláusula 4 devem ser declaradas.

Ao calcular os parâmetros característicos de vidros múltiplos, devem ser utilizados os dados espectrais de cada componente de vidro em vez de dados integrados.

3.2 Desempenho das medições ópticas

As medições ópticas na transmissão e refletância requerem cuidados especiais e muita experiência experimental para obter uma precisão na transmissão e reflexão de cerca de $\pm 0,01$.

Espectrofotômetros comerciais (com ou sem esferas integrantes) são afetados por várias fontes de imprecisão quando utilizados para medições de refletância e transmissão em vidro plano para construção.

A calibração do comprimento de onda e a linearidade fotométrica dos espectrofotômetros comerciais devem ser verificadas periodicamente utilizando materiais de referência obtidos a partir de laboratórios metrológicos.



A calibração do comprimento de onda deve ser realizada medindo placas de vidro ou soluções que apresentam bandas de absorção relativamente nítidas em comprimentos de onda especificados; a linearidade fotométrica deve ser verificada utilizando filtros cinzentos com uma transmissão certificada.

Para medições de refletância, devem ser selecionados materiais de referência com comportamento de refletância (ou seja, nível de refletância e razão de refletância difusa e direta) semelhantes à amostra desconhecida.

Amostras espessas (por exemplo, vidro laminado ou unidades isolantes) podem modificar o caminho óptico do feixe do instrumento em comparação com o caminho no ar e, portanto, o feixe de amostra atinge uma área do detector com uma responsabilidade diferente.

Uma fonte semelhante de imprecisão ocorre no caso de amostras com ângulos de cunha significativos que desviam os feixes transmitidos (e refletidos). Recomenda-se verificar a reprodutibilidade repetindo a medição após a rotação da amostra.

Além disso, no caso de medições de refletância, as folhas de vidro causam uma tesoura lateral do feixe refletida pela segunda superfície, causando perdas de refletância (cuja extensão é particularmente evidente no caso de amostras espessas e/ou em cunha). Esta fonte de imprecisão deve ser levada em conta particularmente no caso de medições de refletância através do lado não revestido. Para quantificar e corrigir erros sistemáticos, recomenda-se o uso de padrões de refletância calibrados com espessura semelhante à amostra desconhecida.

No caso de difusão de amostras (ou amostras com um componente difusor não desprezível ou amostras cunhadas), as medições de transmissão e refletância devem ser realizadas utilizando esferas integradoras cujas aberturas são suficientemente grandes para coletar todo o feixe difusamente transmitido ou refletido. O diâmetro da esfera deve ser adequado e a superfície interna adequadamente revestida com um material de refletância altamente difusa, para que a área interna possa fornecer as múltiplas reflexões necessárias. Devem ser utilizados materiais de referência com características semelhantes à amostra desconhecida especificada acima.

Se a curva de transmissão ou refletância registrada pelo espectrômetro apresentar um alto nível de ruído para alguns comprimentos de onda, os valores a serem considerados para esses comprimentos de onda devem ser obtidos após uma suavização do ruído.

Nesta norma ISO, esses requisitos não são todos tratados em detalhes. Para obter mais informações, consulte a referência [3] que fornece informações abrangentes e detalhadas sobre como realizar medições ópticas.

3.3 Transmissão de luz

A transmissão de luz τ_v dos vidros deve ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\tau_v = \frac{\sum_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \tau(\lambda) D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (1)$$

onde



D_λ é a distribuição espectral relativa do Iluminante D65 (ver ISO/CIE 10526),

$\tau(\lambda)$ é a transmissão espectral dos vidros;

$V(\lambda)$ é a eficiência luminosa espectral para a visão fotópica que define o observador padrão para fotometria (ver ISO/CIE 10527);

$\Delta\lambda$ é o intervalo de comprimento de onda.

A Tabela 1 indica os valores para $D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda$ para intervalos de comprimento de onda de 10 nm. A tabela foi elaborada de tal forma que $\sum D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda = 1$.

No caso de vidros múltiplos, a transmissão espectral $\tau(\lambda)$ deve ser obtida por cálculo das características espectrais dos componentes individuais. Alternativamente, podem ser realizadas medidas sobre múltiplas unidades não difundindo usando uma esfera de integração. Isso pode ser alcançado após a redução dos espaços em condições que permitem a coleta de todo o feixe transmitido (ver 3.2).

O cálculo da transmissão espectral $\tau(\lambda)$ deve ser realizado utilizando métodos como manipulação algébrica, a técnica de incorporação da referência [4] ou por técnicas de recursão (por exemplo, de acordo com a referência [5]). Qualquer algoritmo que possa ser mostrado para produzir consistentemente a solução correta é aceitável.

Para o cálculo de $\tau(\lambda)$ bem como para o cálculo da refletância espectral (ver 3.4), são utilizados os seguintes símbolos para a transmissão espectral e a refletância espectral dos componentes individuais:

$\tau_1(\lambda)$ é a transmissão espectral do painel externo (primeiro);

$\tau_2(\lambda)$ é a transmissão espectral do segundo painel;

$\tau_n(\lambda)$ é a transmissão espectral do painel n th (interno) (por exemplo, para vidro triplo $n = 3$);

$\rho_1(\lambda)$ é a refletância espectral do painel externo (primeiro) medido na direção da radiação incidente;

$\rho'_1(\lambda)$ é a reflexão espectral do painel externo (primeiro) medido na direção oposta da radiação incidente;

$\rho_2(\lambda)$ é a refletância espectral do segundo painel medido na direção da radiação incidente;

$\rho'_2(\lambda)$ é a refletância espectral do segundo painel medido na direção oposta da radiação incidente;

$\rho_n(\lambda)$ é a refletância espectral do painel n th (interno) medido na direção da radiação incidente;

$\rho'_n(\lambda)$ é a refletância espectral do painel n th (interno) medido na direção oposta da radiação incidente.

Para a transmissão espectral $\tau(\lambda)$ em função das características espectrais dos componentes individuais da unidade, são obtidas as seguintes fórmulas.



a) Para vidros duplos:

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda) \tau_2(\lambda)}{1 - \rho_1(\lambda) \rho_2(\lambda)} \quad (2)$$

b) Para vidros triplos:

$$\tau(\lambda) = \frac{\tau_1(\lambda) \tau_2(\lambda) \tau_3(\lambda)}{[1 - \rho_1(\lambda) \rho_2(\lambda)] \cdot [1 - \rho_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda) \rho_1(\lambda) \rho_3(\lambda)} \quad (3)$$

Para vidros múltiplos com mais de três componentes, são encontradas relações semelhantes às Equações (2) e (3) para calcular $\tau(\lambda)$ de tais vidros a partir das características espectrais dos componentes individuais. À medida que essas fórmulas se tornam muito complexas, elas não são dadas aqui.

Como exemplo de cálculo da $\tau(\lambda)$ de acordo com os procedimentos desta norma ISO, um vidro composto por cinco componentes pode ser tratado da seguinte forma:

- primeiro considere os três primeiros componentes como vidros triplos e calcule as características espectrais desta combinação;
- em seguida, executar o mesmo procedimento para os próximos dois componentes como vidros duplos;
- em seguida, calcule $\tau(\lambda)$ para os cinco componentes do vidro, considerando-o como vidro duplo consistindo do vidro triplo e duplo anterior.

3.4 Refletância de luz

3.4.1 Refletância da luz externa

A refletância da luz externa dos vidros $\rho_{v,o}$ deve ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\rho_{v,o} = \frac{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} \rho_o(\lambda) D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (4)$$

onde $\rho_o(\lambda)$ é a refletância externa espectral dos vidros, D_λ , $V(\lambda)$, $\Delta\lambda$ e o procedimento de integração são definidos em 3.3

Para o vidro múltiplo, o cálculo da refletância externa espectral $\rho_o(\lambda)$ deve ser realizado utilizando os mesmos métodos dados em 3.3 para o cálculo da transmissão espectral $\tau(\lambda)$.

Para a refletância externa espectral $\rho_o(\lambda)$ em função das características espectrais dos componentes individuais da unidade, são aplicadas as seguintes fórmulas.

a) Para vidros duplos:

$$\rho_o(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1^2(\lambda) \rho_2(\lambda)}{1 - \rho_1(\lambda) \rho_2(\lambda)} \quad (5)$$

b) Para vidros triplos:

$$\rho_o(\lambda) = \rho_1(\lambda) + \frac{\tau_1^2(\lambda) \rho_2(\lambda) [1 - \rho_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] + \tau_1^2(\lambda) \tau_2^2(\lambda) \rho_3(\lambda)}{[1 - \rho_1(\lambda) \rho_2(\lambda)] \cdot [1 - \rho_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda) \rho_1(\lambda) \rho_3(\lambda)} \quad (6)$$

Para vidros múltiplos com mais de três componentes, são encontradas relações semelhantes às Equações (5) e (6) para calcular a $\rho_o(\lambda)$ de tais vidraças a partir das características espectrais dos componentes individuais. À medida que essas fórmulas se tornam muito complexas, elas não são dadas aqui.

Como exemplo para o cálculo de $\rho_o(\lambda)$ de um vidro composto por cinco componentes pode ser tratada da mesma forma descrita em 3.3.

3.4.2 Refletância da luz interna

A refletância da luz interna do vidro $\rho_{v,i}$ serão calculadas utilizando a seguinte fórmula:

$$\rho_{v,i} = \frac{\sum_{\lambda=380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} \rho_i(\lambda) D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=380\text{ nm}}^{780\text{ nm}} D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda} \quad (7)$$

onde $\rho_i(\lambda)$ é a refletância interna espectral de vidraças, e D_λ , $V(\lambda)$, $\Delta\lambda$ e o procedimento de integração são definidos em 3.3.

Para o vidro múltiplo, o cálculo da refletância interna espectral $\rho_i(\lambda)$ deve ser realizado utilizando os mesmos métodos dados em 3.3 para o cálculo da transmissão espectral $\tau(\lambda)$.

Para a refletância interna espectral $\rho_i(\lambda)$ em função das características espectrais dos componentes individuais da unidade, são aplicadas as seguintes fórmulas.

a) Para vidros duplos:

$$\rho_i(\lambda) = \rho_2'(\lambda) + \frac{\tau_2^2(\lambda) \rho_1'(\lambda)}{1 - \rho_1'(\lambda) \rho_2(\lambda)} \quad (8)$$

b) Para vidros triplos:

$$\rho_i(\lambda) = \rho_3'(\lambda) + \frac{\tau_3^2(\lambda) \rho_2'(\lambda) [1 - \rho_2(\lambda) \rho_1'(\lambda)] + \tau_3^2(\lambda) \tau_2^2(\lambda) \rho_1'(\lambda)}{[1 - \rho_3(\lambda) \rho_2'(\lambda)] \cdot [1 - \rho_2(\lambda) \rho_1'(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda) \rho_3(\lambda) \rho_1'(\lambda)} \quad (9)$$

Para vidros múltiplos com mais de três componentes, são encontradas relações semelhantes às Equações (8) e (9) para calcular a $\rho_i(\lambda)$ de tais vidros a partir das características espectrais dos componentes individuais. Como essas fórmulas são muito complexas, elas não são dadas aqui.

Como exemplo para o cálculo $\rho_1(\lambda)$ uma vidraça composta por cinco componentes pode ser tratada da mesma forma descrita em 3.3.

3.5 Transmissão total de energia solar (fator solar)

3.5.1 Generalidades

A transmissão total de energia solar g é a soma da transmissão direta solar τ_e o fator secundário de transferência de calor q_i para o interior (ver 3.5.3 e 3.5.6), este último resultante da transferência de calor por convecção e radiação IR de ondas longas daquela parte da radiação solar incidente que foi absorvida pelo vidro:

$$g = \tau_e + q_i \quad (10)$$

3.5.2 Divisão de fluxo de radiação solar incidente

O fluxo solar radiante incidente por unidade ϕ_e é dividido nas três partes seguintes (ver Figura 1):

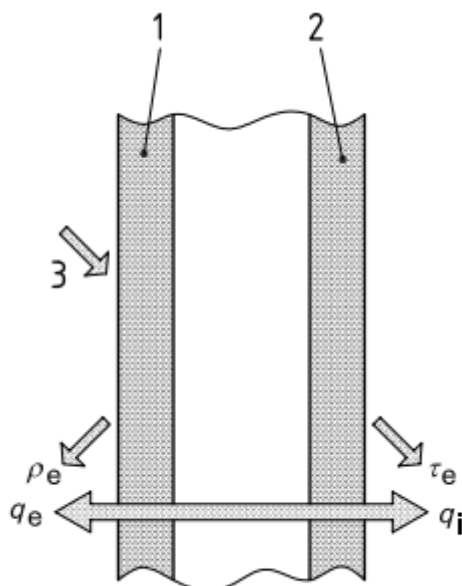
- a parte transmitida $\tau_e \phi_e$;
- a parte refletida $\rho_e \phi_e$;
- a parte absorvida $\alpha_e \phi_e$;

onde

τ_e é a transmissão direta solar (ver 3.5.3);

ρ_e é a refletância direta solar (ver 3.5.4);

α_e é a absorção direta solar (ver 3.5.5).



Legenda

1 painel externo

2 segundo painel interno

Fluxo radiante incidente de 3 unidades

$$\rho_e = 0,38; q_e = 0,17$$

$$\tau_e = 0,41; q_i = 0,04; \text{portanto } g = 0,45$$

Figura 1 — Divisão do fluxo radiante incidente para uma unidade de vidro duplo

A relação entre as três características é

$$\tau_e + \rho_e + \alpha_e = 1 \quad (11)$$

A parte absorvida $\alpha_e \phi_e$ é posteriormente dividida em duas partes $q_i \phi$ e $q_e \phi_e$, que são energia transferida para o interior e para fora, respectivamente:

$$\alpha_e = q_i + q_e \quad (12)$$

onde

q_i é o fator secundário de transferência de calor do vidro para o interior;

q_e é o fator secundário de transferência de calor do vidro para o exterior.

3.5.3 Transmissão direta solar

A transmissão direta solar τ_e dos vidros deve ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} \tau(\lambda) S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (13)$$

onde

S_{λ} é a distribuição espectral relativa da radiação solar;

$\tau(\lambda)$ é a transmissão espectral do vidro;

$\Delta\lambda$ e o procedimento de integração é o mesmo do 3.3, exceto que os pontos de dados devem ser escolhidos nos comprimentos de onda apresentados na Tabela 2.

A distribuição espectral relativa, S_{λ} , usada para calcular a transmissão direta solar τ_e é derivada da irradiação solar global dada na ISO 9845-1:1992, Tabela 1, coluna 5. Os valores correspondentes $S_{\lambda} \Delta\lambda$ são dados na Tabela 2. Esta tabela é elaborada de tal forma que $\sum S_{\lambda} \Delta\lambda = 1$.

No caso de vidros múltiplos, a transmissão espectral $\tau(\lambda)$ é calculada de acordo com 3.3.



NOTA Ao contrário de situações reais, é sempre assumido, para simplificação, que a radiação solar atinge o vidro como feixe e quase em incidência normal. No caso da incidência oblíqua de radiação, a transmissão direta solar dos vidros e a transmissão total de energia solar são um pouco reduzidas. O efeito de controle solar torna-se maior no caso da incidência oblíqua de radiação.

3.5.4 Refletância direta solar

A refletância direta solar ρ_e do vidro deve ser calculada utilizando a seguinte fórmula:

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} \rho_o(\lambda) S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (14)$$

onde

S_λ é a distribuição espectral relativa da radiação solar (ver 3.5.3);

$\rho_o(\lambda)$ é a refletância externa espectral do vidro;

$\Delta\lambda$ e o procedimento de integração é o mesmo do 3.3, exceto que os pontos de dados devem ser escolhidos nos comprimentos de onda apresentados na Tabela 2.

No caso de vidros múltiplos, a refletância externa espectral $\rho_o(\lambda)$ é calculada de acordo com 3.4.1.

3.5.5 Absortância direta solar

A absorção direta solar α_e deve ser calculada a partir da Equação (11).

3.5.6 Fator secundário de transferência de calor para o interior

3.5.6.1 Condições de limite

Para o cálculo do fator secundário de transferência de calor para o interior, q_i , são necessários os coeficientes de transferência de calor dos vidros para o exterior, h_e , e para o interior, h_i . Esses valores dependem principalmente da posição dos vidros, velocidade do vento, temperaturas internas e externas e, além disso, da temperatura das duas superfícies externas de vidraça.

Como o objetivo desta norma ISO é fornecer informações básicas sobre o desempenho dos vidros, as seguintes condições convencionais foram declaradas para a simplicidade:

- posição do vidro: vertical;
- superfície externa: velocidade do vento aproximadamente 4 m/s; emissividade corrigida 0,837;
- dentro da superfície: convecção natural; emissividade opcional;
- espaços aéreos não são ventilados.

Nessas condições convencionais, médias, valores padrão para h_e e h_i são obtidos:



$$h_e = 23 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

$$h_i = \left(3,6 + \frac{4,4\varepsilon_i}{0,837} \right) \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$$

onde ε_i é a emissividade corrigida da superfície interna [para vidro *float*, $\varepsilon_i = 0,837$ e $h_i = 8 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$].

A emissividade corrigida é definida e medida de acordo com a ISO 10292.

Se outras condições de limite forem utilizadas para atender aos requisitos especiais, elas serão indicadas no relatório de teste.

Valores para ε_i inferiores a 0,837 (devido a revestimentos superficiais com maior reflexão no infravermelho distante) só devem ser levados em conta se a condensação na superfície revestida puder ser excluída.

3.5.6.2 Vidro simples

O fator secundário de transferência de calor para o interior, q_i , de vidros simples deve ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$q_i = \alpha_e \frac{h_i}{h_e + h_i} \quad (15)$$

onde

α_e é a absorção direta solar de acordo com 3.5.2;

h_e , h_i são os coeficientes de transferência de calor para o exterior e para dentro, respectivamente, de acordo com 3.5.6.1.

3.5.6.3 Vidros duplos

O fator secundário de transferência de calor para o interior, q_i , de vidro duplo deve ser calculado utilizando a seguinte fórmula:

$$q_i = \frac{\left(\frac{\alpha_{e1} + \alpha_{e2}}{h_e} + \frac{\alpha_{e2}}{\Lambda} \right)}{\left(\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{\Lambda} \right)} \quad (16)$$

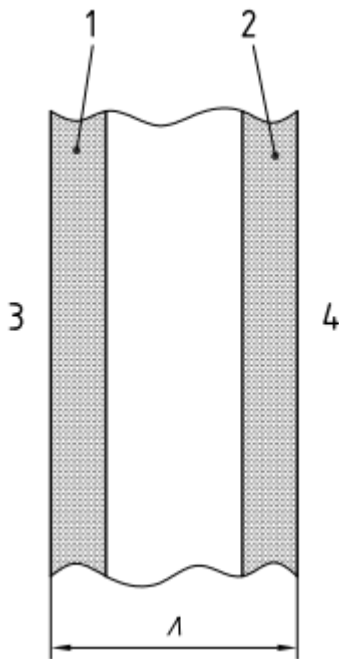
Onde

α_{e1} é a absorção direta solar do painel externo (primeiro) dentro do vidro duplo;

α_{e2} é a absorção direta solar do segundo painel dentro do vidro duplo;

Λ é a condutividade térmica entre a superfície externa e a superfície mais interna do vidro duplo (ver Figura 2), em watts por metro quadrado kelvin ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$);

h_e, h_i são os coeficientes de transferência de calor para o exterior e o interior, respectivamente, de acordo com 3.5.6.1.



Legenda

- 1 painel 1
- 2 painel 2
- 3 fora
- 4 dentro

Figura 2 — Ilustração do significado da condução térmica λ

As características α_{e1} e α_{e2} são calculadas da seguinte forma:

$$\alpha_{e1} = \frac{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} \left\{ \alpha_1(\lambda) + \frac{\alpha'_1(\lambda) \tau_1(\lambda) \rho_2(\lambda)}{1 - \rho'_1(\lambda) \rho_2(\lambda)} \right\} S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (17)$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} \left\{ \frac{\alpha_2(\lambda) \tau_1(\lambda)}{1 - \rho'_1(\lambda) \rho_2(\lambda)} \right\} S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (18)$$

onde $\tau_1(\lambda), \tau_2(\lambda), \rho_1(\lambda), \rho'_1(\lambda), \rho_2(\lambda)$ são definidos em 3.3.

α_{e1} é a absorção direta espectral do painel externo, medida na direção da radiação incidente, dada pela relação

$$\alpha_1(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho_1(\lambda) \quad (19)$$

$\alpha'_1(\lambda)$ é a absorção direta espectral do painel externo, medida na direção oposta à radiação incidente, dada pela relação

$$\alpha'_1(\lambda) = 1 - \tau_1(\lambda) - \rho'_1(\lambda) \quad (20)$$

$\alpha_2(\lambda)$ é a absorção direta espectral do segundo painel, medida na direção da radiação incidente, dada pela relação

$$\alpha_2(\lambda) = 1 - \tau_2(\lambda) - \rho_2(\lambda) \quad (21)$$

$\Delta\lambda$ e o procedimento de integração é o mesmo do 3.3, exceto que os pontos de dados devem ser escolhidos nos comprimentos de onda apresentados na Tabela 2.

A condutividade térmica Λ deve ser determinada para uma diferença de temperatura de $\Delta T = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ em toda a amostra e uma temperatura média da amostra de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ pelo método de cálculo dado na ISO 10292, ou por métodos de medição usando o método de placa quente protegido ISO 10291, ou o método de medidor de fluxo de calor ISO 10293. O procedimento recomendado é o procedimento de cálculo.

Se outra diferença de temperatura ΔT em toda a amostra e/ou outra temperatura média da amostra for usada para a determinação da condutividade térmica Λ para atender a requisitos especiais, isso será indicado no relatório de teste (ver Cláusula 4).

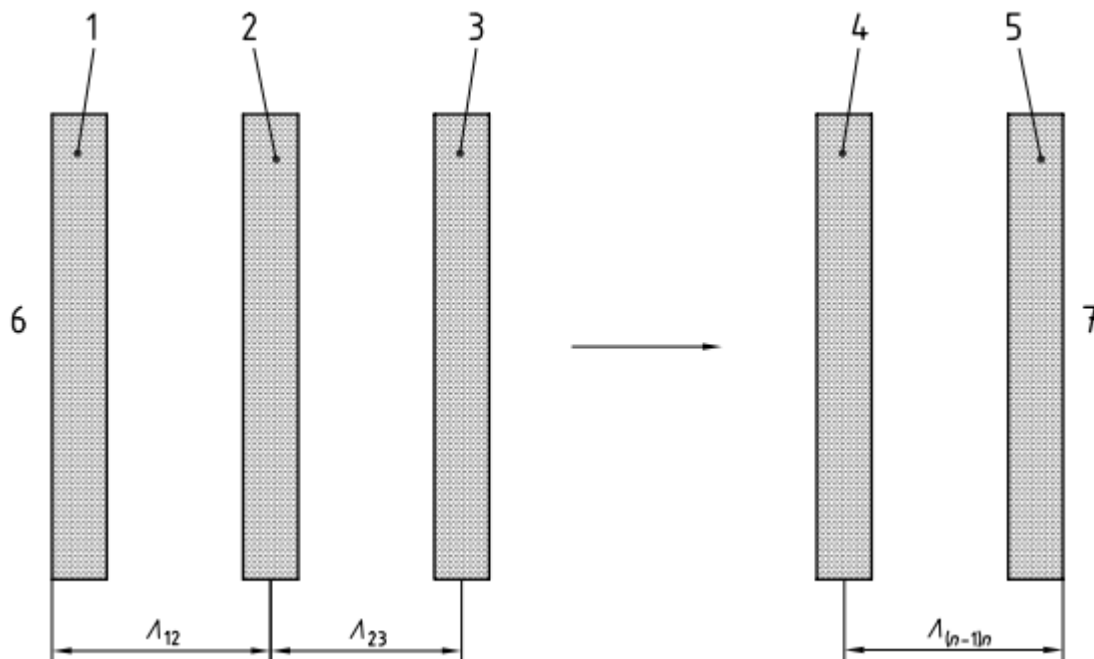
3.5.6.4 Vidros múltiplos com componentes $n > 2$

O fator secundário de transferência de calor para o interior, q_i , de um vidro múltiplo com mais de dois componentes deve ser calculado usando a seguinte fórmula:

$$q_i = \frac{\frac{\alpha_{e1} + \alpha_{e2} + \alpha_{e3} + \dots + \alpha_{en}}{h_e} + \frac{\alpha_{e2} + \alpha_{e3} + \dots + \alpha_{en}}{\Lambda_{12}} + \frac{\alpha_{e3} + \dots + \alpha_{en}}{\Lambda_{23}} + \dots + \frac{\alpha_{en}}{\Lambda_{(n-1)n}}}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{\Lambda_{12}} + \frac{1}{\Lambda_{23}} + \dots + \frac{1}{\Lambda_{(n-1)n}}} \quad (22)$$

onde

- α_{e1} é a absorção direta solar do painel externo (primeiro) dentro do vidro n -fold;
- α_{e2} é a absorção direta solar do segundo painel dentro do vidro n -fold;
- α_{en} é a absorção direta solar do painel n (interno) do vidro n -fold;
- h_e, h_i são os coeficientes de transferência de calor para o exterior e para o interior, respectivamente, de acordo com 3.5.6.1;
- Λ_{12} é a condutividade térmica entre a superfície externa do painel externo (primeiro) e o centro do segundo painel (ver Figura 3);
- Λ_{23} é a condutividade térmica entre o centro do segundo painel e o centro do terceiro painel (ver Figura 3);
- $\Lambda_{(n-1)n}$ é a condutividade térmica entre o centro do painel $(n - 1)$ e a superfície externa do painel n (interno) (ver Figura 3).



Legenda

- | | | | |
|---|------------------|---|------------|
| 1 | painel 1 | 5 | painel n |
| 2 | painel 2 | 6 | fora |
| 3 | painel 3 | 7 | dentro |
| 4 | painel $(n - 1)$ | | |

NOTA Para vidros triplos, o painel 3 corresponde ao painel n .

Figura 3 — Ilustração do significado das condutividades térmicas Λ_{12} , Λ_{23} , ..., $\Lambda_{(n-1)n}$

As condutividades térmicas Λ_{12} , Λ_{23} , ..., $\Lambda_{(n-1)n}$ serão determinadas por iteração do procedimento de cálculo de acordo com a Cláusula 7 da ISO 10292:1994.

O cálculo dos valores de absorção solar direta α_{e1} , α_{e2} , ..., α_{en} deve ser realizado utilizando os métodos dados em 3.5.6.3.

Como exemplo para o cálculo dos valores de absorção solar direta, é dado o seguinte procedimento que consiste nas seguintes $(n - 1)$ etapas para um vidro composto por n componentes.

- a) Primeiro passo: calcular as características espectrais de uma unidade composta pelos $(n - 1)$ componentes 2, 3, ..., n de acordo com o que foi prescrito em 3.3 e 3.4.1. Em seguida, misture esta unidade com o primeiro painel (externo) como um vidro duplo. α_{e1} é obtido de acordo com a Equação (17).
- b) Segundo passo: calcular as características espectrais de uma unidade composta pelos $(n - 2)$ componentes 3, ..., n e, além disso, aqueles de vidro duplo composto por painel 1 e painel 2. Essas unidades são então combinadas como um vidro duplo. A soma $\alpha_{e1} + \alpha_{e2}$ é então obtida para este vidro duplo de acordo com a Equação (17), ou seja, com o valor conhecido de α_{E1} a partir da primeira etapa, o α_{e2} é obtido. Este procedimento continua até a última etapa $(n - 1)$ etapa.

- c) $(n - 1)$ passo: combinar os $(n - 1)$ painéis 1, 2, ..., $(n - 1)$ e determinar as características espectrais desta unidade. Esta unidade é então combinada com o painel n (interno) como um vidro duplo. Da Equação (17) a soma $\alpha_{e1}, \alpha_{e2}, \dots, \alpha_{e(n-1)}$ é obtida, ou seja, com os valores conhecidos $\alpha_{e1}, \alpha_{e2}, \dots, \alpha_{e(n-2)}$ das etapas anteriores $\alpha_{e(n-1)}$ é determinado. α_{en} é obtido de acordo com a Equação (18).

No caso de vidros triplos para as absorções solares α_{e1}, α_{e2} e α_{e3} em função das características espectrais dos componentes individuais da unidade, são obtidas as seguintes fórmulas:

$$\alpha_{e1} = \frac{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} \left\{ \alpha_1(\lambda) + \frac{\tau_1(\lambda) \alpha'_1(\lambda) \rho_2(\lambda) [1 - \rho'_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] + \tau_1(\lambda) \tau_2^2(\lambda) \alpha'_1(\lambda) \rho_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda) \rho_2(\lambda)] \cdot [1 - \rho'_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda) \rho'_1(\lambda) \rho_3(\lambda)} \right\} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (23)$$

$$\alpha_{e2} = \frac{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} \left\{ \frac{\tau_1(\lambda) \alpha_2(\lambda) [1 - \rho'_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] + \tau_1(\lambda) \tau_2(\lambda) \alpha'_2(\lambda) \rho_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda) \rho_2(\lambda)] \cdot [1 - \rho'_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda) \rho'_1(\lambda) \rho_3(\lambda)} \right\} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (24)$$

$$\alpha_{e3} = \frac{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} \left\{ \frac{\tau_1(\lambda) \tau_2(\lambda) \alpha_3(\lambda)}{[1 - \rho'_1(\lambda) \rho_2(\lambda)] \cdot [1 - \rho'_2(\lambda) \rho_3(\lambda)] - \tau_2^2(\lambda) \rho'_1(\lambda) \rho_3(\lambda)} \right\} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{2500 \text{ nm}} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (25)$$

onde

$\tau_1(\lambda), \tau_2(\lambda), \tau_3(\lambda), \rho_1(\lambda), \rho'_1(\lambda), \rho_2(\lambda), \rho'_2(\lambda), \rho_3(\lambda)$ são definidos em 3.3;

$\alpha_1(\lambda), \alpha'_1(\lambda)$ e $\alpha_2(\lambda)$ são definidos em 3.5.6.3.

$\alpha'_2(\lambda)$ é a absorção direta espectral do segundo painel, medida na direção oposta à radiação incidente, dada pela relação

$$\alpha'_2(\lambda) = 1 - \tau_2(\lambda) - \rho'_2(\lambda) \quad (26)$$

$\alpha_3(\lambda)$ é a absorção direta espectral do terceiro painel, medida na direção da radiação incidente, dada pela relação

$$\alpha_3(\lambda) = 1 - \tau_3(\lambda) - \rho_3(\lambda) \quad (27)$$

$\Delta\lambda$ e o procedimento de integração é o mesmo do 3.3, exceto que os pontos de dados devem ser escolhidos nos comprimentos de onda apresentados na Tabela 2. Para um vidro com mais de três componentes, as fórmulas para as absorções solares $\alpha_{e1}, \alpha_{e2}, \dots, \alpha_{en}$ em função dos componentes individuais tornam-se muito complexos e, portanto, não são dados aqui.

3.5.7 Transmissão total de energia solar

A energia solar total transmitida para a sala por unidade de área de vidro ϕ_{ei} é dada pela relação

$$\phi_{ei} = \phi_e g \quad (28)$$

onde

ϕ_e é o fluxo de radiação solar incidente por área unitária;

g é a transmissão total de energia solar do vidro.

valores ϕ_e podem ser obtidos a partir de tabelas apropriadas na literatura meteorológica.

3.5.8 Transferência de calor adicional

Se a temperatura ambiente T_i difere da temperatura externa T_o , uma transferência de calor adicional ocorre além de ϕ_{ei} . Este fluxo de calor adicional q_z pode ser calculado da seguinte forma:

$$q_z = U(T_o - T_i) \quad (29)$$

onde U é o valor U (transmissão térmica) de vidraças, determinado de acordo com a ISO 10291, ISO 10292 ou ISO 10293.

3.6 Transmissão UV

A transmissão UV de vidro é a fração da radiação solar incidente transmitida pelos vidros na faixa de 300 nm a 380 nm (UV-B varia de 300 nm a 315 nm e UV-A de 315 nm a 380 nm). A distribuição espectral relativa, S_λ , utilizada para calcular a transmissão UV é derivada da irradiação solar global dada na ISO 9845-1:1992, Tabela 1, coluna 5; ou seja, corresponde à irradiação global especificada para o cálculo da transmissão direta solar (ver 3.5.3). A Tabela 3 fornece os valores de $S_\lambda \Delta\lambda$ para intervalos de comprimento de onda de 5 nm na faixa UV. Esta tabela foi elaborada com valores relativos de tal forma que $\sum S_\lambda \Delta\lambda = 1$ para a faixa UV total.

O UV de transmissão τ_{UV} é calculado da seguinte forma:

$$\tau_{UV} = \frac{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} \tau(\lambda) S_\lambda \Delta\lambda}{\sum_{\lambda = 300 \text{ nm}}^{380 \text{ nm}} S_\lambda \Delta\lambda} \quad (30)$$

onde

S_λ é a distribuição espectral relativa da radiação UV;

$\tau(\lambda)$ é a transmissão espectral do vidro (ver 3.3);

$\Delta\lambda$ e o procedimento de integração é o mesmo do 3.3, exceto que os pontos de dados devem ser escolhidos no comprimento de onda dado na Tabela 3.

Essa média se estende sobre a porção UV definida do espectro solar. Pode não estar correlacionado com danos à radiação solar de materiais e pele.

3.7 Fator de dano CIE

O fator de dano CIE τ_{df} (ver referência [6]) é calculado de acordo com as seguintes fórmulas:

$$\tau_{df} = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{600 \text{ nm}} \tau(\lambda) C_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{600 \text{ nm}} C_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (31)$$

$$C_{\lambda} = e^{-0,012 \lambda} \text{ (com } \lambda \text{ em nanômetros)} \quad (32)$$

Onde

S_{λ} é a distribuição espectral relativa da radiação solar;

$\tau(\lambda)$ é a transmissão espectral do vidro (ver 3.3);

$\Delta\lambda$ e o procedimento de integração é o mesmo do 3.3, exceto que os pontos de dados devem ser escolhidos nos comprimentos de onda apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 fornece os valores de $C_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$. Esta tabela foi elaborada com valores relativos de tal forma que $\sum C_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda = 1$ para a faixa de 300 nm a 600 nm.

Essa média se estende sobre o UV e parte das porções visíveis do espectro solar, o que pode contribuir para os danos causados pela radiação solar dos materiais.

3.8 Fator de dano à pele

O fator de dano da pele F_{sd} (ver referência [7]) é calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$F_{sd} = \frac{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} \tau(\lambda) E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda}{\sum_{\lambda=300 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda} \quad (33)$$

onde

S_{λ} é a distribuição espectral relativa da radiação solar;

E é o espectro de eficácia eritmica CIE;

$\tau(\lambda)$ é a transmissão espectral do vidro (ver 3.3);

$\Delta\lambda$ e o procedimento de integração é o mesmo do 3.3, exceto que os pontos de dados devem ser escolhidos nos comprimentos de onda apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 fornece os valores de $E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$. Esta tabela foi elaborada com valores relativos de tal forma que o $\sum E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda = 1$ para a faixa de 300 nm a 400 nm.



Essa média se estende sobre o UV e parte das porções visíveis do espectro solar, o que pode contribuir para o dano da radiação solar da pele.

3.9 Renderização de cores

As propriedades de renderização de cores da luz transmitida são dadas pelo índice geral de renderização de cores R_a . O R_a deve ser calculado de acordo com o método de cor de teste que foi estabelecido pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE) como o método recomendado para especificar propriedades de renderização de cores de fontes de luz, e que também pode ser usado para especificar modificações da luz do dia (ver CIE 13.3).

Para determinar o índice geral de renderização de cores de vidraças na transmissão R_a , o Iluminante D65 deve ser usado como fonte de luz de referência e a distribuição espectral relativa $D_\lambda \tau(\lambda)$ corresponde à fonte de luz cujo índice geral de renderização de cores R_a deve ser determinado.

No texto anterior:

D_λ é a distribuição de energia espectral de D65 (ver ISO/CIE 10526);

$\tau(\lambda)$ é a transmissão espectral de vidros (ver 3.3).

O D65 de referência deve ser indicado entre parênteses após a figura de classificação [por exemplo, $R_a = 90$ (D65)].

O R_a pode chegar a um valor máximo de 100. Isso será atingido para vidros cuja transmissão espectral é completamente constante na faixa espectral visível. Na técnica de iluminação, os índices gerais de renderização de cores $R_a > 90$ caracterizam um muito bom e o $R_a > 80$ uma boa renderização de cores.

4 Valores de referência

As características desta norma ISO devem ser determinadas de acordo com as especificações fixadas em 3.5.6.1. Estas representam condições de limite médio bem definidas. Desta forma, são obtidas informações básicas sobre o desempenho dos vidros e uma comparação adequada de diferentes produtos em informações técnicas pode ser alcançada.

Para atender aos requisitos locais e de produtos especiais, as características desta norma ISO também podem ser determinadas para as seguintes condições de limite:

- os valores padronizados para os coeficientes de transferência de calor para o exterior e para o interior (ver 3.5.6.1) podem ser substituídos por outros valores;
- para a determinação da condutividade térmica λ (ver 3.5.6.3 e 3.5.6.4), os valores padronizados (ou seja, uma temperatura média da amostra de 10 °C e uma diferença de temperatura $\Delta T = 15$ °C em toda a amostra) podem ser substituídos por outros valores.

Se as condições padrão especificadas prescritas em 3.5.6.1 forem variadas conforme permitido acima, o relatório de teste mencionará quais condições padrão foram alteradas e detalhará as variações.



5 Relatório de teste

O relatório de teste deve declarar o seguinte:

- os resultados das características necessárias;
- o número e espessura dos painéis no vidro;
- o tipo e a posição dos painéis (para o caso de vidros múltiplos), designados como painel externo, segundo painel, etc.;
- a posição de revestimento(s) (para o caso do vidro revestido) designando os rostos dos painéis como 1, 2, 3, etc., a partir da superfície externa do painel externo;
- o tipo de instrumento utilizado para as medidas ópticas (especificando, se utilizado, o acessório de refletância ou integrando esferas e materiais de referência para refletância);
- especificação das condições de limite se diferente dos valores padronizados (ver Cláusula 4).

O índice geral de renderização de cores R_a deve ser dado a dois números significativos; todas as outras características para duas casas decimais.

Tabela 1 — Distribuição espectral relativa normalizada $D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda$

λ nm	$D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda \times 10^2$	λ nm	$D_\lambda V(\lambda) \Delta\lambda \times 10^2$
380	0	600	5,354 2
390	0,000 5	610	4,249 1
400	0,003 0	620	3,150 2
410	0,010 3	630	2,081 2
420	0,035 2	640	1,381 0
430	0,094 8	650	0,807 0
440	0,227 4	660	0,461 2
450	0,419 2	670	0,248 5
460	0,666 3	680	0,125 5
470	0,985 0	690	0,053 6
480	1,518 9	700	0,027 6
490	2,133 6	710	0,014 6
500	3,349 1	720	0,005 7
510	5,139 3	730	0,003 5
520	7,052 3	740	0,002 1
530	8,799 0	750	0,000 8
540	9,442 7	760	0,000 1
550	9,807 7	770	0,000 0
560	9,430 6	780	0,000 0



ABNT/CB-002
PROJETO ABNT NBR 15220-2
ABRIL 2022

λ nm	$D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda \times 10^2$	λ nm	$D_{\lambda} V(\lambda) \Delta\lambda \times 10^2$
570	8,689 1		
580	7,899 4		
590	6,330 6		

Distribuição espectral relativa normalizada D_{λ} do iluminante D65 multiplicada pela eficiência luminosa espectral $V(\lambda)$ e pelo intervalo de comprimento de onda $\Delta\lambda$. Os valores desta tabela são calculados de acordo com a regra trapezoidal.

Tabela 2 — Distribuição espectral relativa normalizada da radiação solar global

λ nm	$S_{\lambda}\Delta\lambda$	λ nm	$S_{\lambda}\Delta\lambda$
300	0	680	0,012 838
305	0,000 057	690	0,011 788
310	0,000 236	700	0,012 453
315	0,000 554	710	0,012 798
320	0,000 916	720	0,010 589
325	0,001 309	730	0,011 233
330	0,001 914	740	0,012 175
335	0,002 018	750	0,012 181
340	0,002 189	760	0,009 515
345	0,002 260	770	0,010 479
350	0,002 445	780	0,011 381
355	0,002 555	790	0,011 262
360	0,002 683	800	0,028 718
365	0,003 020	850	0,048 240
370	0,003 359	900	0,040 297
375	0,003 509	950	0,021 384
380	0,003 600	1 000	0,036 097
385	0,003 529	1 050	0,034 110
390	0,003 551	1 100	0,018 861
395	0,004 294	1 150	0,013 228
400	0,007 812	1 200	0,022 551
410	0,011 638	1 250	0,023 376
420	0,011 877	1 300	0,017 756
430	0,011 347	1 350	0,003 743
440	0,013 246	1 400	0,000 741
450	0,015 343	1 450	0,003 792
460	0,016 166	1 500	0,009 693
470	0,016 178	1 550	0,013 693
480	0,016 402	1 600	0,012 203
490	0,015 794	1 650	0,010 615
500	0,015 801	1 700	0,007 256
510	0,015 973	1 750	0,007 183
520	0,015 357	1 800	0,002 157
530	0,015 867	1 850	0,000 398
540	0,015 827	1 900	0,000 082
550	0,015 844	1 950	0,001 087
560	0,015 590	2 000	0,003 024
570	0,015 256	2 050	0,003 988



ABNT/CB-002
PROJETO ABNT NBR 15220-2
ABRIL 2022

λ nm	$S_{\lambda}\Delta\lambda$	λ nm	$S_{\lambda}\Delta\lambda$
580	0,014 745	2 100	0,004 229
590	0,014 330	2 150	0,004 142
600	0,014 663	2 200	0,003 690
610	0,015 030	2 250	0,003 592
620	0,014 859	2 300	0,003 436
630	0,014 622	2 350	0,003 163
640	0,014526	2 400	0,002 233
650	0,014 445	2 450	0,001 202
660	0,014 313	2 500	0,000 475
670	0,014 023		

Distribuição espectral relativa normalizada da radiação solar global (difusa + direta) S , para massa de ar =1,5, calculada a partir dos valores apresentados na Tabela 1, coluna 5, da ISO 9845-1:1992, multiplicada pelo intervalo de comprimento de onda $\Delta\lambda$. Os valores desta tabela são calculados de acordo com a regra trapezoidal.

Tabela 3 — Distribuição espectral relativa normalizada da parte UV da radiação solar global

λ nm	$S_{\lambda}\Delta\lambda$
300	0
305	0,001 859
310	0,007 665
315	0,017 961
320	0,029 732
325	0,042 466
330	0,062 108
335	0,065 462
340	0,071 020
345	0,073 326
350	0,079 330
355	0,082 894
360	0,087 039
365	0,097 963
370	0,108 987
375	0,113 837
380	0,058 351

Distribuição espectral relativa normalizada da parte UV da radiação solar global (difusa + direta) S , para massa de ar =1,5, calculada a partir dos valores apresentados na Tabela 1, coluna 5, da ISO 9845-1:1992, multiplicada pelo intervalo de comprimento de onda $\Delta\lambda$. Os valores desta tabela são calculados de acordo com a regra trapezoidal.



ABNT/CB-002
PROJETO ABNT NBR 15220-2
ABRIL 2022

Tabela 4 — Fatores de distribuição espectral relativos normalizados para o cálculo do fator de dano CIE

λ nm	$C_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$
300	0
305	0,001 003
310	0,003 896
315	0,008 597
320	0,013 402
325	0,018 028
330	0,024 831
335	0,024 648
340	0,025 183
345	0,024 487
350	0,024 949
355	0,024 551
360	0,024 278
365	0,025 734
370	0,026 962
375	0,026 522
380	0,025 624
385	0,023 656
390	0,022 418
395	0,025 529
400	0,043 742
410	0,057 799
420	0,052 317
430	0,044 328
440	0,045 896
450	0,047 150
460	0,044 062
470	0,039 108
480	0,035 167
490	0,030 034
500	0,026 650
510	0,023 893
520	0,020 373
530	0,018 671
540	0,016 517
550	0,014 665
560	0,012 799
570	0,011 108
580	0,009 522
590	0,008 208
600	0,003 695



ABNT/CB-002
PROJETO ABNT NBR 15220-2
ABRIL 2022

Distribuição espectral relativa normalizada do UV e parte de porções visíveis de radiação solar global (difusa + direta) S , para massa de ar =1,5, calculada a partir dos valores dados na Tabela 1, coluna 5, da ISO 9845-1:1992, multiplicada pelo intervalo de comprimento de onda, e pelo fator de dano CIE $\Delta\lambda$ (ver referência [6]). Os valores na tabela são calculados de acordo com a regra trapezoidal.

Tabela 5 — Fatores de distribuição espectral relativos normalizados para o cálculo do fator de dano à pele

λ nm	$E_{\lambda} S_{\lambda} \Delta\lambda$
300	0
305	0,168 176
310	0,230 555
315	0,187 429
320	0,102 699
325	0,050 895
330	0,034 134
335	0,030 432
340	0,027 729
345	0,024 094
350	0,021 930
355	0,019 298
360	0,017 028
365	0,016 157
370	0,015 108
375	0,013 298
380	0,011 471
385	0,009 440
390	0,008 009
395	0,008 165
400	0,003 953

Distribuição espectral relativa normalizada do UV e parte de porções visíveis de radiação solar global (difusa + direta) S , para massa de ar =1,5, calculada a partir dos valores dados na Tabela 1, coluna 5, da ISO 9845-1:1992, multiplicada pelo intervalo de comprimento de onda, e pelo espectro de eficácia eritérica CIE $\Delta\lambda$ (ver referência [7]). Os valores na tabela são calculados de acordo com a regra trapezoidal.

Anexo A (normativo)

Procedimentos de cálculo

A.1 Procedimentos para o cálculo da transmissão espectral e refletância de uma placa de vidro não revestida com espessura y e de sua transmissão espectral medida para a espessura x

Se for conhecida a transmissão espectral $\tau_x(\lambda)$ de uma placa de vidro com espessura x , e também o índice refrativo do vidro, $\eta(\lambda)$ (para vidro *float* ver referência [8]), então a transmissão espectral para espessura y é calculada usando a fórmula:

$$\tau_y(\lambda) = \frac{[1 - \rho_s(\lambda)]^2 \tau_{i,y}(\lambda)}{1 - \rho_s^2(\lambda) \tau_{i,y}^2(\lambda)} \quad (\text{A.1})$$

onde

$\rho_s(\lambda)$ designa refletância na interface ar-vidro de acordo com a seguinte fórmula:

$$\rho_s(\lambda) = \left[\frac{\eta(\lambda) - 1}{\eta(\lambda) + 1} \right]^2 \quad (\text{A.2})$$

e

$\tau_{i,y}(\lambda)$ designa a transmissão interna de uma placa de vidro com uma espessura y e de acordo com a seguinte fórmula:

$$\tau_{i,y}(\lambda) = [\tau_{i,x}(\lambda)]^{y/x} \quad (\text{A.3})$$

$\tau_{i,x}(\lambda)$ designa a transmissão interna de uma placa de vidro com espessura x , determinada a partir de sua transmissão espectral medida de acordo com a seguinte fórmula:

$$\tau_{i,x}(\lambda) = \frac{[[1 - \rho_s(\lambda)]^4 + 4\rho_s^2(\lambda) \tau_x^2(\lambda)]^{1/2} - [1 - \rho_s(\lambda)]^2}{2\rho_s^2(\lambda) \tau_x(\lambda)} \quad (\text{A.4})$$

Da mesma forma, a refletância espectral é calculada para uma espessura y e de acordo com a seguinte fórmula:

$$\rho_y(\lambda) = \rho_s(\lambda) \left\{ 1 + \frac{[1 - \rho_s(\lambda)]^2 \tau_{i,y}^2(\lambda)}{1 - \rho_s^2(\lambda) \tau_{i,y}^2(\lambda)} \right\} \quad (\text{A.5})$$



EXEMPLO

Uma placa de vidro verde tem 3,0 mm de espessura. A 550 nm a transmissão espectral medida é de 0,83 e seu índice de refração é de 1,525. Calcule a transmissão do mesmo vidro para uma espessura de 5 mm.

SOLUÇÃO

$$x = 3,00$$

$$\tau_x = 0,83$$

$$\eta = 1,525$$

$$e = 5,00$$

Equação (A.2) resulta $\rho_s = 0,043\ 2$

Equação (A.4) resulta $\tau_{i,x} = 0,905\ 3$

Equação (A.3) resulta $\tau_{a\ i,y} = 0,847\ 2$

Equação (A.1) resulta $\tau_y = 0,776\ 6$, arredondada para 0,78

Equação (A.5) resulta $\rho_y = 0,071\ 7$, arredondado para 0,07

A.2 Procedimentos para o cálculo da transmissão espectral e refletância de uma placa de vidro revestida com espessura y da transmissão espectral e refletância de uma placa de um vidro diferente com espessura x em que o mesmo revestimento com a mesma espessura foi depositado

A.2.1 Nas equações relatadas abaixo, é conveniente usar os seguintes símbolos para designar as características fotométricas intrínsecas do revestimento no sistema de vidro de revestimento de ar (ver Figura A.1):

$r_1(\lambda)$ refletância espectral do revestimento para incidente leve do ar em direção ao revestimento;

$r_2(\lambda)$ refletância espectral do revestimento para incidente de luz do vidro em direção ao revestimento;

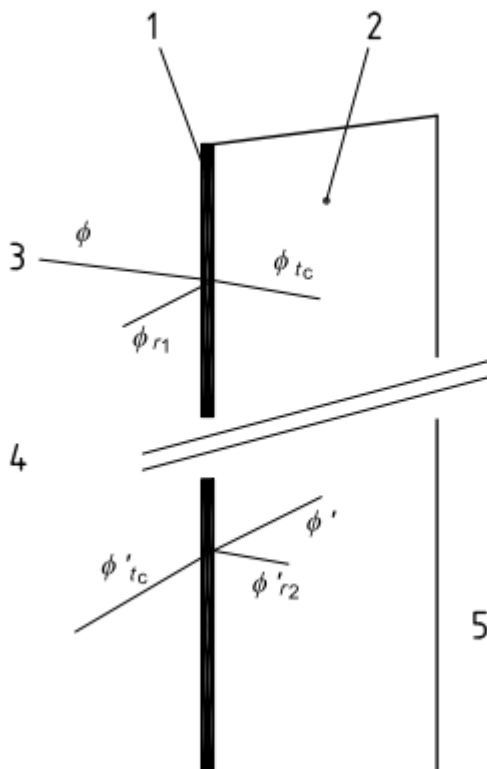
$t_c(\lambda)$ transmissão espectral do sistema: substrato de revestimento de ar.

Os valores dessas características são calculados a partir das características espectrais medidas $[\rho_s(\lambda), \tau_i(\lambda)]$ de uma amostra de vidro anteriormente caracterizado no qual o revestimento foi depositado e a partir das seguintes características medidas:

— $\rho_1(\lambda)$: refletância espectral do vidro revestido, medido na direção ar-revestimento-vidro;

— $\rho_2(\lambda)$: refletância espectral do vidro revestido, medido na direção de revestimento de vidro de ar;

— $\tau(\lambda)$: transmissão espectral do vidro revestido.



Legenda

- 1 revestimento
- 2 placa de vidro
- 3 direção de revestimento de ar
- 4 ar
- 5 direção de ar de revestimento de vidro

Figura A.1 — Ilustração do significado de r_1 , r_2 e t_c

As seguintes equações são aplicadas:

$$r_1(\lambda) = \rho_1(\lambda) - \frac{\rho_s(\lambda) \tau^2(\lambda)}{D(\lambda)} \tag{A.6}$$

$$r_2(\lambda) = \frac{\rho_2(\lambda) - \rho_s(\lambda)}{D(\lambda) \tau_1^2(\lambda)} \tag{A.7}$$

$$t_c(\lambda) = \frac{\tau(\lambda) [1 - \rho_s(\lambda)]}{D(\lambda) \tau_1(\lambda)} \tag{A.8}$$

onde

$$D(\lambda) = \rho_s(\lambda) [\rho_2(\lambda) - \rho_s(\lambda)] + [1 - \rho_s(\lambda)]^2 \quad (\text{A.9})$$

$\rho_s(\lambda)$ e $\tau_i(\lambda)$, caracterizando o vidro original, são definidos em A.1.

A.2.2 A partir dessas características intrínsecas do sistema de revestimento de ar-vidro, as características espectrais de outro vidro revestido consistindo do mesmo revestimento depositado em uma placa de um vidro diferente, assumidamente ter o mesmo índice de refração, podem ser calculadas (ver referência [8]).

As seguintes equações são válidas:

$$\rho_1(\lambda) = r_1(\lambda) + \frac{\rho_s(\lambda) t_c^2(\lambda) \tau_i^2(\lambda)}{D'(\lambda)} \quad (\text{A.10})$$

$$\rho_2(\lambda) = \rho_s(\lambda) + \frac{r_2(\lambda) [1 - \rho_s(\lambda)]^2 \tau_i^2(\lambda)}{D'(\lambda)} \quad (\text{A.11})$$

$$\tau(\lambda) = \frac{[1 - \rho_s(\lambda)] \tau_i(\lambda) t_c(\lambda)}{D'(\lambda)} \quad (\text{A.12})$$

onde

$$D'(\lambda) = 1 - \rho_s(\lambda) r_2(\lambda) \tau_i^2(\lambda) \quad (\text{A.13})$$

$\tau_i(\lambda)$ e $\rho_s(\lambda)$ são, respectivamente, a transmissão interna e a refletância ar-vidro do outro vidro revestido.

EXEMPLO

Um revestimento reflexivo é depositado em um vidro transparente de 6,00 mm de espessura. No comprimento de onda de 550 nm as características ópticas de tal vidro revestido são as seguintes:

- transmissão $\tau = 0,377$;
- refletância medida no lado revestido: $\rho = 10,345$;
- refletância medida no lado não revestido: $\rho_2 = 0,283$.

Quais são as características de um vidro revestido que consiste no mesmo revestimento depositado em um vidro verde de 4 mm de espessura?

Supõe-se que o vidro claro e o verde têm o mesmo índice de refração, ou seja, $n = 1,525$.

SOLUÇÃO

Antes de aplicar equações (A.6) a (A.9), é necessário calcular a transmissão interna, τ_i , do vidro claro de 6,00 mm de espessura.

Sabendo que o vidro transparente tem uma transmissão $\tau_x = 0,894$, para uma espessura $x = 6,00$ mm, aplicando Equações (A.2) e (A.4), os seguintes valores são obtidos:

$\tau_i = 0,9749$ para um copo claro de 6,00 mm de espessura;



Equação (A.9) resulta $D = 0,925\ 8$;

Equação (A.6) resulta $r = 10,338\ 4$;

Equação (A.7) resulta $r_2 = 0,272\ 5$;

Equação (A.8) resulta $t_c = 0,399\ 7$.

A aplicação de Equações (A.10) a (A.13) requer conhecimento da transmissão interna do vidro verde para uma espessura de 4 mm.

O exemplo descrito em A.1 leva a tal valor aplicando Equação (A.3):

$$\tau_1 = (0,905\ 3)^{4/3} = 0,875\ 8$$

Equação (A.13) resulta $D' = 0,991\ 0$;

Equação (A.10) resulta $\rho = 0,343\ 7$, arredondada para 0,34;

Equação (A.11) resulta $\rho_2 = 0,236\ 3$, arredondada para 0,24;

Equação (A.12) resulta $\tau = 0,337\ 9$, arredondada para 0,34.



Bibliografia

- [1] CIE No. 16 (E-3.2):1970, *Daylight*
- [2] CIE No. 38:1977, *Radiometric and photometric characteristics of materials and their measurements*
- [3] CIE No. 130:1998, *Practical methods for the measurement of reflectance and transmittance*
- [4] EDWARDS D.K. *Solar Energy*, **19**, 1977, pp. 401-402
- [5] RUBIN M., von ROTTKAY K. and POWLES R. Window Optics. *Solar Energy*, **62**,1998, pp. 149-161
- [6] CIE No 89/3:1990, *On the Deterioration of Exhibited Museum Objects by Optical Radiation*
- [7] MCKINLAY A.F. and DIFFEY B.L. A Reference Action Spectrum for Ultraviolet Induced Erythema in Human Skin. *CIE Journal*, **6**,1987, pp. 17-22
- [8] RUBIN M. Optical properties of soda lime silicate glasses. *Solar Energy Materials*, **12**, 1985, pp. 275-288
- [9] ISO 15099, *Thermal performance of windows, doors and shading devices — Detailed calculations*