



Desempenho térmico de janelas, portas e persianas — Cálculo da transmitância térmica — Parte 2: Método numérico para perfis

Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 2: Numerical method for frames

Prefácio nacional

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas pelas partes interessadas no tema objeto da normalização.

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 3.

A ABNT chama a atenção para que, apesar de ter sido solicitada manifestação sobre eventuais direitos de patentes durante a Consulta Nacional, estes podem ocorrer e devem ser comunicados à ABNT a qualquer momento (Lei nº 9.279, de 14 de maio de 1996).

Os Documentos Técnicos ABNT, assim como as Normas Internacionais (ISO e IEC), são voluntários e não incluem requisitos contratuais, legais ou estatutários. Os Documentos Técnicos ABNT não substituem Leis, Decretos ou Regulamentos, aos quais os usuários devem atender, tendo precedência sobre qualquer Documento Técnico ABNT.

Ressalta-se que os Documentos Técnicos ABNT podem ser objeto de citação em Regulamentos Técnicos. Nestes casos, os órgãos responsáveis pelos Regulamentos Técnicos podem determinar as datas para exigência dos requisitos de quaisquer Documentos Técnicos ABNT.

A ABNT NBR ISO 10077-2 foi elaborada no no Comitê Brasileiro da Construção Civil (ABNT/CB-002), pela Comissão de Estudo de Eficiência Energética e Desempenho Térmico nas Edificações (CE-002:135.007). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº XX, de XX.XX.XXXX a XX.XX.XXXX.

A ABNT NBR ISO 10077-2 não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, vem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data.

O Escopo em inglês da ABNT NBR ISO 10077-2 é o seguinte:

Scope

This document specifies a method and gives reference input data for the calculation of the thermal transmittance of frame profiles and of the linear thermal transmittance of their junction with glazing or opaque panels.

The method can also be used to evaluate the thermal resistance of shutter profiles and the thermal characteristics of roller shutter boxes and similar components (e.g. blinds).

This document also gives criteria for the validation of numerical methods used for the calculation.



This document does not include effects of solar radiation, heat transfer caused by air leakage or three-dimensional heat transfer such as pinpoint metallic connections. Thermal bridge effects between the frame and the building structure are not included.

NOTE Table 1 in the Introduction shows the relative position of this document within the set of EPB standards in the context of the modular structure as set out in ISO 52000-1.

Introdução

Este Documento faz parte de uma série destinada à harmonização internacional da metodologia de avaliação do desempenho energético das edificações. Essa série é denominada “conjunto de normas DEE”.

Todas as normas DEE seguem regras específicas para assegurar a consistência, a clareza e a transparência geral.

Todas as normas DEE proporcionam uma certa flexibilidade relacionada aos métodos e dados de entrada requisitados, além de referências às outras normas DEE, por meio da introdução de modelos normativos no Anexo A e de definições-padrão informativas no Anexo B.

Para o correto uso deste Documento, é fornecido um modelo normativo no Anexo A para a especificação dessas escolhas. Definições-padrão informativas são fornecidas no Anexo B.

O público-alvo deste Documento abrange arquitetos, engenheiros e reguladores.

Uso por reguladores: Caso a ISO 52000-1 seja utilizada no contexto nacional ou requisitos legais regionais, as definições obrigatórias podem ser dadas em nível nacional ou regional para aplicações específicas. Essas definições (tanto para os padrões informativos do Anexo B como para as escolhas adaptadas às necessidades nacionais/regionais, mas em qualquer caso seguindo o modelo do Anexo A) podem ser disponibilizadas como Anexo Nacional ou como documento separado (por exemplo, legal) (ficha de dados nacional).

NOTA 1 Assim, neste caso:

- os reguladores **especificarão** as definições;
- o usuário individual aplicará o documento para avaliar o desempenho energético de uma edificação e, desta forma, usar as escolhas definidas pelos reguladores.

Os assuntos abordados neste Documento podem estar sujeitos à regulamentação pública. A regulamentação pública sobre os mesmos assuntos pode substituir os valores-padrão do Anexo B. A regulamentação pública sobre os mesmos assuntos pode, inclusive, para certas aplicações, substituir o uso deste documento. Os requisitos e escolhas legais, em geral, não são publicados em normas, mas em documentos legais. A fim de evitar publicações duplas e a dificuldade de atualização de documentos duplos, um Anexo Nacional pode se referir aos textos jurídicos em que as definições nacionais tenham sido estabelecidas pelas autoridades públicas. Diferentes Anexos Nacionais ou fichas de dados nacionais são possíveis, para diferentes aplicações.

Espera-se, nos casos em que os valores padronizados, as definições e as referências às outras normas DEE do Anexo B não sejam seguidos devido às regulamentações nacionais, políticas ou tradições, que:

- as autoridades nacionais ou regionais elaborem fichas de dados contendo as opções e os valores nacionais ou regionais, de acordo com o modelo do Anexo A. Neste caso, um Anexo Nacional (por exemplo, N-A) é recomendado, contendo a referência a estas fichas de dados;
- por padrão, o órgão de normalização nacional considere a possibilidade de adicionar ou incluir um Anexo Nacional de acordo com o modelo do Anexo A, de acordo com os documentos legais que estabeleçam as opções e os valores nacionais e regionais.

Outros grupos de interesse são as partes que promovem hipóteses mediante a classificação de



desempenho energético de edificações para um estoque de edificações existentes.

Mais informações são fornecidas no Relatório Técnico (ISO/TR 52022-2), que acompanha este documento.

A estrutura para o DEE global inclui:

- a) termos, definições e símbolos comuns;
- b) limites de edificação e avaliação;
- c) particionamento da edificação em categorias espaciais;
- d) metodologia de cálculo da DEE (equações de energia utilizada, entregue, produzida e/ou exportada no local e nas proximidades);
- e) um conjunto de relações gerais de equações e dados de entrada e saída, vinculando os diversos elementos relevantes para a avaliação de DEE global;
- f) requisitos gerais para DEE que tratam de cálculos parciais;
- g) regras para a combinação de diferentes espaços em zonas;
- h) indicadores de desempenho;
- i) metodologia para avaliação de desempenho energético medido.

A ABNT NBR ISO 10077 consiste em duas partes. Este Documento destina-se a fornecer valores calculados das características térmicas dos perfis de esquadrias, adequados para uso como dados de entrada no método de cálculo da transmitância térmica de janelas, portas e persianas fornecido na ABNT NBR ISO 10077-1. É uma alternativa ao método de ensaio de caixa quente especificado na EN 12412-2. Em alguns casos, o método da caixa quente pode ser preferido, especialmente se os dados físicos e geométricos não estiverem disponíveis ou se o perfil tiver forma geométrica complexa.

Embora o método neste Documento se aplique basicamente aos perfis de esquadrias verticais, é uma aproximação aceitável para perfis horizontais (por exemplo, seções de peitoril e topo de uma janela) e para produtos usados em posições inclinadas (por exemplo, claraboias). Para os cálculos feitos com a peça de vidro na esquadria, o padrão de fluxo de calor e o campo de temperatura dentro do perfil são subprodutos úteis deste cálculo.

A série ABNT NBR ISO 10077 não abrange fachadas envidraçadas do tipo cortina, que são tratadas na ISO 12631.

A Tabela 1 mostra a posição relativa deste Documento dentro do conjunto de padrões EPB no contexto da estrutura modular, conforme estabelecido na ISO 52000-1.

NOTA 2 No ISO/TR 52000-2, a mesma tabela pode ser encontrada, com, para cada módulo, os números das normas pertinentes da EPB e os relatórios técnicos que estão publicados ou em preparação.

NOTA 3 Os módulos representam as normas DEE, embora uma norma DEE possa abranger mais de um módulo e um módulo possa ser tratado em mais de uma norma DEE, por exemplo, um método simplificado e detalhado, respectivamente.



Tabela 1 — Relação deste Documento (no caso M2-5) com a estrutura modular do conjunto de normas DEE

Submódulo	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas técnicos da edificação										
	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação	Umidificação	Desumidificação	Água quente	Iluminação	Automação e controle predial	Fotovoltaico, eólica, ...	
sub1		M1		M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	
1	Geral		Geral		Geral										
2	Termos e definições comuns; símbolos, unidades e subscritos		Demanda energética da edificação		Demanda								a		
3	Aplicações		(Livre) Condições internas sem sistemas		Carga máxima e potência										
4	Formas de expressar o desempenho energético		Formas de expressar o desempenho energético		Formas de expressar o desempenho energético										
5	Categorias e limites da edificação		Transferência térmica por transmissão	ABNT NBR ISO 10077-2	Insuflação e controle										
6	Ocupação do edifício e condições de operação		Transferência térmica por infiltração e ventilação		Distribuição e controle										
7	Agrupamento de serviços de energia e operadoras de energia		Ganhos de calor interno		Armazenamento e controle										
8	Zoneamento da edificação		Ganhos de calor solar		Geração e controle										
9	Desempenho energético calculado		Dinâmicas da edificação (massa térmica)		Despacho de carga e condições de operação										
10	Desempenho energético medido		Desempenho energético medido		Desempenho energético medido										
11	Inspeção		Inspeção		Inspeção										



Submódulo	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas técnicos da edificação									
	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Arrefecimento	Ventilação	Umidificação	Desumidificação	Água quente	Iluminação	Automação e controle predial	Fotovoltaico, eólica, ...
sub1		M1		M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
12	Formas de expressar conforto térmico no ambiente interno				BMS (Automação)									
13	Condições ambientais externas													
14	Cálculo de economia													

^a Os módulos sombreados não são aplicáveis.

Desempenho térmico de janelas, portas e persianas — Cálculo da transmitância térmica — Parte 2: Método numérico para perfis

1 Escopo

Este Documento especifica um método e fornece dados de entrada de referência para o cálculo da transmitância térmica de perfis de esquadrias e da transmitância térmica linear de sua junção com vidros ou painéis opacos.

O método também pode ser usado para avaliar a resistência térmica dos perfis de persianas externas de enrolar e as características térmicas das caixas que recebem o rolo formado pela persiana e componentes similares (por exemplo, venezianas).

Este Documento também fornece critérios para a validação dos métodos numéricos utilizados para o cálculo.

Este Documento não inclui efeitos da radiação solar, transferência de calor causada por infiltração de ar ou transferência de calor tridimensional, como conexões metálicas. Os efeitos de ponte térmica entre o perfil da esquadria e a estrutura do edifício não estão incluídos.

NOTA A Tabela 1, na Introdução, mostra a posição relativa deste Documento dentro no conjunto de normas DEE no contexto da estrutura modular, conforme estabelecido na ISO 52000-1

2 Referências normativas

Os seguintes documentos são referidos em texto de forma que parte ou todo o seu conteúdo constitua requisitos deste documento. Para referências datadas, apenas a edição citada se aplica. Para referências não datadas, aplica-se a última edição do documento referenciado (incluindo quaisquer alterações).

ISO 7345, *Thermal performance of buildings and building components — Physical quantities and definitions*

ABNT NBR ISO 10211, *Pontes térmicas na construção civil - Fluxos de calor e temperaturas superficiais - Cálculo detalhado*

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

ISO 10456:2007, *Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*

ISO 12567-2:2005, *Thermal performance of windows and doors — Determination of thermal transmittance by hot box method — Part 2: Roof windows and other projecting windows*

ABNT NBR ISO 17025, *Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*

ISO 52000-1, *Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures*

EN 673, *Glass in building — Calculation of thermal transmittance (U-value) — Calculation Method*



EN 12519, *Windows and pedestrian doors — Terminology*

NOTA BRASILEIRA ABNT NBR 15930-2, *Portas de madeira para edificações – Parte 2: Requisitos*

NOTA Por padrão, as referências às normas DEE diferentes da ISO 52000-1 são identificadas pelo código do módulo DEE e apresentadas no Anexo A (modelo normativo na Tabela A.1) e no Anexo B (modelo informativo na Tabela B.1).

EXEMPLO Código do módulo DEE: M5-5, ou M5-5,1 (caso o módulo M5-5 seja subdividido), ou M5-5/1 (caso este se refira a uma seção específica da norma que abrange o módulo M5-5).

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições das ISO 7345, EN 12519 e ISO 52000-1, e o seguinte.

A ISO e a IEC mantêm bases de dados terminológicas para uso em normalização nos seguintes endereços:

- IEC Electropedia: disponível em <http://www.electropedia.org/>
- Plataforma de navegação ONLINE ISO: disponível em <http://www.iso.org/obp>

3.1

norma DEE

norma que cumpre os requisitos determinados pelas ISO 52000-1, CEN/TS 16628[10] e CEN/TS 16629[11]

Nota 1 de entrada: Estes três documentos básicos do DEE foram desenvolvidos sob um mandato conferido ao CEN pela Comissão Europeia e Associação Europeia de Livre Comércio (Mandato M/480) e apoiam os requisitos essenciais da Diretiva EU 2010/31/EU sobre o desempenho energético de edificações (DEE). Várias normas DEE e documentos relacionados são desenvolvidos ou revisados sob o mesmo mandato.

[FONTE: ISO 52000-1:2017, definição 3.5.14]

NOTA BRASILEIRA O termo “desempenho energético de edificações (DEE)” é conhecido em inglês como *energy performance of buildings* (EPB).

4 Símbolos e subscritos

4.1 Símbolos

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os símbolos da ISO 52000-1 e os seguintes.

Símbolo	Nome da quantidade	Unidade
<i>A</i>	área	m ²
<i>b</i>	largura, ou seja, perpendicular à direção do fluxo de calor	m
<i>d</i>	profundidade, ou seja, paralelo à direção do fluxo de calor	m
<i>C</i>	constante na Equação para o número de Nusselt	W/(m ² ·K ^{4/3})

Símbolo	Nome da quantidade	Unidade
E	emitância intersuperficial	—
F	fator de forma	—
h	coeficiente de transferência de calor	W/(m ² ·K)
L^{2D}	condutância térmica bidimensional ou coeficiente de acoplamento térmico	W/(m·K)
l	comprimento	m
Nu	número de Nusselt	—
q	densidade da taxa de fluxo de calor	W/m ²
R	resistência térmica	m ² ·K/W
r	distância	m
T	temperatura termodinâmica	K
U	transmitância térmica	W/(m ² ·K)
σ	constante de Stefan-Boltzmann	W/(m ² ·K ⁴)
ε	emissividade	—
λ	condutividade térmica	W/(m·K)
Ψ	transmitância térmica linear	W/(m·K)
Θ	temperatura	°C

4.2 Subscritos

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os subscritos da ISO 52000-1 e os seguintes.

Subscrito	Descrição
c	convectivo (superfície a superfície)
e	externo (ao ar livre)
g	vidro
eq	equivalente
f	perfil
fr	perfil adjacente à caixa de persiana de enrolar
i	interno (interior)
rb	radiação de corpo negro
m	média
p	painel
r	radiante
s	espaço (espaço de ar ou gás)
sb	caixa de persiana de enrolar



se	superfície externa
si	superfície interna

5 Método de cálculo

5.1 Dados de saída

Os possíveis dados de saída deste Documento são os seguintes:

- transmitância térmica de um perfil de esquadria, U_i ;
- transmitância térmica de uma caixa de persiana de enrolar, U_{sb} ;
- transmitância térmica linear de uma junção de um perfil de esquadria com um painel de vidro, Ψ_g ou opaco, Ψ_p .

5.2 Princípio geral

O cálculo é realizado utilizando-se um método numérico bidimensional em conformidade com ABNT NBR ISO 10211. Os elementos devem ser divididos de forma que qualquer outra divisão não altere significativamente o resultado calculado. A ABNT NBR ISO 10211 fornece critérios para julgar se foram utilizadas subdivisões suficientes.

Duas abordagens diferentes para o cálculo da transferência de calor através de cavidades são dadas:

- método de radiosidade;
- método de condutividade térmica equivalente único.

O método de radiosidade considera que a transferência de calor através de uma cavidade de ar ocorre simultaneamente por condução/convecção e por radiação. Os dois fenômenos estão acontecendo em paralelo, para que o cálculo de cada contribuição seja feito separadamente.

Ao ser utilizado o método de condutividade térmica equivalente único, a taxa de fluxo de calor nas cavidades é representada por uma única condutividade térmica equivalente, λ_{eq} . Essa condutividade térmica equivalente inclui o fluxo de calor por condução, por convecção e por radiação, e depende da geometria da cavidade e dos materiais adjacentes.

NOTA O método de condutividade térmica equivalente único é igual ao método de cálculo dado na ISO 10077-2:2012.

Para os efeitos de atribuição de valores de condutividade térmica equivalentes (ver 6.4.2.3.2 e 6.4.3.4.2), para os cálculos deste Documento, é assumida a orientação vertical das seções de perfis e cavidades de ar. Isso se aplica independentemente da orientação pretendida da janela real, incluindo janelas horizontais ou inclinadas, como em coberturas.

Ao longo deste Documento, quando indicado no texto, a Tabela C.1 deve ser utilizada para identificar referências regionais alternativas em consonância com a Política de Relevância Global da ISO.

5.3 Validação dos programas de cálculo

Para garantir a adequação do programa de cálculo utilizado, os cálculos devem ser realizados nos

exemplos descritos nos Anexos G e H (utilizando o método de radiosidade) ou no Anexo I (utilizando a condutividade térmica equivalente única).

Os requisitos para todos os casos de validação nos Anexos G e H ou no Anexo I devem ser cumpridos.

A condutividade térmica bidimensional calculada L^{2D} para os casos no Anexo H ou Anexo I não pode diferir dos valores correspondentes dados nas Tabelas H.3 e H.4 ou nas Tabelas I.3 e I.4 por mais de $\pm 3\%$. Isso leva a uma precisão da transmitância térmica, U , e da transmitância térmica linear, Ψ , de cerca de 5% .

6 Cálculo da transmitância térmica

6.1 Dados de saída

Os dados de saída deste Documento são coeficientes de transmitância térmica, conforme mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 — Dados de saída

Descrição	Símbolo	Unidade	Módulo de destino	Intervalo de validade	Valor variável
Transmitância térmica do perfil da esquadria	U_f	$W/(m^2 K)$	M2-5	$>0... 20$	Não
Transmitância térmica da caixa da persiana de enrolar	U_{sb}	$W/(m^2 K)$	M2-5	$>0... 20$	Não
Transmitância térmica linear	Ψ	$W/(m K)$	M2-5	$-20... 20$	Não

6.2 Intervalos de tempo de cálculo

Os cálculos descritos neste Documento são de regime permanente e não possuem intervalos de tempo.

6.3 Dados de entrada

6.3.1 Características geométricas

A Tabela 3 apresenta as características geométricas necessárias.

Tabela 3 — Identificadores para características geométricas

Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo	Origem	Valor variável
Dados geométricos					
Seção transversal do perfil da esquadria				Fabricante	Não
Seção transversal da caixa da persiana de enrolar				Fabricante	Não
Seção transversal da junção do perfil e vidro				Fabricante	Não

Seção transversal da junção do perfil e painel				Fabricante	Não
--	--	--	--	------------	-----

Para esquadrias com extensões especiais se sobrepondo à parede ou outros elementos de construção, como perfis em forma de Z, as extensões devem ser desconsideradas, como mostrado na Figura 1. Isso se aplica a todos os perfis com extensões especiais (por exemplo, em forma de H) em que as extensões se sobrepõem à parede ou outros elementos de construção. Outros limites devem ser tratados conforme determinado na Figura 4.

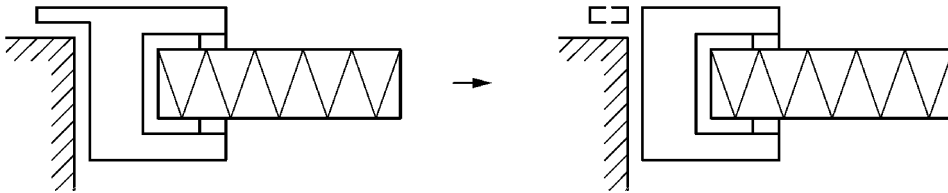


Figura 1 — Tratamento de perfis com extensões (forma de Z)

NOTA 1 Esta aproximação é para avaliação da transmitância térmica. Não é apropriada para a avaliação do risco de condensação.

NOTA 2 A extensão do perfil da esquadria é desconsiderada no cálculo da transmitância térmica da janela; ver ABNT NBR ISO 10077-1.

6.3.2 Valores de condutividade térmica

Para os efeitos deste Documento, os valores de condutividade térmica utilizados para materiais sólidos devem ser obtidos de acordo com um dos seguintes:

- Tabela D.1;
- valores tabulados dados na ISO 10456;
- normas de produtos;
- aprovações técnicas por um organismo nacional reconhecido;
- medições de acordo com uma Norma Internacional apropriada.

As medições só devem ser utilizadas se não houver dados ou se estes forem tabulados de acordo com as normas relevantes do produto ou uma aprovação técnica. As medições devem ser realizadas a uma temperatura média de 10 °C, utilizando o método apropriado por um instituto credenciado (conforme especificado na ABNT NBR ISO/IEC 17025) para realizar essas medidas, em amostras que foram condicionadas a 23 °C e a 50 % de umidade relativa (RH) para massa constante (variação de massa não superior a 0,1 %, acima de 24 h). Para garantir que os valores de condutividade térmica sejam representativos do material (ou seja, que o valor incorpore a variabilidade provável do material e a incerteza de medição), um dos seguintes métodos deve ser utilizado para a obtenção do valor de condutividade térmica a partir de dados medidos utilizados nos cálculos:

- a condutividade térmica é o valor declarado obtido a partir dos dados medidos (ao menos três amostras diferentes de diferentes lotes representando a variação usual do produto, com o envelhecimento levado em consideração), de acordo com uma avaliação estatística estabelecida na ISO 10456:2007, Anexo C, intervalo de confiança de 90 %;
- se houver menos de três amostras, usar o valor médio multiplicado por um fator de 1,25.

6.3.3 Emissividade das superfícies

As superfícies que limitam uma cavidade de ar terão uma emissividade de 0,9. Valores inferiores a 0,9 só podem ser utilizados se forem retirados da Tabela D.3 ou medidos de acordo com uma norma adequada por um instituto acreditado (conforme especificado na ABNT NBR ISO/IEC 17025) para realizar essas medidas. Quando baseados em valores medidos, haverá ao menos três amostras, e os resultados serão avaliados de acordo com o tratamento estatístico da ABNT NBR ISO 10456.

NOTA Superfícies metálicas como estrutura de liga de alumínio, reforço de aço e outros metais/ligas têm menor emissividade. Valores típicos da emissividade para superfícies metálicas são dados na Tabela D.3.

6.3.4 Limites gerais

As resistências superficiais externas e internas dependem da transferência de calor convectiva e radiativa para os ambientes externos e internos. Se uma superfície externa não estiver exposta às condições normais de vento, a parte convectiva pode ser reduzida em bordas ou junções entre duas superfícies. As resistências superficiais para fluxo de calor horizontal são dadas no Anexo E. Esses valores devem ser utilizados para os cálculos deste Documento, independentemente da orientação pretendida da janela real, incluindo janelas do horizontais ou inclinadas, como em coberturas. A condensação superficial deve ser avaliada com base na menor temperatura interna da superfície, calculada utilizando as resistências superficiais do Anexo E.

O plano de corte do enchimento e o plano de corte para material vizinho devem ser considerados adiabáticos (ver Figura 4 e Anexo H).

As condições de temperatura de referência internas devem ser de 20 °C e externas de 0 °C.

6.3.5 Condições de contorno para caixas de persianas de enrolar

O cálculo da transmitância térmica de uma caixa de persiana de enrolar deve ser feito com as seguintes condições de contorno:

- a parte superior da caixa da persiana de enrolar: adiabática;
- a parte inferior da caixa da persiana de enrolar, onde se junta ao perfil da esquadria: adiabática para uma distância de 60 mm;
- superfícies adjacentes ao ambiente interno: resistência superficial de 0,13 m² K/W;
- superfícies adjacentes ao ambiente externo: resistência superficial de 0,04 m² K/W.

A cavidade dentro da caixa da persiana de enrolar deve ser tratada como (ver Figura 2):

- se $e_1 + e_3 \leq 2$ mm: não ventilada; a condutividade térmica equivalente de uma cavidade de ar não ventilada é calculada de acordo com 6.4.2.3;

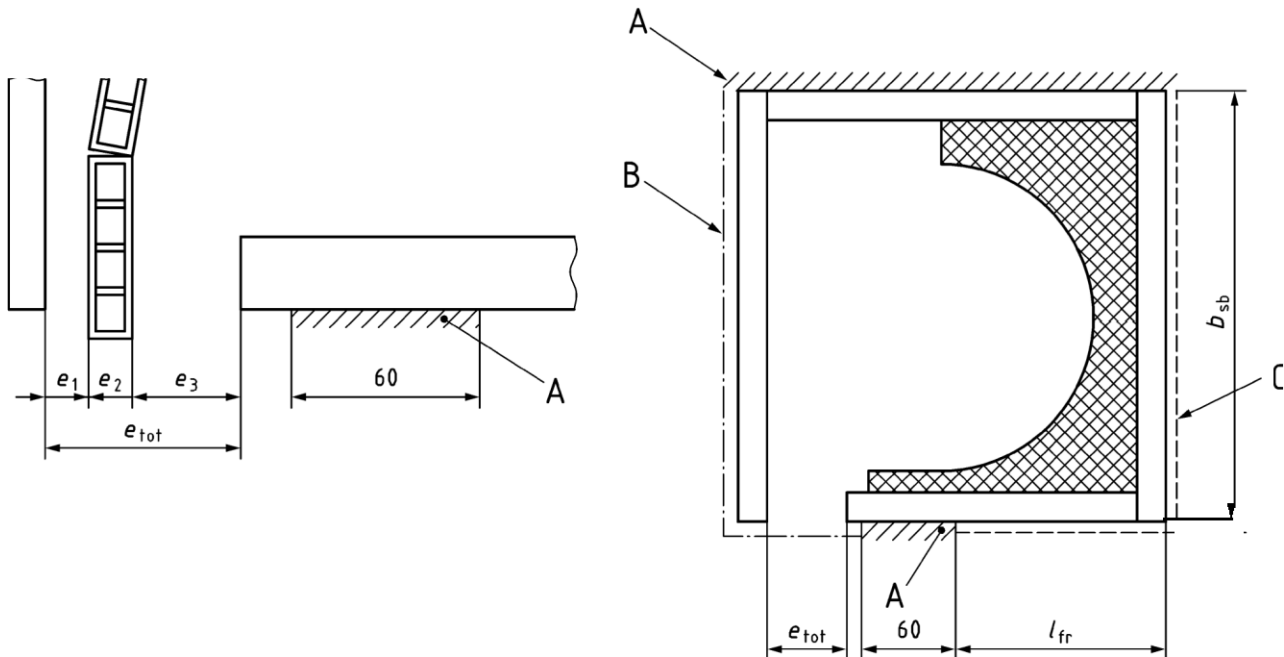
NOTA Componentes adicionais, como escovas, vedações etc., podem ser considerados para a determinação do e_1 e e_3 .

- se $e_{tot} \leq 35$ mm: levemente ventilado; adotando a temperatura do ar dentro da cavidade igual à temperatura externa do ar, mas com uma resistência superficial de 0,30 m² K/W;
- se $e_{tot} > 35$ mm: bem ventilado; adotando a temperatura do ar dentro da cavidade igual à temperatura externa do ar, mas com uma resistência superficial de 0,13 m² K/W.

A altura relevante da caixa da persiana de enrolar, b_{sb} , utilizada para o cálculo é a distância projetada entre os limites adiabáticos superior e inferior (ver Figura 2).

A avaliação pode ser feita com isolamento nos limites B e C, indicados na Figura 2. Se esse for o caso, a espessura e a condutividade térmica do isolamento devem ser indicadas no relatório de cálculo.

Dimensões em milímetros



Legenda

Limites (ver Anexo E):

A	limite adiabático	b_{sb}	altura da caixa da persiana de enrolar
B	resistência superficial externa	e_1, e_3	larguras das aberturas de ar em ambos os lados da persiana onde ela sai da caixa
C	resistência superficial interna	e_2	espessura da persiana
		e_{tot}	$e_1 + e_2 + e_3$
		l_{fr}	posição do perfil

NOTA O perfil da janela (limite A) tem 60 mm de largura, mas localizado em relação à caixa da persiana, de acordo com a situação real.

Figura 2 — Exemplo esquemático para o tratamento dos limites das caixas de persiana de enrolar

6.4 Procedimentos de cálculo

6.4.1 Determinação da transmitância térmica

A transmitância térmica de uma seção de perfil deve ser determinada com o vidro substituído por um painel isolante de acordo com o Anexo F, com as resistências superficiais externas e internas retiradas do Anexo E. A transmitância térmica linear da interação de perfis e vidros deve ser determinada a partir de cálculos com os vidros no lugar e com os vidros substituídos por um painel isolante.

NOTA 1 A interação do perfil e da estrutura do edifício é considerada separadamente para o edifício como um todo. Não faz parte da transmitância térmica da seção do perfil.

NOTA 2 Em caso de sobreposição entre a seção do perfil e parte da parede, a transmitância térmica linear pode ser negativa.

6.4.2 Tratamento de cavidades usando o método de radiosidade

6.4.2.1 Generalidades

A transferência de calor por uma cavidade de ar ocorre simultaneamente por convecção e radiação. Os dois fenômenos estão acontecendo em paralelo, para que o cálculo de cada contribuição possa ser feito separadamente.

O cálculo da transferência de calor convectivo é realizado utilizando-se uma condutividade térmica equivalente e seguindo as regras de 6.4.2.3.2. Como a equação para a condutividade térmica equivalente aplica-se às cavidades retangulares com o fluxo de calor convectivo paralelo à profundidade da cavidade apenas, cavidades não retangulares ou cavidades retangulares com o fluxo de calor convectivo não paralelo à profundidade da cavidade devem ser primeiro transformadas em cavidades retangulares equivalentes, corretamente orientadas em relação à direção do fluxo de calor convectivo.

O cálculo da transferência de calor por radiação é realizado para a geometria real das cavidades (após a aplicação da regra de subdivisão para cavidades interconectadas, ver 6.4.2.3.1), utilizando um método de radiosidade baseado em fatores de forma, conforme 6.4.2.3.3.

Ambos os cálculos de transferência de calor convectivo e por radiação dependem da temperatura em si (cálculos não lineares). Por isso, um procedimento de cálculo iterativo do fluxo de calor deve ser adotado.

A Figura 3 mostra o fluxograma geral da metodologia.

NOTA 1 Em contraste com outras normas e com 6.4.3, a condutividade térmica equivalente inclui apenas o efeito da transferência de calor convectiva (a transferência de calor por radiação é considerada separadamente).

NOTA 2 Os termos "transferência de calor convectivo" e "fluxo de calor convectivo" são usados para representar a transferência de calor por condução e convecção.

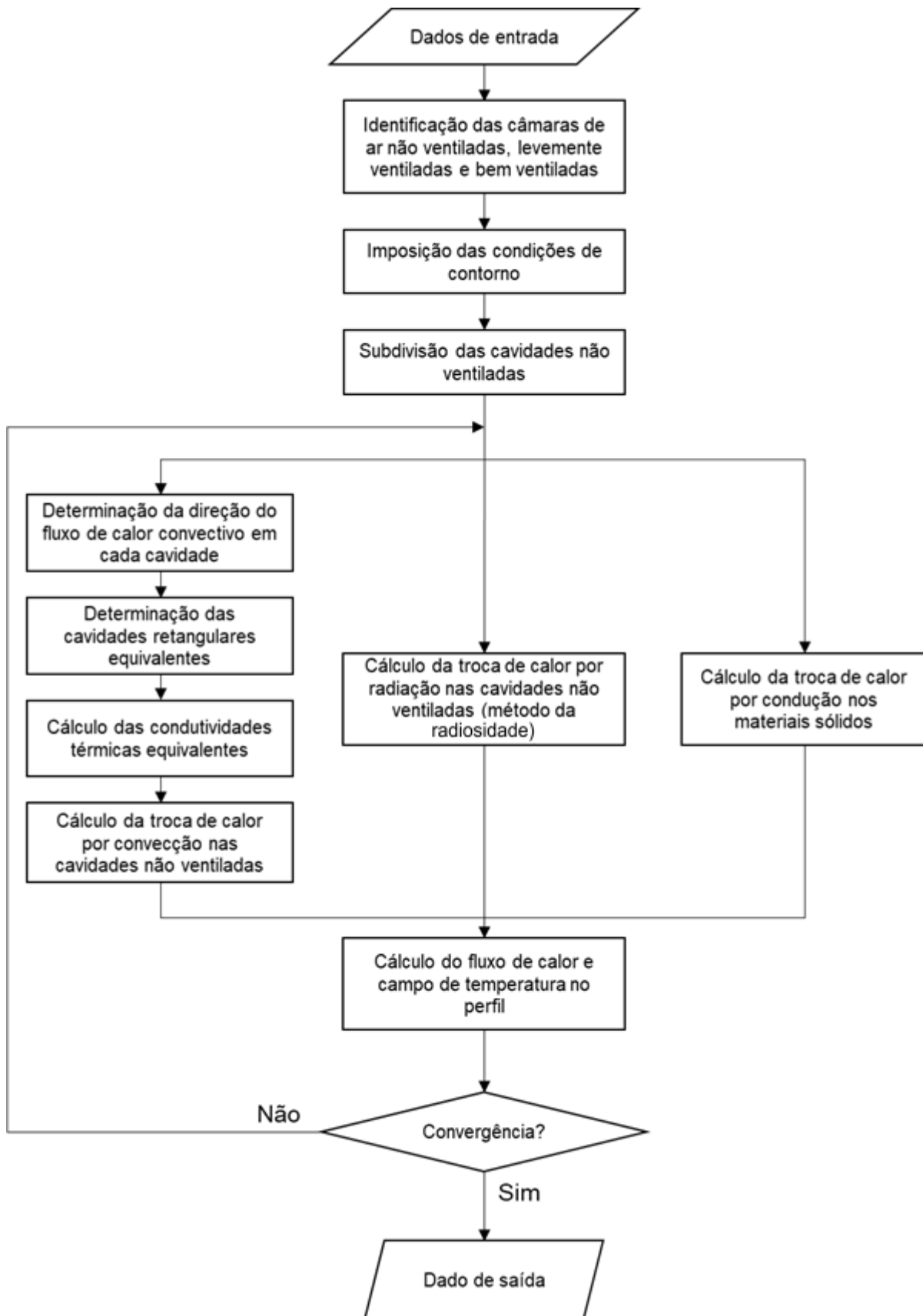


Figura 3 — Fluxograma do método de cálculo

6.4.2.2 Cavidades em vidros

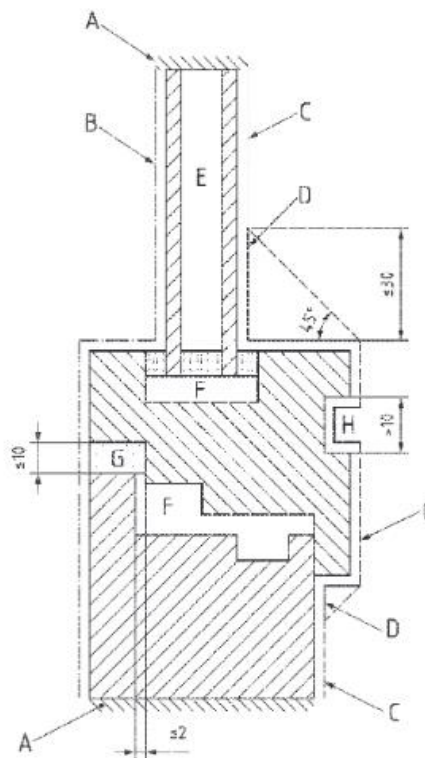
A condutividade térmica equivalente de um espaço não ventilado entre os painéis de vidro em esquadrias deve ser determinada de acordo com a ISO 10292 (ou ver o Item 1 na Tabela C.1). A condutividade equivalente resultante deve ser utilizada em toda a cavidade, até a borda.

6.4.2.3 Cavidades de ar não ventiladas em perfis e caixas de persiana de enrolar

6.4.2.3.1 Definição

As cavidades de ar são consideradas não ventiladas se estiverem completamente fechadas ou conectadas ao exterior ou ao interior por uma abertura com largura não superior a 2 mm (ver Figuras 4 e 5); isso se aplica independentemente da orientação da cavidade em relação à direção do fluxo de calor. Caso contrário, a cavidade deve ser tratada como ventilada ou levemente ventilada (ver 6.4.2.4).

Dimensões em milímetros



Legenda

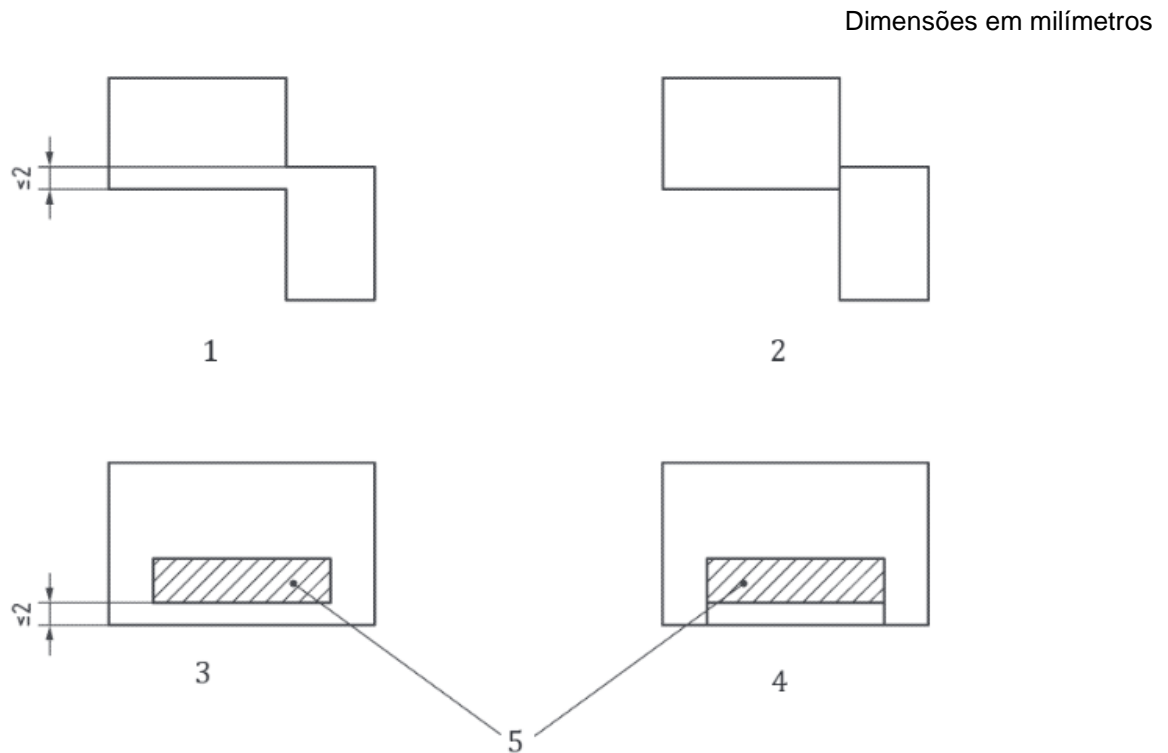
Limites (ver Anexo E):

A	limite adiabático	E	vidro (ver 6.4.2.2)
B	resistência superficial externa	F	cavidade não ventilada (ver 6.4.2.3)
C	resistência superficial interna	G	cavidade ou ranhura ligeiramente ventilada (ver 6.4.2.4.1)
D	resistência superficial ampliada	H	cavidade ou ranhura bem ventilada (ver 6.4.2.4.2)

Figura 4 — Exemplo esquemático para o tratamento de limites e cavidades e ranhuras de uma seção de perfil

NOTA A Figura 4 ilustra uma janela. Os mesmos princípios são aplicáveis às janelas de cobertura, mas a parte adiabática do limite é diferente: um exemplo de janela de cobertura é mostrado na Figura H.6.

As cavidades com uma dimensão não superior a 2,0 mm ou cavidades com interconexão não superior a 2,0 mm devem ser consideradas separadas; ver Figura 5.



Legenda

- 1 cavidades conectadas por uma seção menor ou igual a 2 mm
- 2 cavidades em 1 tratadas como cavidades separadas
- 3 cavidade pequena com largura menor ou igual a 2,0 mm
- 4 cavidades em 3 tratadas como cavidades separadas
- 5 material sólido

Figura 5 — Divisão da cavidade

6.4.2.3.2 Transferência de calor por convecção em cavidades de ar não ventiladas

Para calcular a transferência de calor convectivo em uma cavidade, é utilizada uma condutividade térmica equivalente. Seu valor é dado pela Equação (1):

$$\lambda_{eq} = \lambda_{air} \cdot Nu \tag{1}$$

onde

λ_{air} é a condutividade térmica do ar = 0,025 W/(m·K);

Nu é o número de *Nusselt*.

O número de *Nusselt* é calculado da seguinte forma:

se $b < 5$ mm: $Nu = 1$

caso contrário

$$Nu = \max \left[1, \frac{dC\Delta T^{1/3}}{\lambda_{\text{air}}} \right] \quad (2)$$

onde

b é a largura da cavidade retangular equivalente perpendicular à direção do fluxo de calor, expressa em metros (m) (ver também Figura 6);

d é a profundidade da cavidade retangular equivalente na direção do fluxo de calor, expressa em metros (m) (ver também Figura 6);

C é uma constante igual a $0,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^{4/3})$;

ΔT é a diferença máxima de temperatura da superfície na cavidade real, expressa em Kelvins (K).

Como ΔT é inicialmente desconhecido, o cálculo da transferência de calor convectiva é iterativo. Uma diferença de temperatura de 10 K pode ser considerada para a primeira iteração.

Para calcular a transferência de calor convectivo em cavidades não retangulares ou em cavidades retangulares com o fluxo de calor convectivo não paralelo à profundidade da cavidade, essas cavidades são primeiramente transformadas em cavidades retangulares equivalentes.

As cavidades de ar são transformadas em cavidades de ar retangulares equivalentes com a mesma área ($A = A'$) e proporção ($d/b = d'/b'$), ver Figura 6.

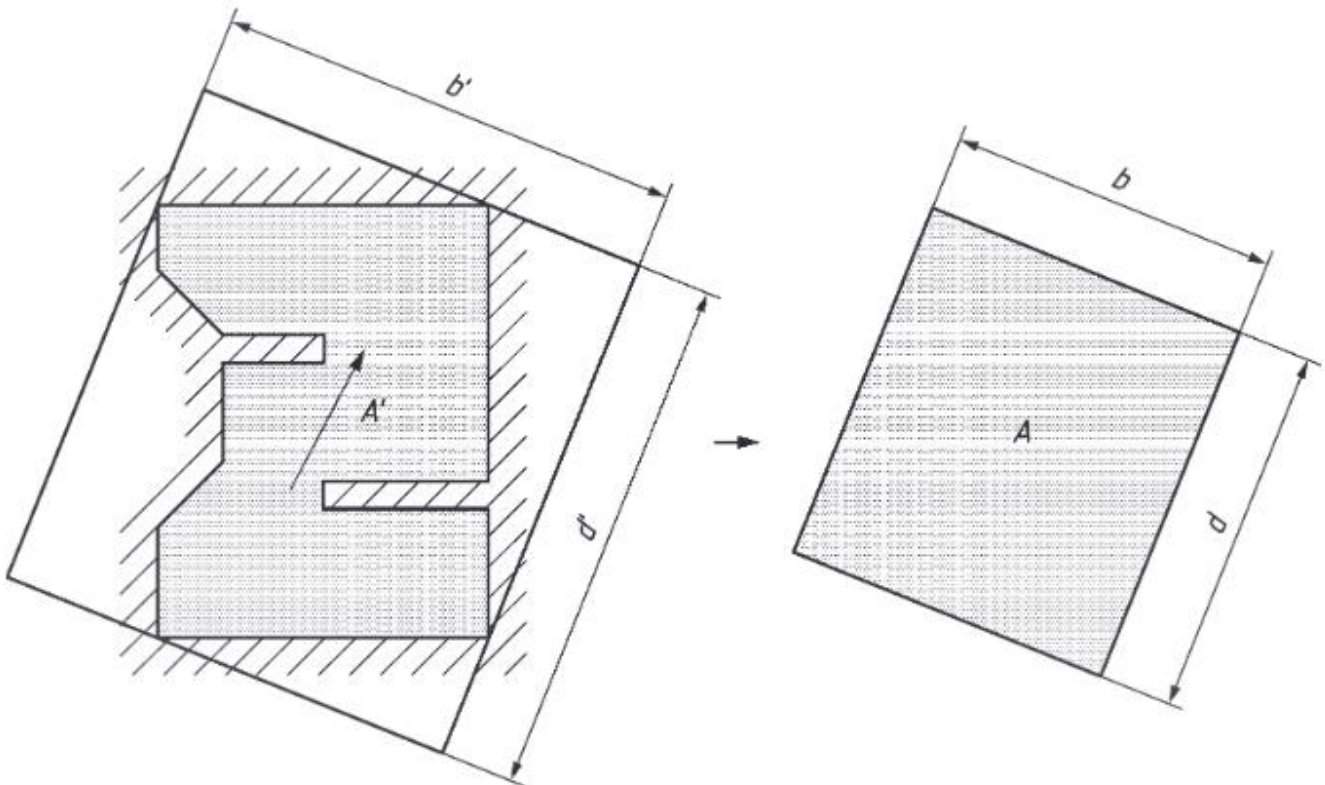
A transformação é dada pelas Equações (3) e (4):

$$b = \sqrt{A' \frac{b'}{d'}} \quad (3)$$

$$d = \sqrt{A' \frac{d'}{b'}} \quad (4)$$

O cálculo das dimensões da cavidade retangular equivalente requer a determinação da direção do fluxo de calor convectivo.

A direção do fluxo de calor convectivo na cavidade é uma direção no plano transversal da seção do perfil correspondente à direção principal do fluxo de calor convectivo na cavidade.



Legenda

- A área da cavidade de ar retangular equivalente
- d, b profundidade e largura da cavidade de ar equivalente
- A' área da cavidade real
- d', b' profundidade e largura do retângulo circunscrito com d' paralelo à direção do fluxo de calor convectivo

Figura 6 — Transformação das cavidades de ar

A partir de uma distribuição de temperatura conhecida na cavidade, como mostrado na Figura 7, a direção do fluxo de calor convectivo é igual à direção do vetor \bar{q}_m , conforme a Equação (5):

$$\bar{q}_m = \frac{\int_A \bar{q} dA}{A} = \frac{\int_A -\lambda_{eq} \text{grad} T dA}{A} \quad (5)$$

onde

- \bar{q}_m é a densidade média de fluxo de calor, expressa em Watts por metro quadrado (W/m²);
- \bar{q} é a densidade de fluxo de calor local, expressa em Watts por metro quadrado (W/m²);
- A é a área transversal da cavidade, expressa em metros quadrados (m²);
- λ_{eq} é a condutividade térmica equivalente da cavidade, expressa em Watts por metro Kelvin [W/(m·K)];

$gradT$ é o gradiente de temperatura do gás dentro da cavidade, expresso em Kelvins por metro (K/m).

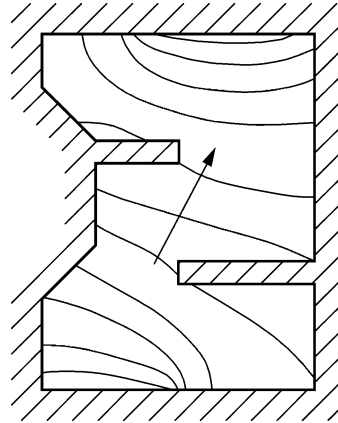


Figura 7 — Direção de fluxo de calor conduzido na cavidade

Como o campo de temperatura e, portanto, a direção do fluxo de calor convectivo são inicialmente desconhecidos, o cálculo da transferência de calor convectivo é iterativo.

6.4.2.3.3 Troca de calor por radiação

A troca de calor por radiação entre as superfícies elementares ao redor da cavidade de ar (resultante da malha utilizada pelo método numérico) deve ser calculada utilizando-se o método de radiosidade. O método de radiosidade assume que superfícies elementares isotermias sejam caracterizadas por uma radiosidade uniforme e irradiação. Presume-se que as superfícies tenham comportamento opaco, difuso e de superfície cinza. O ar dentro da cavidade é adotado como não participante (ou seja, o gás não absorve radiação).

NOTA 1 Definições dos termos radiosidade, irradiação, opaco, difuso e cinza são apresentadas na ISO 9288.

A troca de calor por radiação de acordo com o método de radiosidade pode ser representada por uma rede de resistência térmica, como mostrado, por exemplo, na Figura 8.

NOTA 2 Apenas quatro superfícies elementares ocorrem na rede mostrada. Em cavidades reais, múltiplas superfícies elementares ocorrerão.

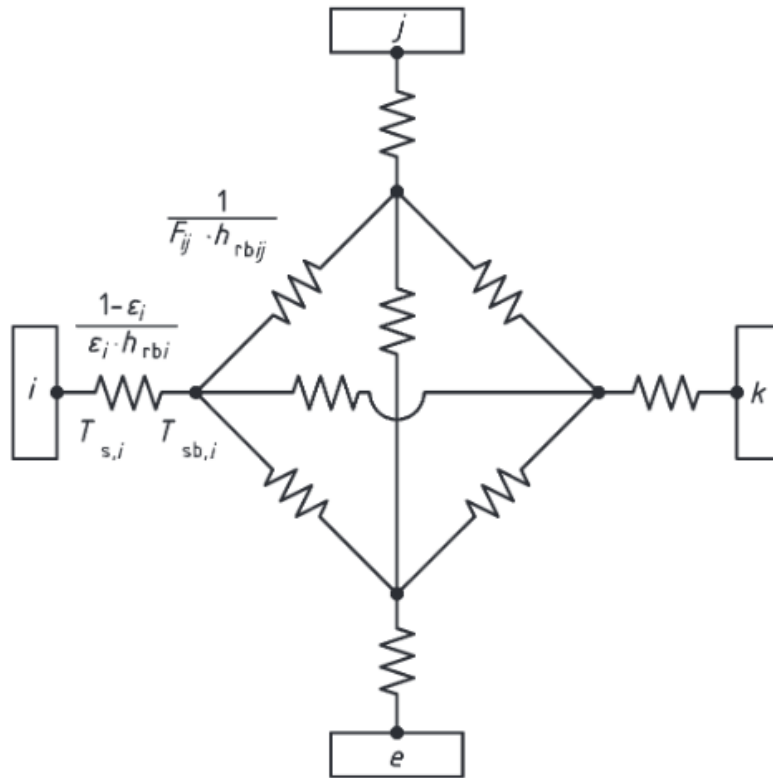


Figura 8 — Exemplo de rede de resistência térmica à radiação

A rede é especificada da seguinte forma:

- no nó de superfície i , a temperatura $T_{s,i}$ é aplicada;
- o nó adjacente ao nó de superfície i (o chamado nó da superfície negra i) tem $T_{sb,i}$ de temperatura;
- o fluxo de calor por radiação entre dois nós de superfície negra i e j é determinado nas Equações (6), (7) e (8):

$$Q_{ij} = \frac{A_i (T_{sb,i} - T_{sb,j})}{R_{ij}} \quad (6)$$

$$R_{ij} = \frac{1}{F_{ij} h_{rb,ij}} \quad (7)$$

$$h_{rb,ij} = \sigma (T_{sb,i}^2 + T_{sb,j}^2) (T_{sb,i} + T_{sb,j}) \quad (8)$$

onde

A_i é a área de superfície elementar i , expressa em metros quadrados (m²);

F_{ij} é o fator de forma da superfície i à superfície j ;

$h_{rb,ij}$ é o coeficiente de transferência de calor de radiação negra entre o nó superficial i e o nó de superfície j , expresso em Watts por metro quadrado Kelvin [$W/(m^2 \cdot K)$];

σ é a constante Stefan-Boltzmann, igual a $5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$;

T_{sbi} é temperatura absoluta do nó de superfície negra i , expressa em Kelvins (K);

T_{sbj} é temperatura absoluta do nó de superfície negra j , expressa em Kelvins (K);

- O fluxo de calor por radiação entre um nó de superfície negra i e um nó de superfície i é determinado nas Equações (9), (10) e (11):

$$Q_i = \frac{A_i (T_{sbi} - T_{si})}{R_i} \quad (9)$$

$$R_i = \frac{1 - \varepsilon_i}{\varepsilon_i h_{rbi}} \quad (10)$$

$$h_{rbi} = \sigma (T_{sbi}^2 + T_{si}^2) (T_{sbi} + T_{si}) \quad (11)$$

onde

A_i é a área da superfície elementar i , expressa em metros quadrados (m^2);

ε_i é a emissividade hemisférica total da superfície i ;

h_{rbi} é o coeficiente de transferência de calor de radiação negra entre o nó de superfície i e o nó da superfície negra i , expresso em Watts por metro quadrado Kelvin [$W/(m^2 \cdot K)$];

σ é a constante Stefan-Boltzmann, igual a $5,67 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$;

T_{si} é a temperatura absoluta do nó da superfície i , expressa em Kelvins (K);

T_{sbi} é a temperatura absoluta do nó da superfície negra i , expressa em Kelvins (K).

O fator de forma entre duas superfícies infinitesimais dA_1 e dA_2 é determinado na Equação (12):

$$F_{dA1 \rightarrow dA2} = \frac{\cos \varphi_1 \cos \varphi_2 dA_2}{\pi r^2} \quad (12)$$

onde

φ_1 é o ângulo entre a linha que conecta as duas superfícies infinitesimais e o normal da superfície dA_1 ;

φ_2 é o ângulo entre a linha que conecta as duas superfícies infinitesimais e o normal da superfície dA_2 ;

r é a distância entre as duas superfícies infinitesimais.

φ_1 , φ_2 e r são mostrados na Figura 9.

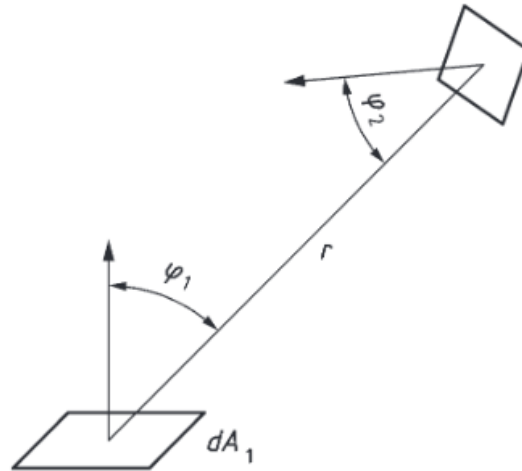


Figura 9 — Determinação do fator de visão entre duas superfícies infinitesimais

O fator de forma entre as superfícies elementares A_i e A_j é obtido por integração; ver Equação (13):

$$F_{ij} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \varphi_i \cos \varphi_j}{\pi r^2} dA_i dA_j \quad (13)$$

O cálculo dos fatores de forma deve considerar os efeitos do sombreamento ou do bloqueio por superfícies intervenientes.

Como as resistências da rede dependem das temperaturas do nó, o cálculo de troca por radiação é iterativo.

Pequenas aberturas podem ocorrer na superfície da cavidade (devido a aberturas ou interconexões com largura não superior a 2 mm, ver 6.4.2.3.1). Essas pequenas aberturas podem ser tratadas como uma superfície com emissividade zero.

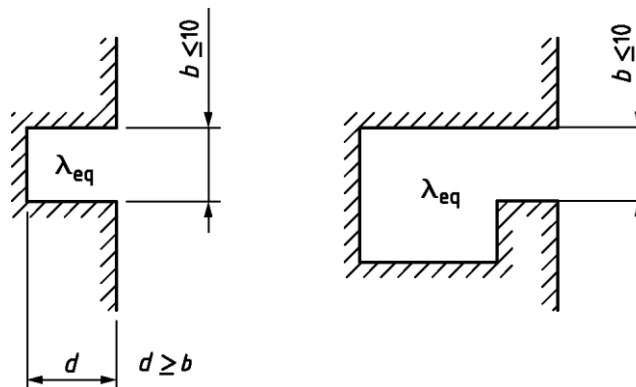
Quando uma cavidade tem um limite adiabático, esse limite pode ser tratado como uma superfície com emissividade zero.

6.4.2.4 Cavidades de ar ventiladas e ranhuras

6.4.2.4.1 Cavidades e ranhuras ligeiramente ventiladas com pequena seção transversal

Ranhuras com pequenas seções transversais (ver Figura 10) nas superfícies externas ou internas de perfis e cavidades conectadas ao ar externo ou interno por uma fenda superior a 2 mm, mas não superior a 10 mm, devem ser consideradas cavidades de ar ligeiramente ventiladas. Neste caso, supõe-se que toda a superfície esteja exposta ao ambiente, e uma resistência superficial $R_s = 0,30 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ deve ser usada na superfície desenvolvida; ver Figura 10. Componentes adicionais como escovas, vedações etc. podem ser considerados para a determinação de b .

Dimensões em milímetros



Legenda

λ_{eq} condutividade térmica equivalente

Figura 10 — Exemplos para cavidades ligeiramente ventiladas e ranhuras com pequena seção transversal

6.4.2.4.2 Cavidades e ranhuras bem ventiladas com grande seção transversal

Em casos não abrangidos por 6.4.2.3 e 6.4.2.4.1, em particular quando a largura b de uma ranhura ou de uma fenda que conecta uma cavidade ao ambiente exceder 10 mm, presume-se que toda a superfície esteja exposta ao ambiente. Portanto, a resistência superficial R_{si} ou R_{se} de acordo com 6.3.4 deve ser usada na superfície desenvolvida; ver Figura 11. Componentes adicionais como escovas, vedações etc. podem ser considerados para a determinação de b .

No caso de uma cavidade grande conectada por uma única fenda e uma superfície desenvolvida excedendo a largura da fenda por um fator de 10, deve-se utilizar a resistência superficial com radiação reduzida (ver Anexo E).

Dimensões em milímetros

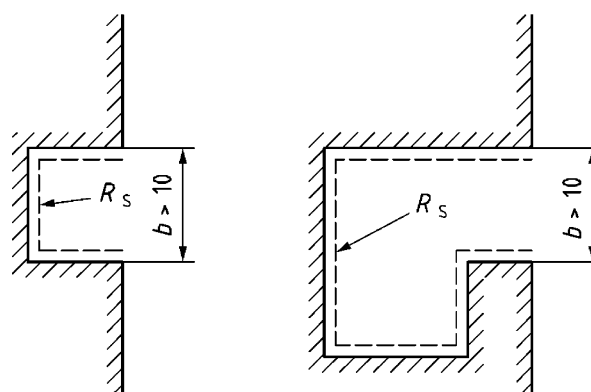


Figura 11 — Exemplos para cavidades e ranhuras bem ventiladas

6.4.3 Tratamento de cavidades utilizando o método de condutividade térmica de equivalente único

6.4.3.1 Geral

A taxa de fluxo de calor nas cavidades deve ser representada por uma única condutividade térmica equivalente, λ_{eq} . Essa condutividade térmica equivalente inclui o fluxo de calor por condução, por convecção e por radiação, e depende da geometria da cavidade e dos materiais adjacentes.

6.4.3.2 Cavidades entre painéis de vidros

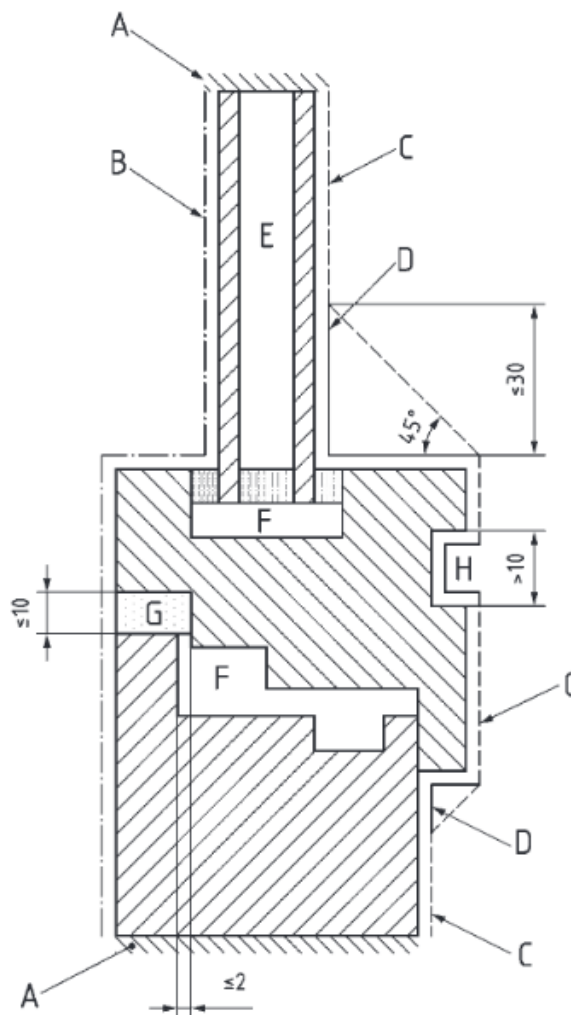
A condutividade térmica equivalente de um espaço não ventilado entre os painéis de vidros insulados deve ser determinada de acordo com a ISO 10292 (ou ver o Item 1 na Tabela C.1). A condutividade equivalente resultante deve ser utilizada em toda a cavidade, até a borda.

6.4.3.3 Cavidades de ar não ventiladas em perfis e caixas de persianas de enrolar

6.4.3.3.1 Definição

As cavidades de ar são não ventiladas se estiverem completamente fechadas ou conectadas ao exterior ou ao interior por uma fenda com largura não superior a 2 mm (ver Figuras 12 e 13); isso se aplica independentemente da orientação da cavidade em relação à direção do fluxo de calor. Caso contrário, a cavidade deve ser tratada como ventilada ou levemente ventilada (ver 6.4.3.6).

Dimensões em milímetros



Legenda

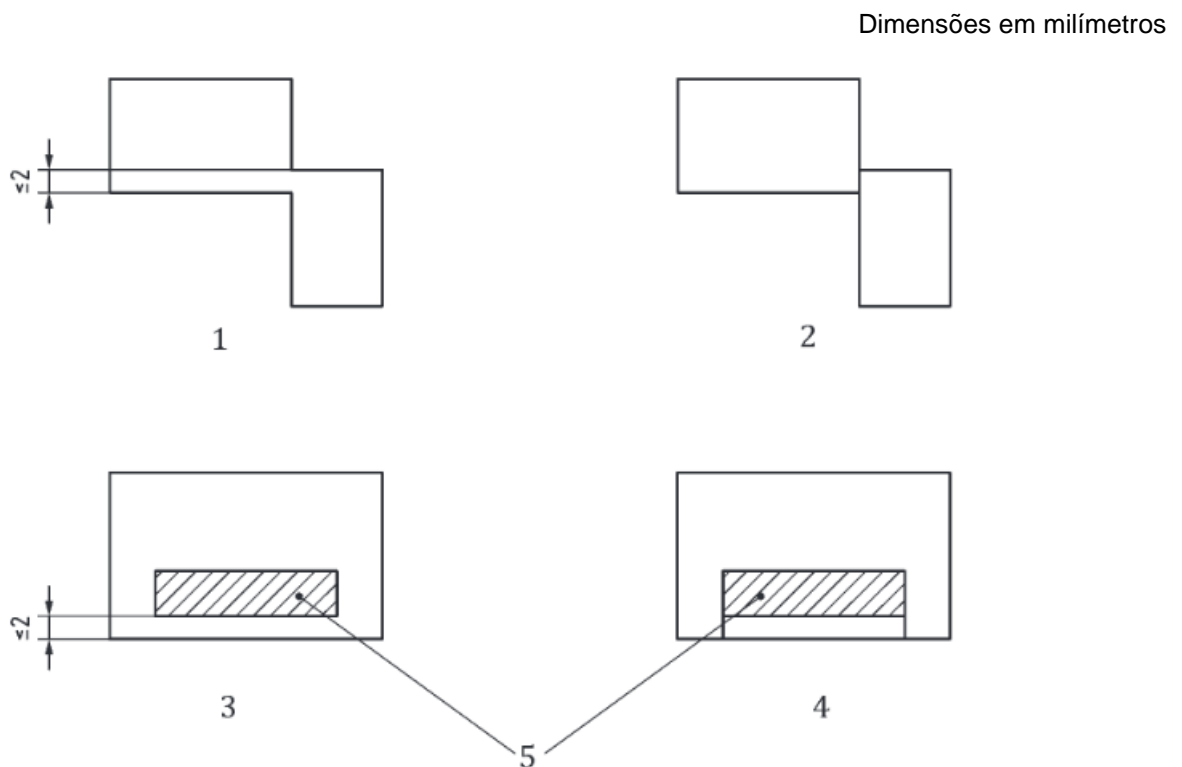
Limites (ver Anexo E):

- | | | | |
|---|----------------------------------|---|--|
| A | limite adiabático | E | vidro (ver 6.4.3.2) |
| B | resistência superficial externa | F | cavidade não ventilada (ver 6.4.3.3) |
| C | resistência superficial interna | G | cavidade ou ranhura ligeiramente ventilada (ver 6.4.3.4.1) |
| D | resistência superficial ampliada | H | cavidade ou ranhura bem ventilada (ver 6.4.3.4.2) |

Figura 12 — Exemplo esquemático para o tratamento de limites e cavidades e ranhuras de uma seção de quadros

NOTA A Figura 12 ilustra uma janela. Os mesmos princípios são aplicáveis às janelas em coberturas, mas a parte adiabática das condições de contorno é diferente. Um exemplo de janela em cobertura é mostrado na Figura H.6.

As cavidades com uma dimensão não superior a 2,0 mm ou cavidades com interconexão não superior a 2,0 mm devem ser consideradas separadas; ver Figura 13.



Legenda

- 1 cavidades conectadas por uma seção menor ou igual a 2 mm
- 2 cavidades em 1: tratadas como cavidades separadas
- 3 cavidade pequena com largura menor ou igual a 2,0 mm
- 4 cavidade em 3: tratada como cavidades separadas
- 5 material sólido

Figura 13 — Divisão da cavidade

6.4.3.4 Cavidades de ar retangulares não ventiladas

6.4.3.4.1 Condutividade térmica equivalente

A condutividade térmica equivalente, λ_{eq} , da cavidade na direção 1 (ver Figura 14) é dada pela Equação (14):

$$\lambda_{eq} = \frac{d}{R_s} \quad (14)$$

onde

d é a dimensão da cavidade na direção do fluxo de calor (ver Figura 14);

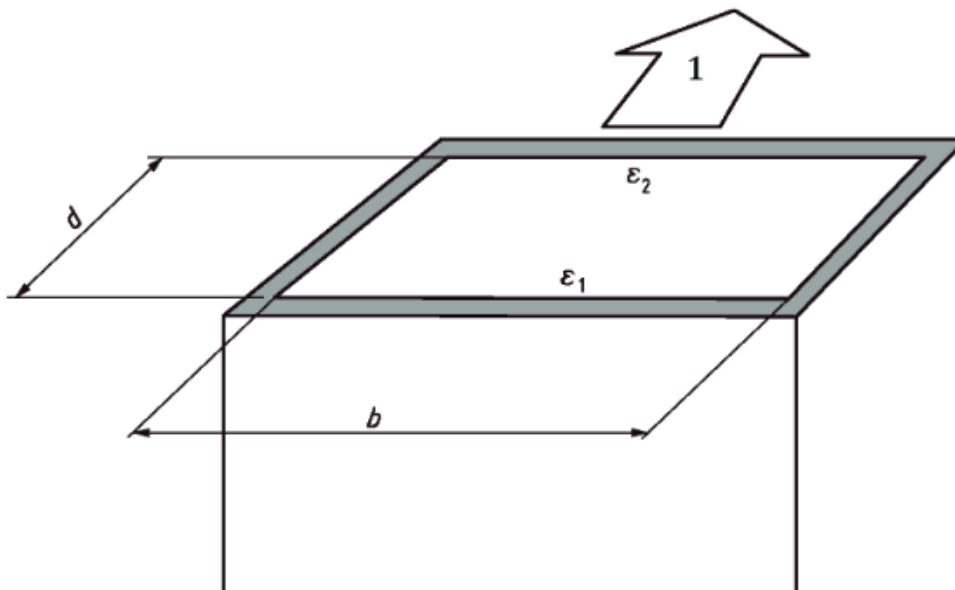
R_s é a resistência térmica da cavidade, dada pela Equação (15):

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (15)$$

onde

h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção;

h_r é o coeficiente de transferência de calor por radiação.



Legenda

- 1 direção do fluxo de calor
- b dimensão perpendicular à direção do fluxo de calor
- d dimensão da cavidade na direção do fluxo de calor
- ϵ_1, ϵ_2 emissividades das superfícies

Figura 14 — Cavidade retangular

6.4.3.4.2 Coeficiente de transferência de calor por convecção

O coeficiente de transferência de calor por convecção, h_c , é

se $b < 5$ mm

$$h_c = \frac{C_1}{d} \quad (16)$$

onde

$$C_1 = 0,025 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K});$$

caso contrário

$$h_c = \max \left\{ \frac{C_1}{d}; C_2 \Delta T^{1/3} \right\} \quad (17)$$

onde

$$C_1 = 0,025 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K});$$

$$C_2 = 0,73 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^{4/3});$$

ΔT é a diferença máxima de temperatura da superfície na cavidade.

Se não houver outras informações disponíveis, usar $\Delta T = 10$ K para o qual

$$h_c = \max \left\{ \frac{C_1}{d}; C_3 \right\} \quad (18)$$

onde

$$C_1 = 0,025 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K});$$

$$C_3 = 1,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

6.4.3.4.3 Coeficiente de transferência de calor por radiação

$$h_r = 4\sigma T_m^3 E F \quad (19)$$

onde

σ é a constante Stefan-Boltzmann, igual a $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;

E é a emitância intersuperfície igual a $\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)^{-1}$;

F é o fator de forma de uma seção retangular igual a $\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + (d/b)^2} - d/b \right)$

ε_1 e ε_2 são as emissividades das superfícies indicadas na Figura 14.

É recomendado que os valores das emissividades sejam informados com duas casas decimais. Se não houver outras informações disponíveis, usar $\varepsilon_1 = 0,90$ e $\varepsilon_2 = 0,90$.

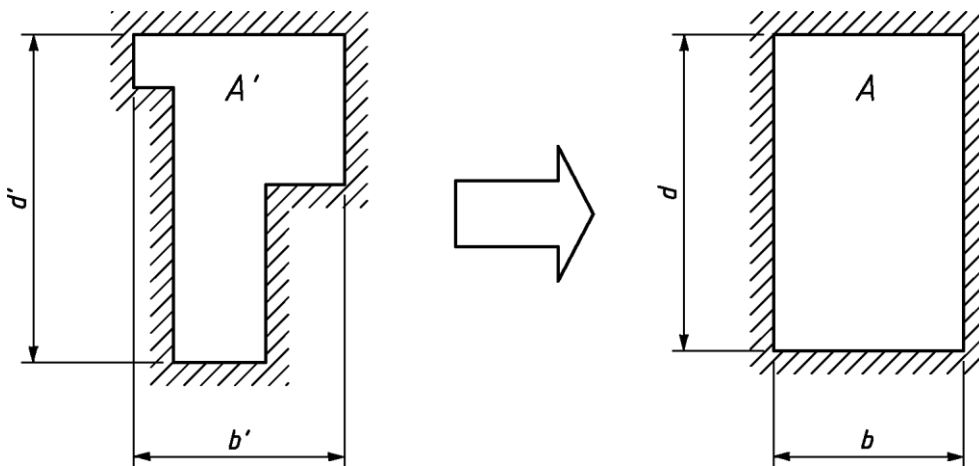
Se não houver outras informações disponíveis, usar $T_m = 283$ K para o qual

$$h_r = C_4 \left(1 + \sqrt{1 + (d/b)^2} - d/b \right) \quad (20)$$

onde $C_4 = 2,11$ W/(m²·K).

6.4.3.5 Cavidades de ar não retangulares não ventiladas

As cavidades de ar não retangulares (forma T, forma L etc.) são transformadas em cavidades de ar retangulares com a mesma área ($A = A'$) e proporção ($d/b = d'/b'$) (ver Figura 15) e, em seguida, o descrito em 6.4.3 é aplicado.



Legenda

- A área da cavidade de ar retangular equivalente
- d, b profundidade e largura da cavidade de ar equivalente
- A' área da cavidade real
- $d' b'$ profundidade e largura do menor retângulo circunscrito

Figura 15 — Transformação de cavidades de ar não retangulares

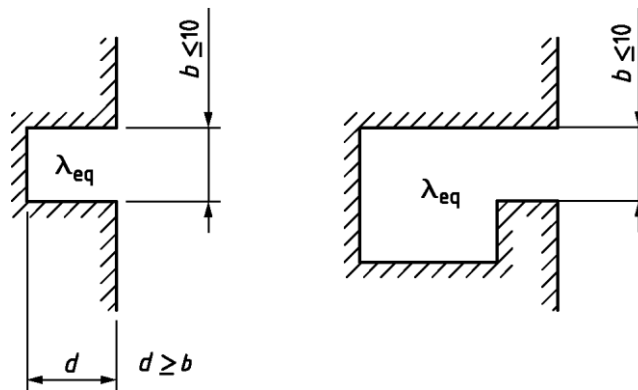
A transformação é dada pelas Equações (3) e (4).

6.4.3.6 Cavidades de ar ventiladas e ranhuras

6.4.3.6.1 Cavidades e ranhuras ligeiramente ventiladas com pequena seção transversal

Ranhuras com pequenas seções transversais (ver Figura 16) nas superfícies externas ou internas de perfis e cavidades conectadas ao ar externo ou interno por uma fenda superior a 2 mm, mas não superior a 10 mm, devem ser consideradas cavidades de ar ligeiramente ventiladas. A condutividade equivalente é o dobro da de uma cavidade de ar não ventilada do mesmo tamanho, conforme 6.4.3.3. Componentes adicionais, como escovas, vedações etc., podem ser levados em conta para a determinação de b .

Dimensões em milímetros



Legenda

λ_{eq} condutividade térmica equivalente

Figura 16 — Exemplos de cavidades ligeiramente ventiladas e ranhuras com pequena seção transversal

6.4.3.6.2 Cavidades e ranhuras bem ventiladas com grande seção transversal

Em casos não abrangidos por 6.4.3.3 e 6.4.3.6.1, em particular quando a largura b de uma ranhura ou de uma fenda que conecta uma cavidade ao ambiente exceder 10 mm, presume-se que toda a superfície esteja exposta ao ambiente. Portanto, a resistência superficial R_{si} ou R_{se} , de acordo com 6.3.4, deve ser usada na superfície desenvolvida; ver Figura 17. Componentes adicionais como escovas, vedações etc. podem ser considerados para a determinação de b .

No caso de uma cavidade grande conectada por uma única fenda e uma superfície desenvolvida excedendo a largura da fenda por um fator de 10, deve-se utilizar a resistência superficial com radiação reduzida (ver Anexo E).

Dimensões em milímetros

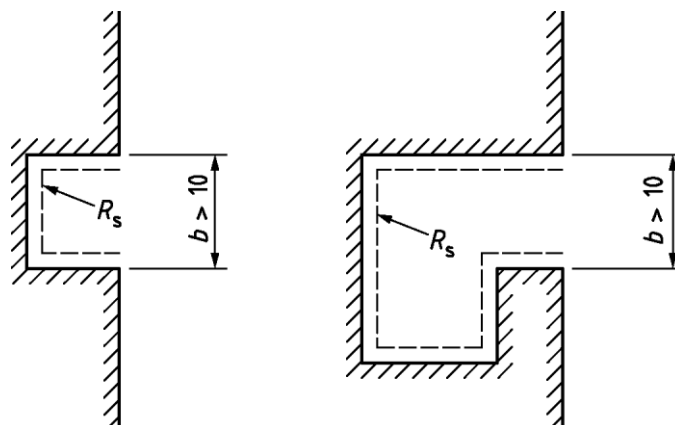


Figura 17 — Exemplos para cavidades e ranhuras bem ventiladas

7 Relatório

7.1 Conteúdo do relatório

O relatório de cálculo deve incluir o seguinte:

- referência a este Documento, ou seja, ABNT NBR ISO 10077-2;
- identificação da entidade responsável pelo cálculo;
- identificação do programa de cálculo;
- data do cálculo;
- método de cálculo aplicado para cavidades: método de radiosidade (6.4.2) ou método de condutividade térmica equivalente único (6.4.3); data do cálculo;
- itens listados em 7.2 e 7.3.

7.2 Dados geométricos

Um desenho técnico das seções (preferencialmente utilizando escala 1:1) deve ser incluído no relatório. O desenho deve fornecer as dimensões e uma descrição dos materiais utilizados. As informações mínimas a serem apresentadas são:

- para perfis metálicos, espessura, posição, tipo e número de *thermal breaks*;
- para perfis de PVC rígido, presença e posição de reforços metálicos;
- espessura dos perfis de madeira ou PVC rígido, preferencialmente indicadas em um desenho em escala;
- áreas projetadas interna e externa dos perfis, preferencialmente indicadas em um desenho em escala;
- profundidade e espessura do vidro ou painel no perfil;
- para uma caixa de persiana de enrolar, as dimensões da caixa, a posição do perfil da janela e a ventilação da cavidade (ver 6.3.5).

7.3 Dados térmicos

7.3.1 Condutividade térmica

Todos os materiais da seção de perfis devem ser listados juntamente com os valores de condutividade térmica utilizados para o cálculo. É recomendado que sejam utilizados os dados do Anexo D. Se outras fontes forem utilizadas, elas devem ser claramente declaradas e indicadas como referência.

7.3.2 Emissividade

Para as cavidades, a emissividade das superfícies circundantes deve ser indicada em relação à Tabela D.3, quando for o caso, e as evidências de apoio, incluindo referências, serão fornecidas, caso sejam utilizados valores inferiores a 0,9.

7.3.3 Condições de contorno

As resistências superficiais internas e externas e os limites adiabáticos, juntamente com a temperatura do ar interno e externo, devem ser indicados no desenho. As resistências superficiais internas e externas, bem como as temperaturas internas e externas do ar, também podem, alternativamente, ser indicadas



em uma tabela.

No caso de uma caixa de persiana de enrolar, deve ser declarada a localização de qualquer isolamento aplicado nas superfícies da caixa, juntamente com sua espessura e condutividade térmica.

7.4 Apresentação de resultados

A taxa total de fluxo de calor ou a densidade da taxa de fluxo de calor, a transmitância térmica da seção do perfil ou da caixa da persiana de enrolar e a transmitância térmica linear, de acordo com o Anexo F, devem ser dadas a dois algarismos significativos (ou seja, para uma casa decimal, se $\geq 1,0$; para duas casas decimais, se $< 1,0$; e para três casas decimais, se $< 0,1$).



Anexo A (normativo)

Ficha de seleção dos dados de entrada e do método — Modelo

A.1 Generalidades

O modelo do Anexo A deste Documento deve ser usado para especificar as escolhas entre os métodos, os dados de entrada necessários e as referências a outros documentos.

NOTA 1 Seguir este modelo não é suficiente para assegurar a consistência dos dados.

NOTA 2 Padrões informativos são fornecidos no Anexo B. Valores e definições alternativas podem ser impostos por regulamentos nacionais/regionais. Se os valores e as definições-padrão do Anexo B não forem adotados devido aos regulamentos nacionais/regionais, políticas ou tradições nacionais, é esperado que:

- as autoridades nacionais ou regionais elaborem fichas de dados contendo os valores e as definições nacionais ou regionais, de acordo com o modelo do Anexo A; ou
- por padrão, o órgão de normalização nacional adicione ou inclua um Anexo Nacional (Anexo NA) a este Documento, de acordo com o modelo do Anexo A, atribuindo valores e definições nacionais ou regionais de acordo com seus documentos legais.

NOTA 3 O modelo do Anexo A é aplicável a diferentes finalidades (por exemplo, o projeto de um novo edifício, a certificação de um novo edifício, a renovação de um edifício existente e a certificação de um edifício existente) e a diferentes tipos de edificações (por exemplo, edifícios pequenos ou simples e edifícios grandes ou complexos). Uma distinção entre os valores e as definições para diferentes aplicações ou tipos de edificações poderia ser feita:

- adicionando colunas ou linhas (uma para cada aplicação), se o modelo permitir;
- incluindo mais de uma versão de uma tabela (uma para cada aplicação), numeradas consecutivamente como a, b, c, ... Por exemplo: Tabela NA.3a, Tabela NA.3b;
- desenvolvendo diferentes fichas de dados nacionais/regionais para a mesma norma. No caso de Anexos Nacionais à norma, estes serão numerados consecutivamente (Anexo N-A, Anexo N-B, Anexo NC, ...).

NOTA 4 Na Seção “Introdução” de uma ficha de dados nacionais/regionais, podem ser adicionadas informações, por exemplo, sobre os regulamentos nacionais/regionais aplicáveis.

NOTA 5 Para determinados valores de entrada a serem obtidos pelo usuário, uma folha de dados seguindo o modelo do Anexo A poderia conter uma referência aos procedimentos nacionais para avaliar os dados de entrada necessários. Por exemplo, referência a um protocolo de avaliação nacional, compreendendo árvores de decisão, tabelas e pré-cálculos.

Os campos sombreados nas tabelas fazem parte do modelo e, conseqüentemente, não são preenchidos com dados de entrada.

A.2 Referências

As referências, identificadas pelo número de código do módulo DEE, são dadas na Tabela A.1 (modelo).

Tabela A. 1 — Referências



Referência	Documento de referência	
	Número	Título
Mx-y ^a

^a Neste documento não há escolhas em referências a outras normas EPB. A Tabela é mantida para manter a uniformidade entre todos os padrões da EPB

A.3 Cálculo da transmitância térmica

NOTA Atualmente, neste Documento, não há escolhas entre os métodos e os dados de entrada necessários previstos que são mantidos abertos para conclusão, conforme explicado em A.1. Para satisfazer a necessidade de congruência com todas as outras normas do EPB e deixar explicitamente claro que neste documento não há escolhas mantidas abertas, este Anexo e o Anexo B são mantidos.

Anexo B (informativo)

Ficha de seleção dos dados de entrada e do método — Definições-padrão

B.1 Generalidades

O modelo no Anexo A deste Documento deve ser usado para especificar as escolhas entre os métodos, os dados de entrada necessários e as referências a outros documentos.

NOTA 1 Seguir este modelo não é suficiente para assegurar a consistência dos dados.

NOTA 2 Padrões informativos são fornecidos no Anexo B. Valores e definições alternativas podem ser impostos por regulamentos nacionais/regionais. Se os valores e as definições-padrão do Anexo B não forem adotados devido aos regulamentos nacionais/regionais, políticas ou tradições nacionais, é esperado que:

- as autoridades nacionais ou regionais elaborem fichas de dados contendo os valores e as definições nacionais ou regionais, de acordo com o modelo do Anexo A; ou
- por padrão, o órgão de normalização nacional adicione ou inclua um anexo nacional (Anexo NA) a este Documento, de acordo com o modelo do Anexo A, atribuindo valores e definições nacionais ou regionais de acordo com seus documentos legais.

NOTA 3 O modelo do Anexo A é aplicável a diferentes finalidades (por exemplo, o projeto de um novo edifício, a certificação de um novo edifício, a renovação de um edifício existente e a certificação de um edifício existente) e a diferentes tipos de edificações (por exemplo, edifícios pequenos ou simples e edifícios grandes ou complexos). Uma distinção entre os valores e as definições para diferentes aplicações ou tipos de edificações poderia ser feita:

- adicionando colunas ou linhas (uma para cada aplicação), se o modelo permitir;
- incluindo mais de uma versão de uma tabela (uma para cada aplicação), numeradas consecutivamente como a, b, c etc. Por exemplo: Tabela NA.3a, Tabela NA.3b;
- desenvolvendo diferentes fichas de dados nacionais/regionais para a mesma norma. No caso de Anexos Nacionais à norma, estes serão numerados consecutivamente (Anexo NA, Anexo NB, Anexo NC etc).

NOTA 4 Na Seção “Introdução” de uma ficha de dados nacionais/regionais, podem ser adicionadas informações, por exemplo, sobre os regulamentos nacionais/regionais aplicáveis.

NOTA 5 Para certos valores de entrada a serem obtidos pelo usuário, uma folha de dados seguindo o modelo do Anexo A poderia conter uma referência aos procedimentos nacionais para avaliar os dados de entrada necessários. Por exemplo, referência a um protocolo de avaliação nacional compreendendo árvores de decisão, tabelas e pré-cálculos.

Os campos sombreados nas tabelas fazem parte do modelo e, conseqüentemente, não são preenchidos com dados de entrada.

B.2 Referências

As referências, identificadas pelo número do código do módulo EPB, são apresentadas na Tabela B.1.



Tabela B. 1 – Referências

Referência	Documento de referência	
	Número	Título
Mx-y ^a

a Neste documento não há escolhas em referências a outras normas EPB. A Tabela é mantida para manter a uniformidade entre todos os padrões da EPB.

B.3 Cálculo da transmitância térmica

NOTA Atualmente, neste Documento, não há escolhas entre os métodos e os dados de entrada necessários previstos que são mantidos abertos para conclusão, conforme explicado em B.1. Para satisfazer a necessidade de congruência com todas as outras normas do EPB e deixar explicitamente claro que neste documento não há escolhas mantidas abertas, este Anexo e o Anexo B são mantidos.



Anexo C
(normativo)
Referências regionais em consonância com a Política de Relevância Global da ISO

Este Documento contém rotas paralelas específicas na referência a outras normas, a fim de considerar as regulamentações nacionais e/ou regionais existentes e/ou ambientes legais, mantendo a relevância global.

As normas que devem ser utilizadas, como solicitado nas Seções sucessivas, são indicadas na Tabela C.1.

Tabela C. 1 — Referências regionais em consonância com a Política de Relevância Global da ISO

Assunto		Global	Área do CEN ^a
1	Condutividade térmica equivalente — vidros	ISO 10292	EN 673

^a área CEN = Países cujo órgão nacional de normas é membro do CEN. Chama-se atenção para a necessidade de observância das Diretivas da UE transpostas aos requisitos legais nacionais.

Anexo D (normativo)

Condutividade térmica e outras características dos materiais selecionados

A Tabela D.1 inclui as condutividades térmicas dos materiais utilizados para os grupos determinados. Com algumas exceções, os valores foram retirados da ISO 10456, que inclui outros materiais.

Tabela D. 1 — Condutividade térmica de materiais

Grupo	Material ^a	Densidade kg/m ³	Condutividade térmica W/(m·K)
Perfil	Cobre	8 900	380
	Alumínio (ligas de silício)	2 800	160
	Latão	8 400	120
	Aço	7 800	50
	Aço inoxidável, austenítico ou austenítico-ferrítico	7 900	17
	Aço inoxidável, ferrítico ou martensítico	7 900	30
	PVC (cloreto de polivinil), rígido	1 390	0,17
	Madeira dura ^c	700	0,18
	Madeira macia ^d	500	0,13
	Madeira macia ^d	450	0,12
	Fibra de vidro (resinas de poliéster não saturadas)*	1 900	0,40
Vidro	Vidro <i>float</i>	2 500	1,00
	PMMA (polimetilmetacrilato)	1 180	0,18
	Policarbonatos	1 200	0,20
<i>Thermal break</i>	ABS (acrilonitrila butadieno estireno)	1 050	0,20
	Poliamida (náilon)	1 150	0,25
	Poliamida 6,6 com 25 % de fibra de vidro	1 450	0,30
	Polietileno HD, alta densidade	980	0,50
	Polietileno LD, baixa densidade	920	0,33
	Polipropileno, sólido	910	0,22
	Polipropileno com 25 % de fibra de vidro	1 200	0,25
	PU (poliuretano), rígido	1 200	0,25
PVC-U (cloreto de polivinila), rígido	1 390	0,17	

Grupo	Material^a	Densidade kg/m³	Condutividade térmica W/(m·K)
Calafetagem	PCP (policloropreno), por exemplo, policloropreno	1 240	0,23
	EPDM (monômero etileno-propileno-dieno)	1 150	0,25
	Silicone, puro	1 200	0,35
	Silicone, preenchido	1 450	0,50
	PVC, flexível (PVC-P) 40 % amaciante	1 200	0,14
	Escova de vedação (<i>mohair</i> de poliéster)*		0,14
	Espuma elastomérica, flexível	60 a 80	0,05
Selantes e materiais de borda do vidro	PU (poliuretano)	1 500	0,40
	Borracha butil, colagem sólida/quente	1 200	0,24
	Polissulfeto	1 700	0,40
	Silicone, puro	1 200	0,35
	Silicone, preenchido*	1 450	0,40
	Polisobutileno	930	0,20
	Resina de poliéster	1 400	0,19
	Sílica gel (dessecante)	720	0,13
	Peneira molecular (dessecante)*	650 a 750	0,10
	Espuma de silicone, baixa densidade	750	0,12
	Espuma de silicone, média densidade *	820	0,17

^a A maioria dos materiais é retirada da NBR ISO 10456, exceto aqueles marcados com um asterisco (*).

^b A EN 10088-1 contém extensas listas de propriedades de aços inoxidáveis que podem ser usados quando a composição precisa do aço inoxidável é conhecida.

^c Madeira dura se refere à madeira de árvores do grupo botânico dicotiledônea; ver também o Anexo J.

^d Madeira macia refere-se à madeira de árvores do grupo botânico gimnosperma; ver também o Anexo J.

Para a aplicação deste Documento, a condutividade térmica da madeira pode ser retirada da Tabela D.2, dependendo da espécie de madeira.

Tabela D. 2 — Condutividade térmica de espécies de madeira

Código para espécies de madeira ^a	Condutividade térmica, λ W/(m·K)
ABAL, PCAB, PCST, PNCN, THPL	0,11
KHXX, LADC, LAER, LAGM, LAOC, LAXX, PCGL, PHWS, PNSY, PSMN, SHLR, SWMC, TMIV, TSHT	0,13
ENCY, ENUT, EUXX, HEXM, HEXN, MIXX, OCRB, SHDR, TEGR, TGHC	0,16



AFX, CLXX, EUGL, EUGR, EUUSL, EUUG, EUUP, INXX, PHMG, PMPN, QCXA, QCXE, ROPS	0,18
^a O Anexo J contém a lista de espécies de madeira designadas por estes códigos.	

NOTA BRASILEIRA Para listagem e propriedades de espécies brasileiras de madeira, consultar NBR 15930-2 e [MAINIERI e CHIMELO, 1989]¹³. ABNT

Para a aplicação deste Documento, a emissividade das superfícies metálicas pode ser retirada da Tabela D.3, dependendo do tratamento da superfície.

Tabela D. 3 — Emissividades típicas de superfícies metálicas

Descrição	Emissividade normal
Superfícies de alumínio não tratadas	0,1
Superfícies de alumínio ligeiramente oxidadas (até 5 µm)	0,3
Superfícies metálicas (geral, incluindo galvanizadas)	0,3
Superfícies anodizadas, pintadas ou revestidas em pó	0,9

NOTA 1 Uma superfície não tratada é aquela que não teve tratamento artificial (como anodização, galvanização, pintura).

NOTA 2 A baixa emissividade só pode ser considerada se a sujeira puder ser excluída.

Anexo E (normativo) Resistências superficiais

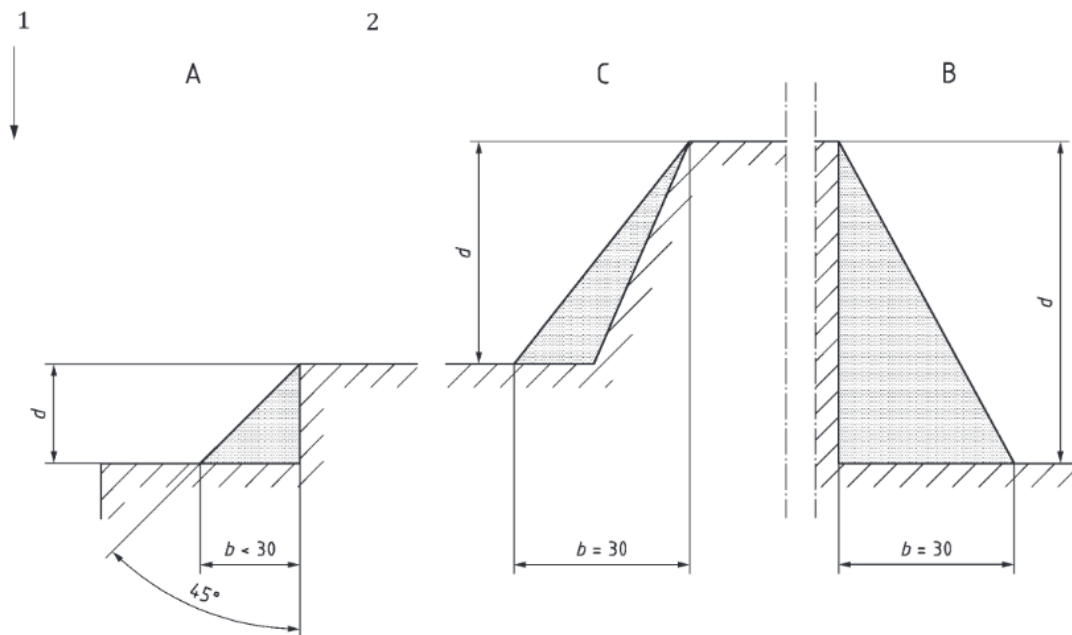
Tabela E.1 — Resistências superficiais para perfis (fluxo de calor horizontal)

Posição	Externa, R_{se} m ² ·K/W	Interna, R_{si} m ² ·K/W
Normal (superfície plana)	0,04	0,13
Radiação/convecção reduzida (em bordas ou junções entre duas superfícies, ver Figura E.1)	0,04	0,20

NOTA Esses valores correspondem aos valores de resistência superficial dados na ISO 6946, que também fornece mais informações sobre a influência da convecção e radiação sobre as resistências superficiais.

Quando o *software* de simulação requer superfícies inclinadas para serem representadas por malha ortogonal, a resistência superficial pode ser corrigida multiplicando-se pela razão do comprimento real da superfície para o comprimento representado no modelo de simulação.

Dimensões em milímetros



Legenda

- 1 direção do fluxo de calor
- 2 superfície interna

Figura E. 1 — Representação esquemática de superfícies com maior resistência superficial devido a uma redução da transferência de calor por radiação/convecção

Na Figura E. 1, o sombreamento indica as distâncias sobre as quais se aplicam o aumento das resistências superficiais. Estas são as distâncias b e d , onde b é igual à profundidade d , mas não superior a 30 mm.

Exemplo 1 $b = d$ quando $d \leq 30$ mm.

Exemplo 2 $b = 30$ mm quando $d > 30$ mm.

Exemplo 3 Para aplicação a uma superfície inclinada, $b = 30$ mm quando $d > 30$ mm.

Tabela E. 2 — Resistências superficiais para cálculo de caixas de persianas de enrolar

Direção do fluxo de calor	Externa, R_{se} $m^2 \cdot K/W$	Interna, R_{si} $m^2 \cdot K/W$
Horizontal	0,04	0,13
Vertical	0,04	0,13

NOTA O valor da resistência superficial interna para o fluxo de calor vertical considera o efeito do fluxo de calor na direção ascendente e também o efeito da redução da radiação/convecção.

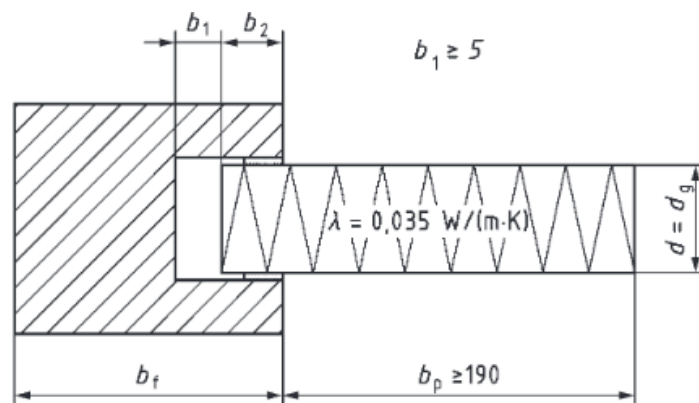
Anexo F (normativo) Determinação da transmitância térmica

F.1 Transmitância térmica da seção de perfis

A transmitância térmica da seção de perfis, U_f , é estabelecida da seguinte forma.

- Em relação à Figura F.1, no modelo de cálculo, o painel de vidro ou opaco é substituído por um painel de isolante térmico com condutividade térmica $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, inserido no perfil, com folga b_1 não inferior a 5 mm. A sobreposição b_2 é igual à do vidro que o painel isolante substitui. O comprimento do painel deve ter ao menos 190 mm, medido a partir da parte mais saliente do perfil ignorando qualquer junta saliente. Para as juntas salientes, isso significa que o comprimento visível do painel pode ser inferior a 190 mm. A extremidade oposta do painel é considerada um limite adiabático. O modelo de perfil deve conter todos os materiais utilizados na fabricação da janela, exceto o vidro ou o painel opaco, que é substituído pelo painel de isolante térmico. A espessura d_g do painel de isolante deve ser:
- onde o perfil é projetado para uma espessura específica, a do vidro ou do painel opaco sendo substituído;
- onde o perfil pode ser usado com várias espessuras de vidro, 24 mm para vidros duplos ou 36 mm para vidros triplos.

Dimensões em milímetros



Legenda

- b_f largura do perfil
- b_p largura do painel
- d_g espessura do vidro

Figura F. 1 — Esquema da seção de perfil com painel de isolante térmico instalado

NOTA As Figuras H.1 a H.8 ilustram alguns perfis típicos de janela, indicando as condições de limite para os cálculos numéricos.

No caso de uma janela de cobertura, as partes adiabáticas do limite são aquelas em que a estrutura da janela de cobertura está em contato com a cobertura, quando a janela de cobertura é instalada de acordo com as instruções do fabricante. Se o método de instalação da janela de cobertura não puder ser

determinado a partir das instruções de instalação do fabricante, ele deve ser modelado como descrito na ISO 12567-2:2005, Figura 2.

A condução térmica bidimensional, L_f^{2D} , da seção mostrada na Figura F. 1, composta por perfil e painel de isolante térmico, é calculada. O valor da transmitância térmica do perfil, U_f , é determinado pela Equação (F.1):

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p b_p}{b_f} \quad (\text{F.1})$$

onde

U_f é a transmitância térmica da seção de perfil, expressa em Watts por metro quadrado Kelvin [W/(m²·K)];

L_f^{2D} é a condução térmica da seção mostrada na Figura F.1, expressa em watts por metro kelvin [W/(m·K)];

U_p é a transmitância térmica da área central do painel, expressa em watts por metro quadrado kelvin [W/(m²·K)];

b_f é a largura projetada da seção de perfil (sem juntas salientes), expressa em metros (m);

b_p é a largura visível do painel, expressa em metros (m).

b_f é a maior das larguras projetadas, vistas de ambos os lados. b_p é medido no mesmo lado que b_f .

NOTA L^{2D} é calculado a partir da taxa total de fluxo de calor por comprimento pela seção dividida pela diferença de temperatura entre ambos os ambientes adjacentes; ver ABNT NBR ISO 10211.

F.2 Transmitância térmica linear da junção com o painel de vidro ou opaco

A transmitância térmica do vidro, U_g , é aplicável à área central do vidro e não inclui o efeito do espaçador na borda do vidro. A transmitância térmica do quadro, U_f , é aplicável, na ausência do vidro. A transmitância térmica linear, Ψ , descreve o fluxo de calor adicional causado pela interação da estrutura e da borda do vidro, incluindo o efeito do espaçador.

Para calcular o coeficiente de acoplamento térmico bidimensional da seção constituída pelo perfil e pelo vidro, incluindo o efeito do espaçador, a seção da estrutura com largura de quadro projetada, b_f e transmitância térmica U_f é completada por vidros com transmitância térmica U_g e comprimento b_g ; ver Figura F. 2. O valor da transmitância térmica linear, Ψ , é determinado pela Equação (F.2):

$$\Psi = L_\Psi^{2D} - U_f b_f - U_g b_g \quad (\text{F.2})$$

onde

Ψ é a transmitância térmica linear, expressa em watts por metro kelvin [W/(m·K)];

L_Ψ^{2D} é a condução térmica da seção mostrada na Figura F. 2, expressa em watts por metro kelvin [W/(m·K)];

U_f é a transmitância térmica da seção de perfil, expressa em watts por metro quadrado kelvin [W/(m² K)];

U_g é a transmitância térmica da área central do vidro, expressa em watts por metro quadrado kelvin [$W/(m^2 K)$];

b_f é a largura projetada da seção de perfil, expressa em metros (m);

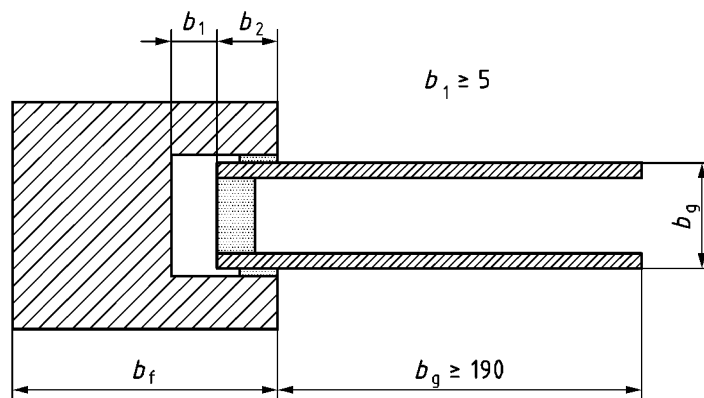
b_g é a largura visível do vidro, expressa em metros (m).

b_f é a maior das larguras projetadas, como visto de ambos os lados. b_g é medido do mesmo lado que b_f .

O mesmo procedimento se aplica às seções de perfil para portas com painéis opacos em vez de vidros.

O mesmo procedimento, mas sem seção de perfil, também se aplica à transmitância térmica linear devido ao efeito combinado de um pinázio e vidro.

Dimensões em milímetros



Legenda

- b_f largura do perfil
- b_p largura do painel
- d_g espessura do vidro

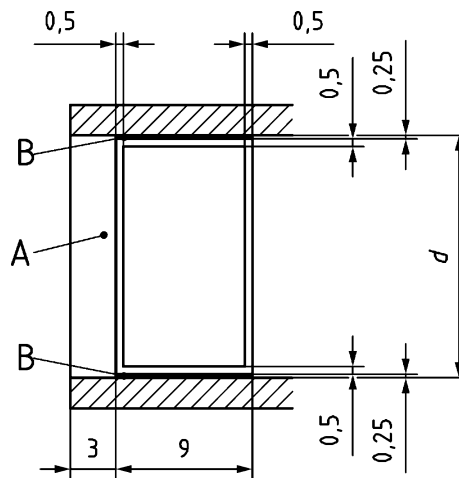
Figura F. 2 — Esquema da seção de perfil com vidro instalado

NOTA Um comprimento visível do painel ou vidro com 190 mm é suficiente para vidros com espessura de até 60 mm. Em outros casos, o comprimento precisa ser aumentado; ver ABNT NBR ISO 10211.

Para calcular os valores Ψ para a combinação de construções de perfis com unidades de vidros insulados (IGU), incluindo espaçadores metálicos, quando não houver informações detalhadas sobre a geometria do espaçador metálico, deve-se utilizar o seguinte espaçador.

A profundidade do espaçador d é a largura da cavidade do IGU reduzida em 0,5 mm. Isso se deve a uma espessura de 0,25 mm do selante interno (borracha *butyl*) em ambos os tamanhos do espaçador. Por exemplo, se a largura da cavidade no IGU for de 16 mm, a profundidade d do espaçador é de 15,5 mm. A geometria geral do espaçador e a integração no IGU são mostradas na Figura F.3. Se não houver outra informação disponível, convém que o selante externo seja polissulfeto com espessura de 3 mm.

Dimensões em milímetros



Legenda

- A polissulfeto
- B butileno

Figura F.3 — Espaçador metálico representativo incorporado em um IGU

Os valores ψ representativos dos espaçadores termicamente aprimorados podem ser estabelecidos com base em seções de perfil representativos e em unidades representativas de vidro. Um procedimento detalhado é dado na Referência [12].

Anexo G (normativo)

Exemplos gerais para a validação de programas de cálculo utilizando o método de radiosidade para o tratamento de cavidades

G.1 Cilindros concêntricos

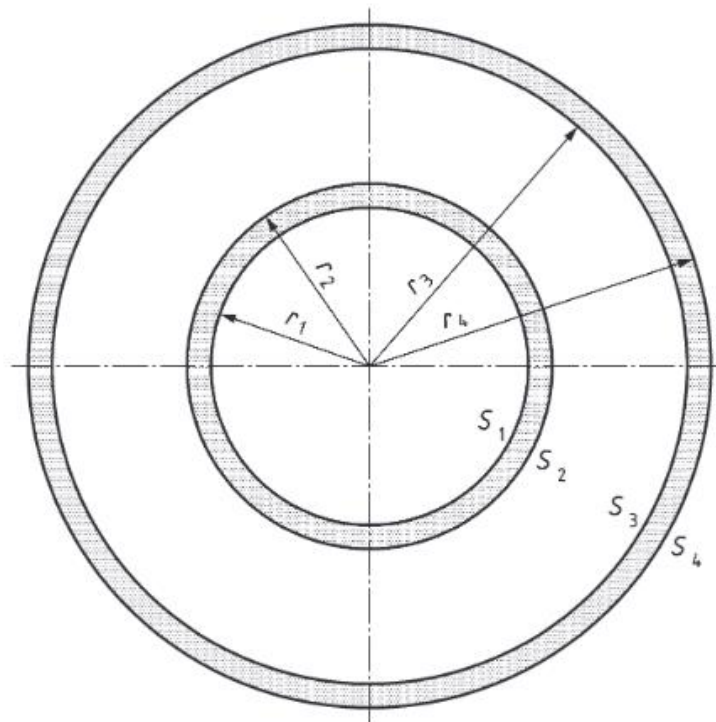


Figura G. 1 — Cavidade de vácuo entre dois cilindros concêntricos

A Figura G. 1 mostra dois cilindros concêntricos com um vácuo entre eles. As dimensões são dadas na Tabela G. 1.

Os cilindros são condutores perfeitos (λ aproximadamente ∞).

Na superfície interna do cilindro menor (S_1) e na superfície externa do cilindro maior (S_4), são aplicadas as temperaturas de superfície especificadas na Tabela G. 2.

A transferência de calor entre a superfície externa do cilindro menor (S_2) e a superfície interna do cilindro maior (S_3) ocorre apenas por radiação. O fluxo de calor da radiação deve ser calculado pelo programa de cálculo para quatro variantes das emissividades superficiais das superfícies S_2 e S_3 , conforme dado na Tabela G. 3.

A diferença (em termos relativos) entre o fluxo de calor de radiação do programa de cálculo a ser validado e o fluxo de calor de radiação analiticamente calculado listado na Tabela G. 4 deve ser inferior a 3 %.

Tabela G. 1 — Dimensões dos cilindros

Legenda (Figura G. 1)	Raio m
r_1	0,07
r_2	0,08
r_3	0,14
r_4	0,15

Tabela G. 2 — Temperaturas de superfície conhecidas

Superfície	Temperatura °C
S ₁	20
S ₄	0

Tabela G. 3 — Emissividades de superfície

Variável	Emissividade da superfície S ₂	Emissividade da superfície S ₃
A	0,9	0,9
B	0,1	0,9
C	0,9	0,1
D	0,1	0,1

Tabela G. 4 — Fluxo de calor de radiação da superfície S₂ para a superfície S₃

Variável	Fluxo de calor de radiação W/m
A	44,12
B	5,15
C	8,29
D	3,42

G.2 Vácuo dentro de uma cavidade quadrada

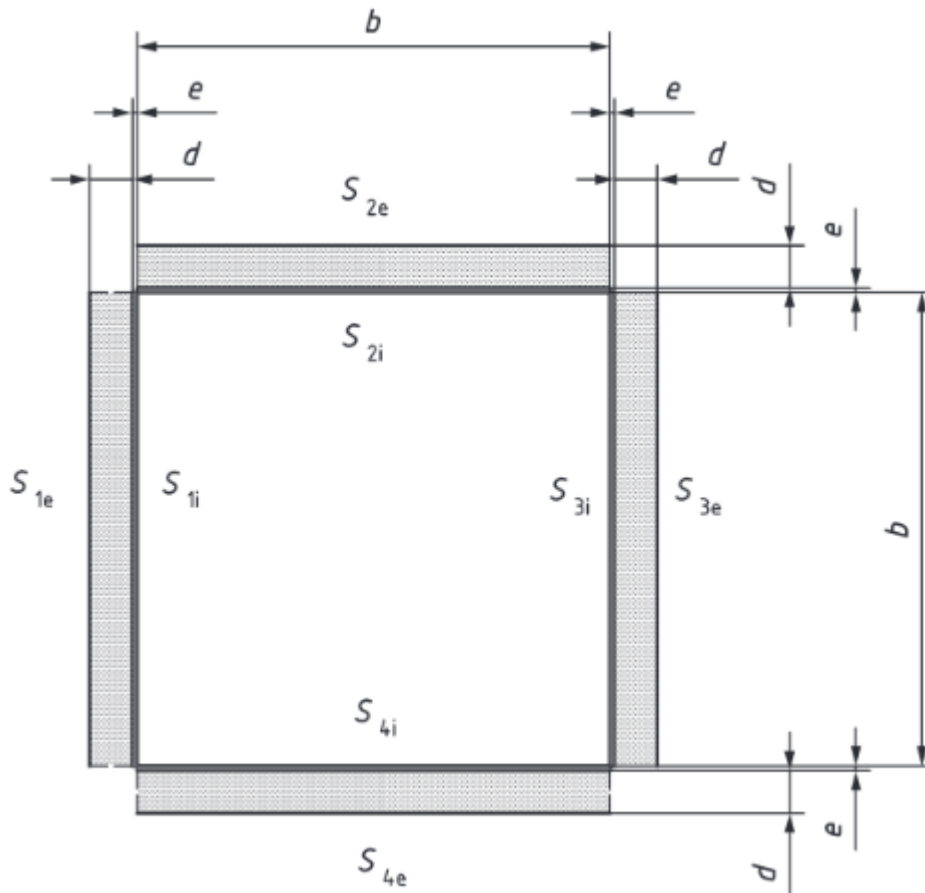


Figura G. 2 — Cavityde de vácuo cercada por quatro superfícies

Uma cavityde a vácuo é cercada por quatro superfícies. As dimensões são dadas na Tabela G. 5.

Cada superfície tem duas camadas. O material de camada mais espessa (com espessura d) tem uma condutividade térmica de $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. O material de camada mais fina (com espessura e) é um condutor perfeito (λ aproximadamente ∞). A emissividade da superfície da camada mais fina é de 0,9. Não há contato térmico entre as quatro camadas mais finas.

Nas faces externas da superfície, as temperaturas ambientais conhecidas e a transferência de calor da superfície são aplicadas conforme a Tabela G.6.

A troca de calor entre as superfícies internas da parede (S_{1i} , S_{2i} , S_{3i} , S_{4i}) ocorre apenas por radiação.

A distribuição da temperatura deve ser calculada pelo programa de cálculo que está sendo validado. A diferença entre as temperaturas da superfície interna central e as temperaturas da superfície analiticamente calculadas, listadas na Tabela G.7, deve ser inferior a $0,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabela G. 5 — Dimensões

Legenda (Figura G. 2)	Espessura m
d	0,10

e	0,01
b	1,00

Tabela G.6 — Condições externas de contorno da superfície

Superfície	Temperatura °C	Resistência superficial m ² .K/W
S_{1e}	0	0,1
S_{2e}	5	0,1
S_{3e}	10	0,1
S_{4e}	20	0,1

Tabela G.7 — Temperaturas internas da superfície

Superfície	Temperatura °C
S_{1i}	4,67
S_{2i}	7,25
S_{3i}	9,18
S_{4i}	13,89

G.3 Metade de coluna quadrada com temperaturas de superfície especificadas

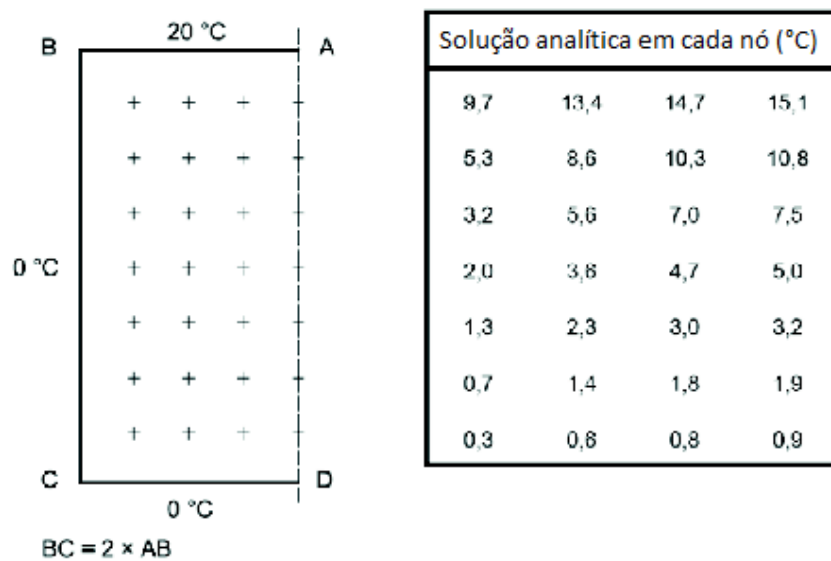


Figura G. 3 — Coluna meio quadrada, com temperaturas de superfície conhecidas: dados

A transferência de calor por meio de metade de uma coluna quadrada com temperaturas de superfície



horário, e a condutividade equivalente à cavidade são dadas na Tabela G. 8 apenas para informação.

Tabela G. 8 — Resultados calculados

Direção de condução equivalente da cavidade	21,8°
Condutividade equivalente à cavidade	0,048 W/(m·K)
Fluxo total de calor	0,826 W/k

Anexo H (normativo)

Exemplos de perfis de janelas para validação de programas de cálculo utilizando o método de radiosidade para o tratamento de cavidades

H.1 Geral

Este Anexo apresenta critérios para a validação de um programa de cálculo. Como indicado em 5.3, a aplicação de um programa para enquadrar seções nas Figuras H.1 a H.11 leva a resultados para L2D diferentes em não mais de 3 % daqueles dados nas Tabelas H.3 e H.4.

H.2 Figuras

Nas figuras H.1 a H.11, aplica-se a legenda mostrada nas Tabelas H.1 e H.2 .

Tabela H. 1 — Limites

Legenda	Resistência superficial, R_s $m^2 \cdot K/W$	Temperatura, θ $^{\circ}C$
A adiabático	Infinito	—
B externo	Ver Anexo E	0
C interno	Ver Anexo E	20

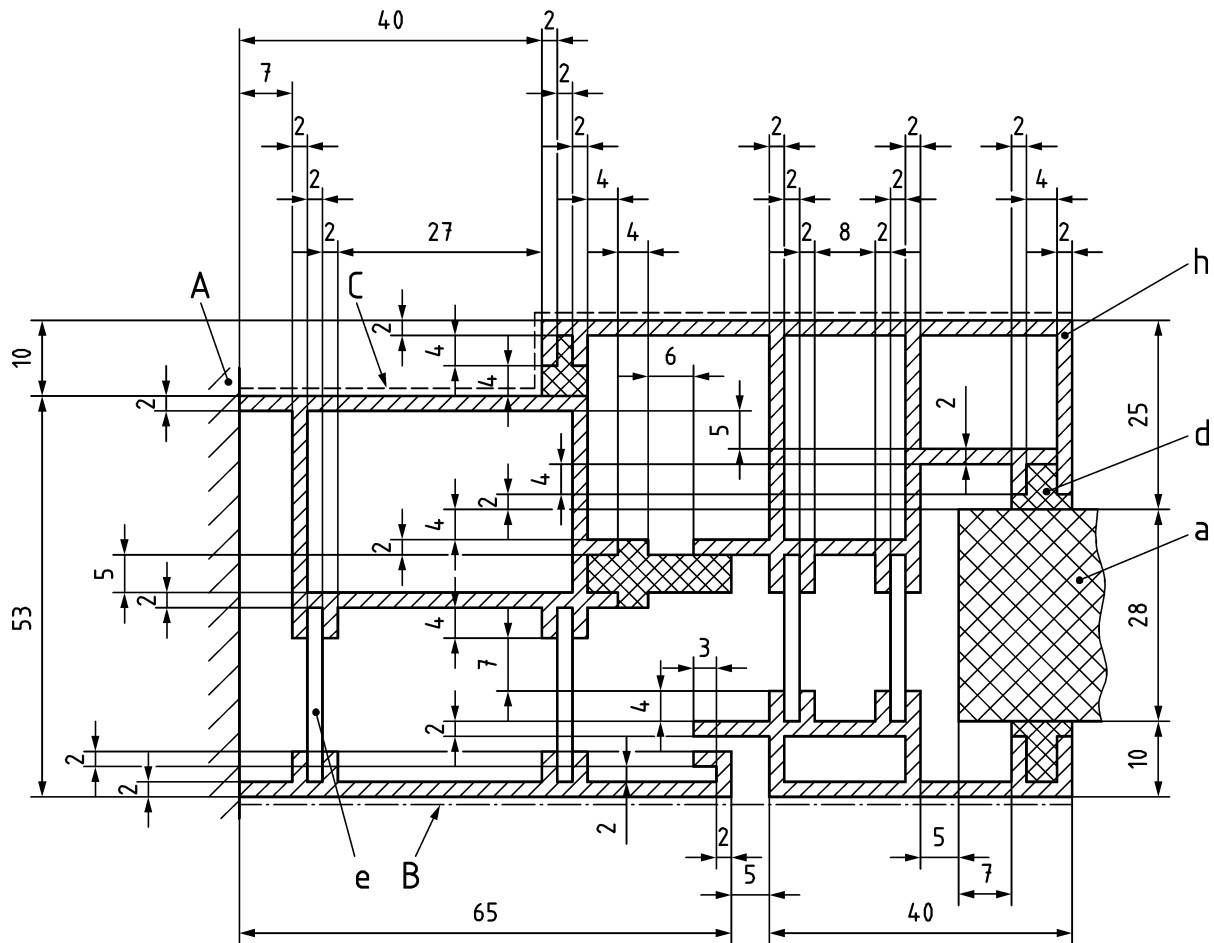
Tabela H. 2 — Materiais

Legenda	Material	Condutividade térmica, λ $W/(m \cdot K)$
A	Painel de isolante térmico	0,035
b	Madeira macia	0,13
c	PVC	0,17
d	EPDM	0,25
e	Poliamida 6,6 com 25 % de fibra de vidro	0,3
f	Vidro	1,0
g	Aço	50
h	Alumínio ^a	160
i	Escova de vedação (<i>mohair</i> de poliéster)	0,14
k	Poliamida	0,25
l	PU (poliuretano), rígido	0,25
m	Polissulfeto	0,40
n	Gel de sílica (dessecante)	0,13
o	Enchimento de gás	0,034 ^b

Legenda	Material	Condutividade térmica, λ W/(m·K)
p	Poliisobutileno	0,20

^a Todas as superfícies têm emissividade 0,9, exceto para a Figura H.2.
^b Condutividade térmica equivalente do gás de preenchimento.

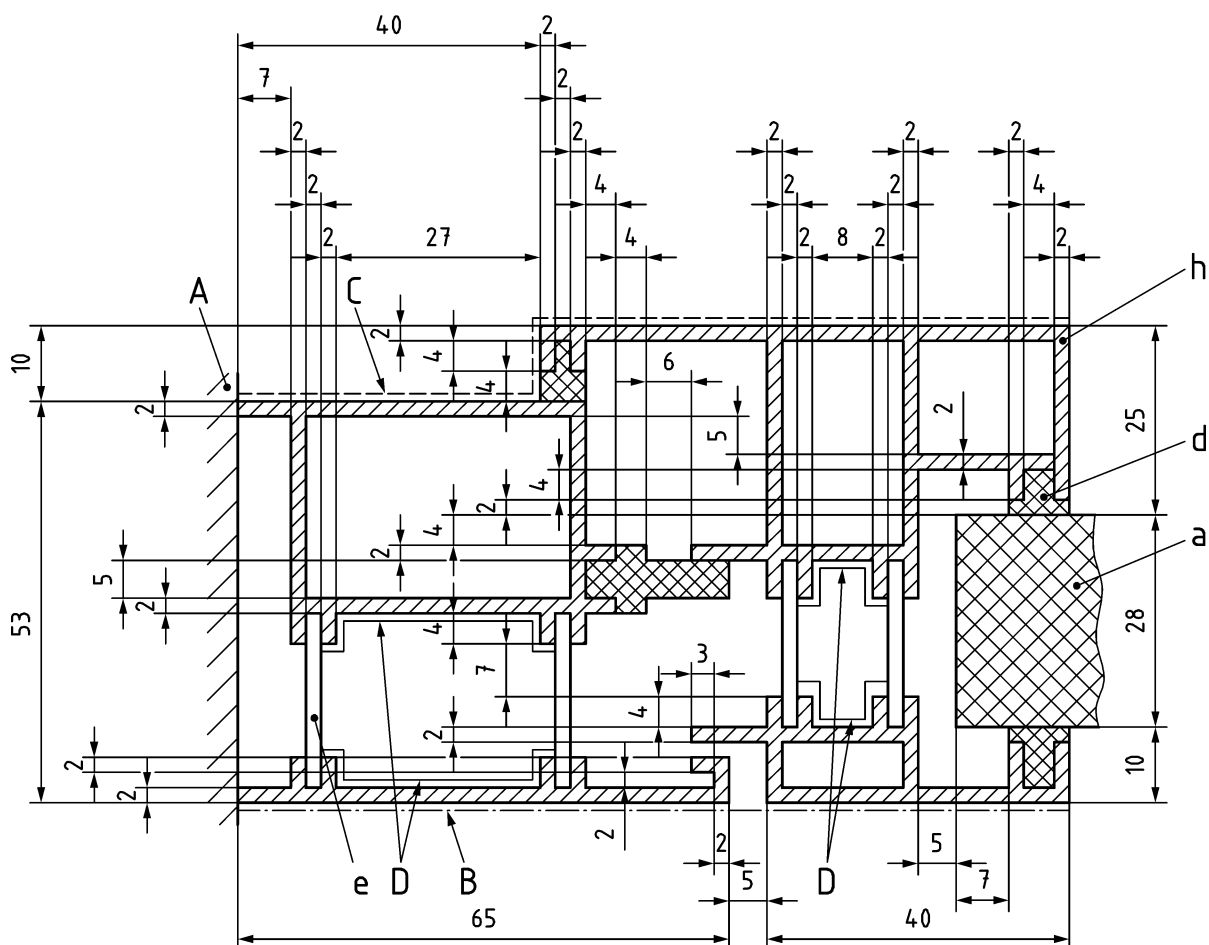
Dimensões em milímetros



NOTA 1 A largura projetada do perfil, b_f , é de 110 mm.

NOTA 2 Emissividade de todas as superfícies é igual a 0,9.

Figura H. 1 — Seção de perfil de alumínio com *thermal break* e painel de isolante térmico



Legenda

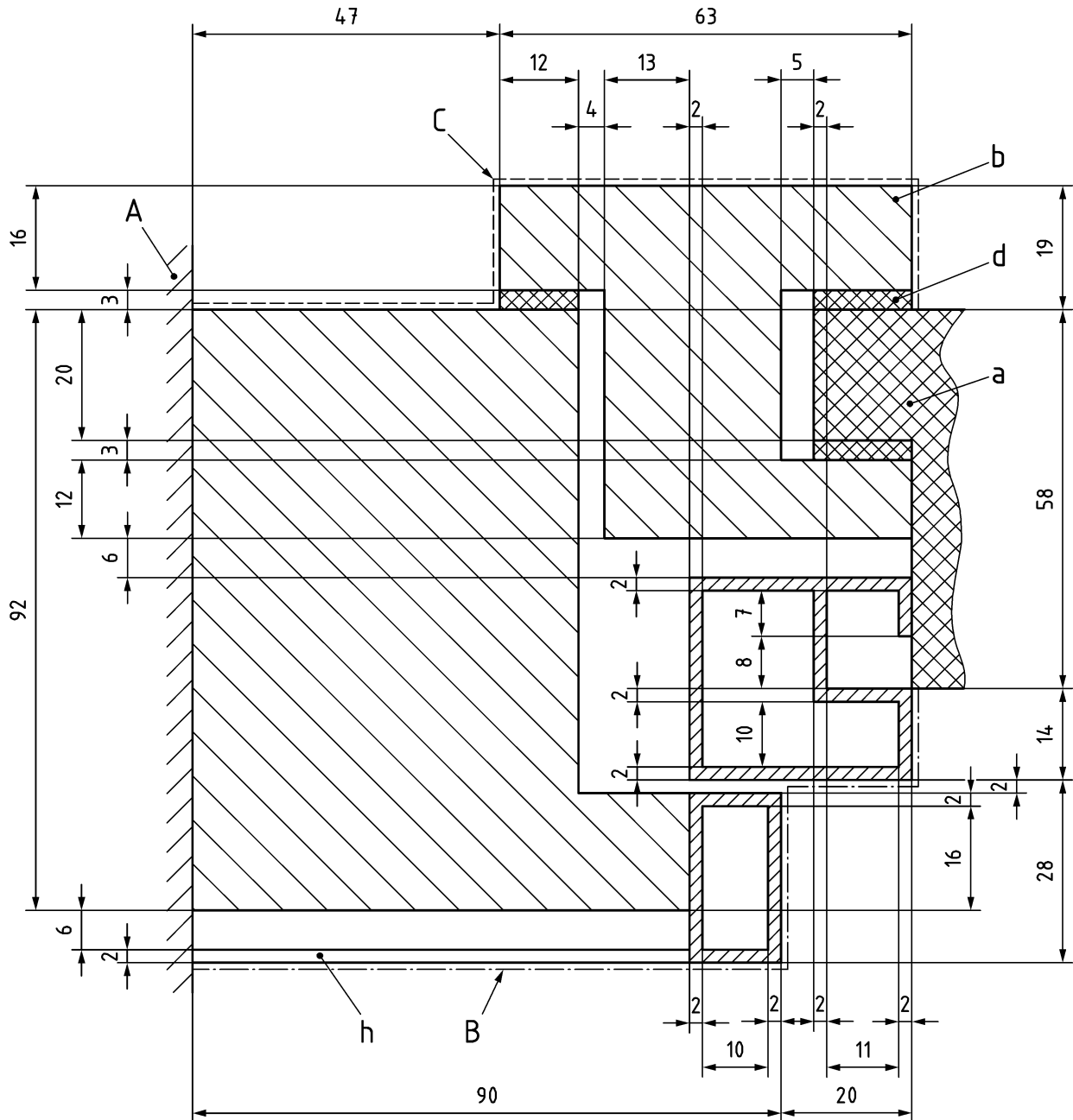
D emissividade 0,1

NOTA 1 A largura projetada do perfil, b_r , é de 110 mm.

NOTA 2 Emissividade de superfícies especificadas é igual a 0,1; outros, 0,9.

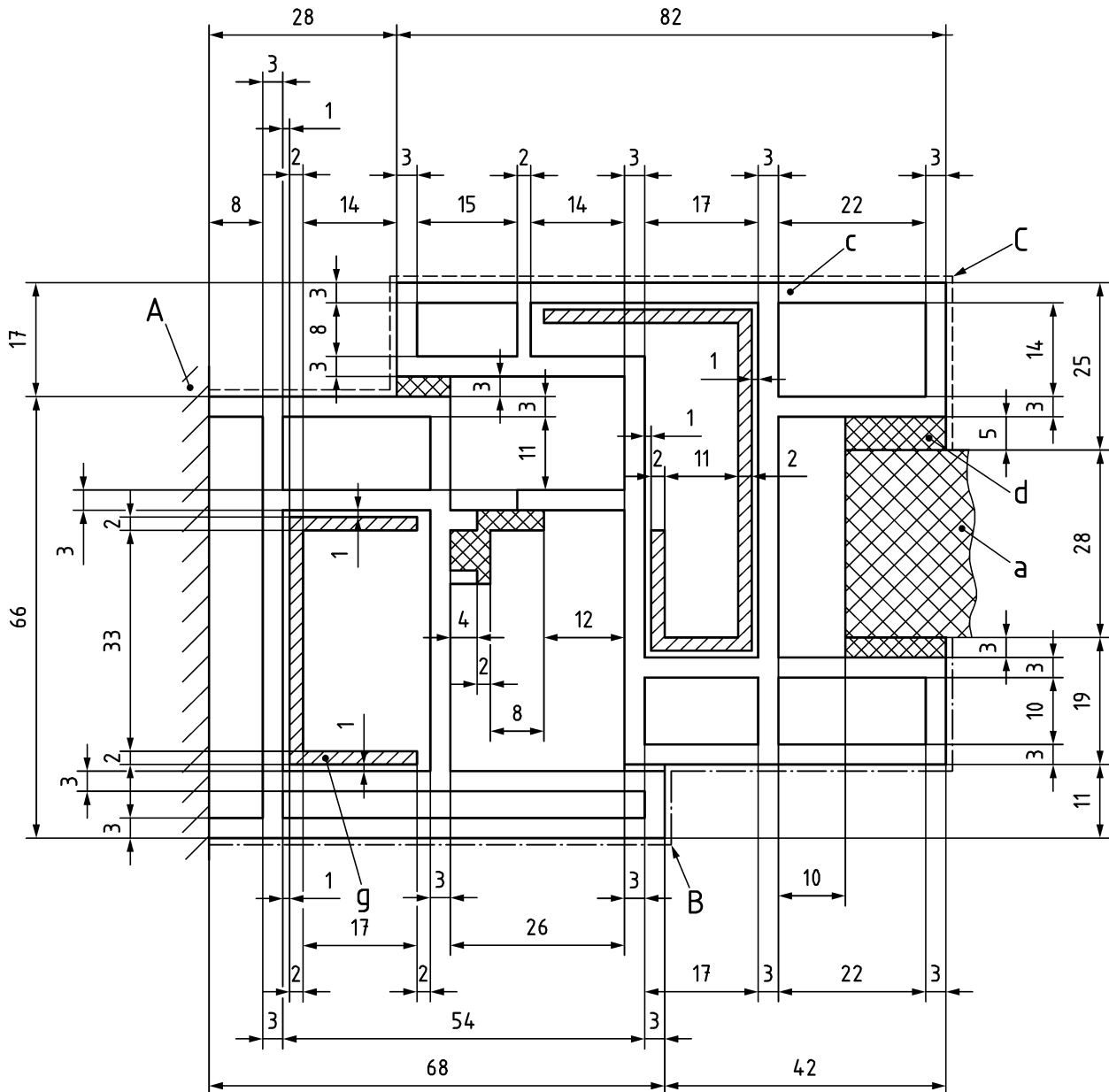
Figura H. 2 — Seção de perfil de alumínio com *thermal break* e painel de isolante térmico

Dimensões em milímetros



NOTA A largura projetada do perfil, b_f , é de 110 mm.

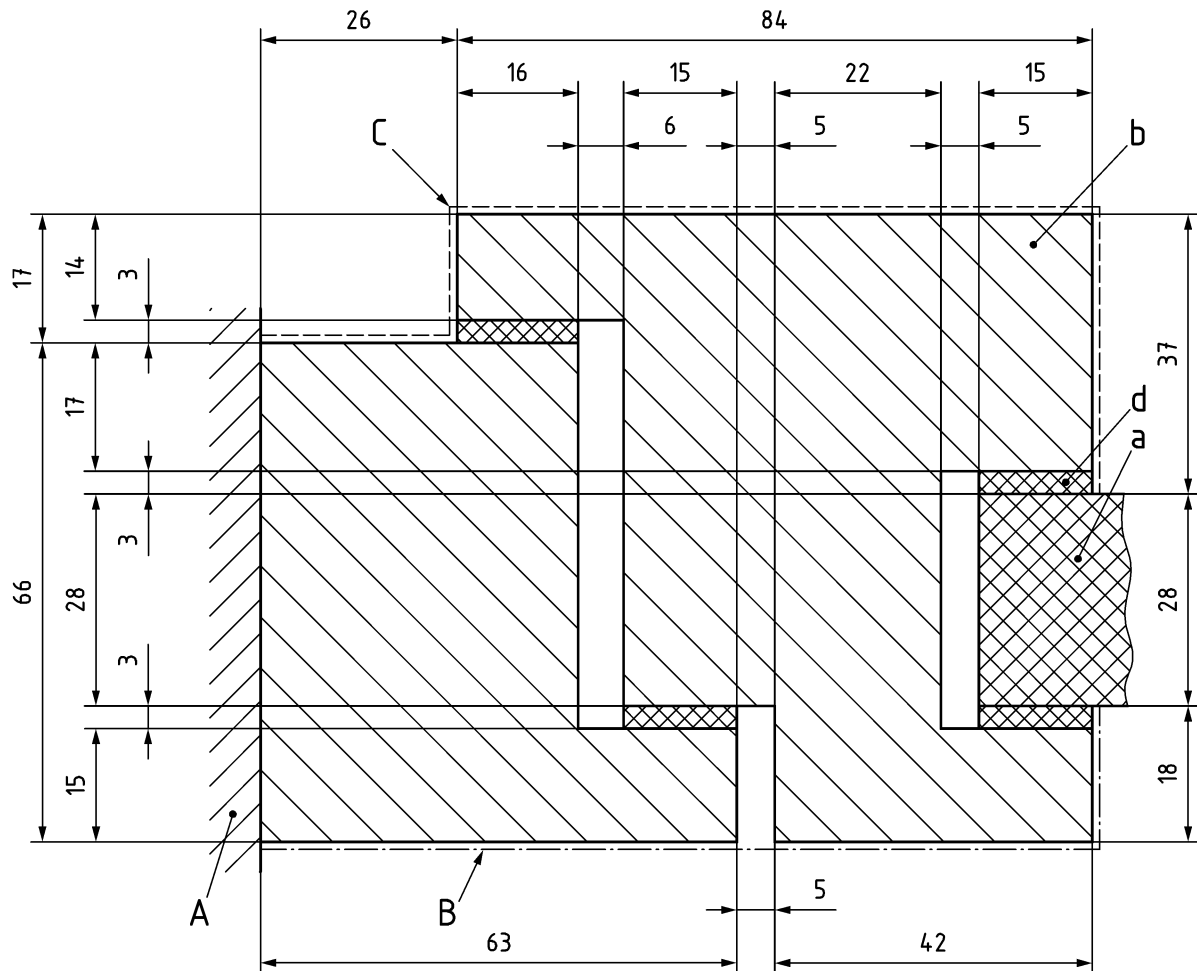
Figura H.3 — Seção de estrutura de madeira revestida de alumínio e painel de isolante térmico



NOTA A largura projetada do perfil, b_r , é de 110 mm.

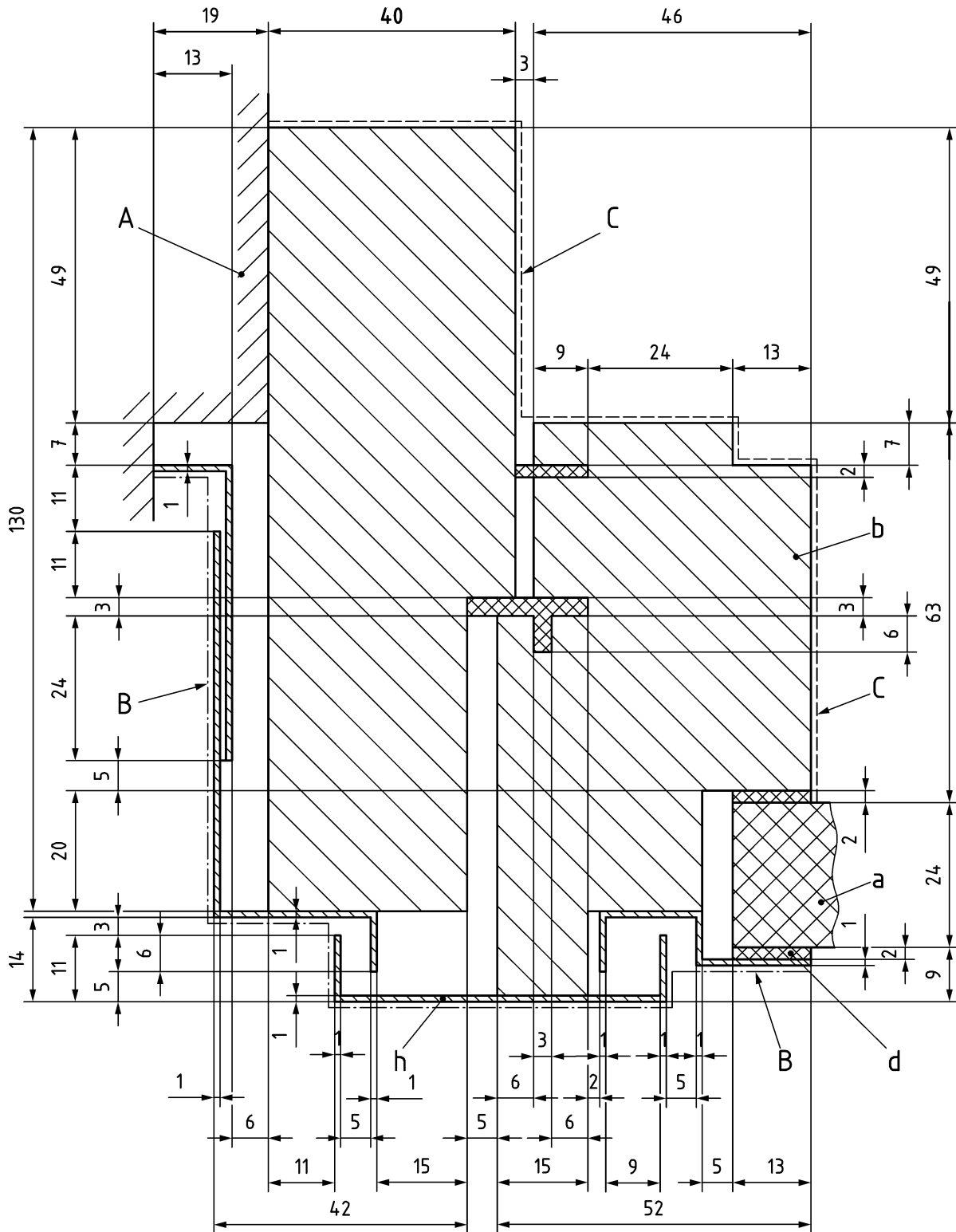
Figura H. 4 — Seção de perfil de PVC com reforço de aço e painel de isolante térmico

Dimensões em milímetros



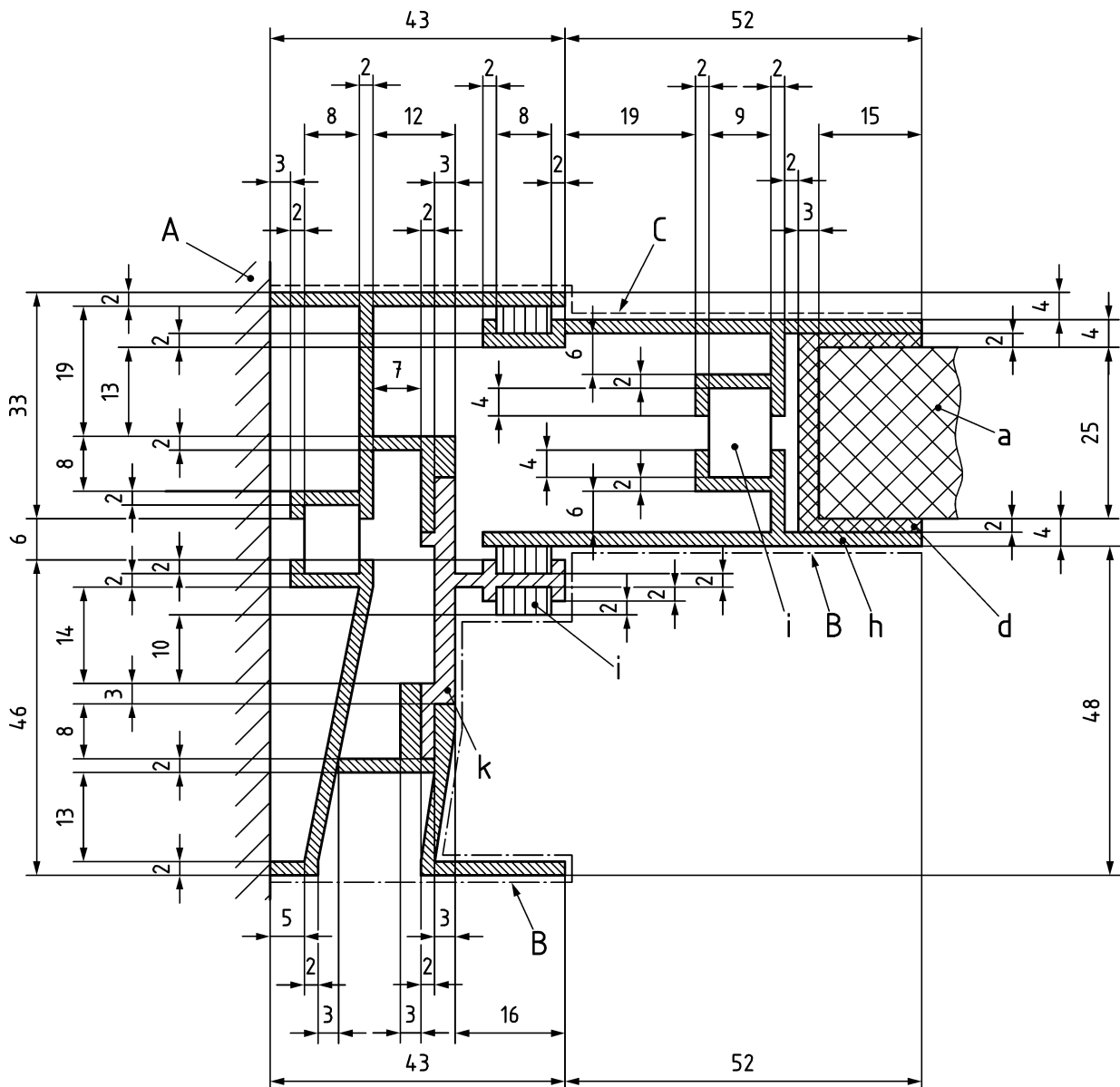
NOTA A largura projetada do perfil, b_r , é de 110 mm.

Figura H. 5 — Seção de perfil de madeira e painel de isolante térmico



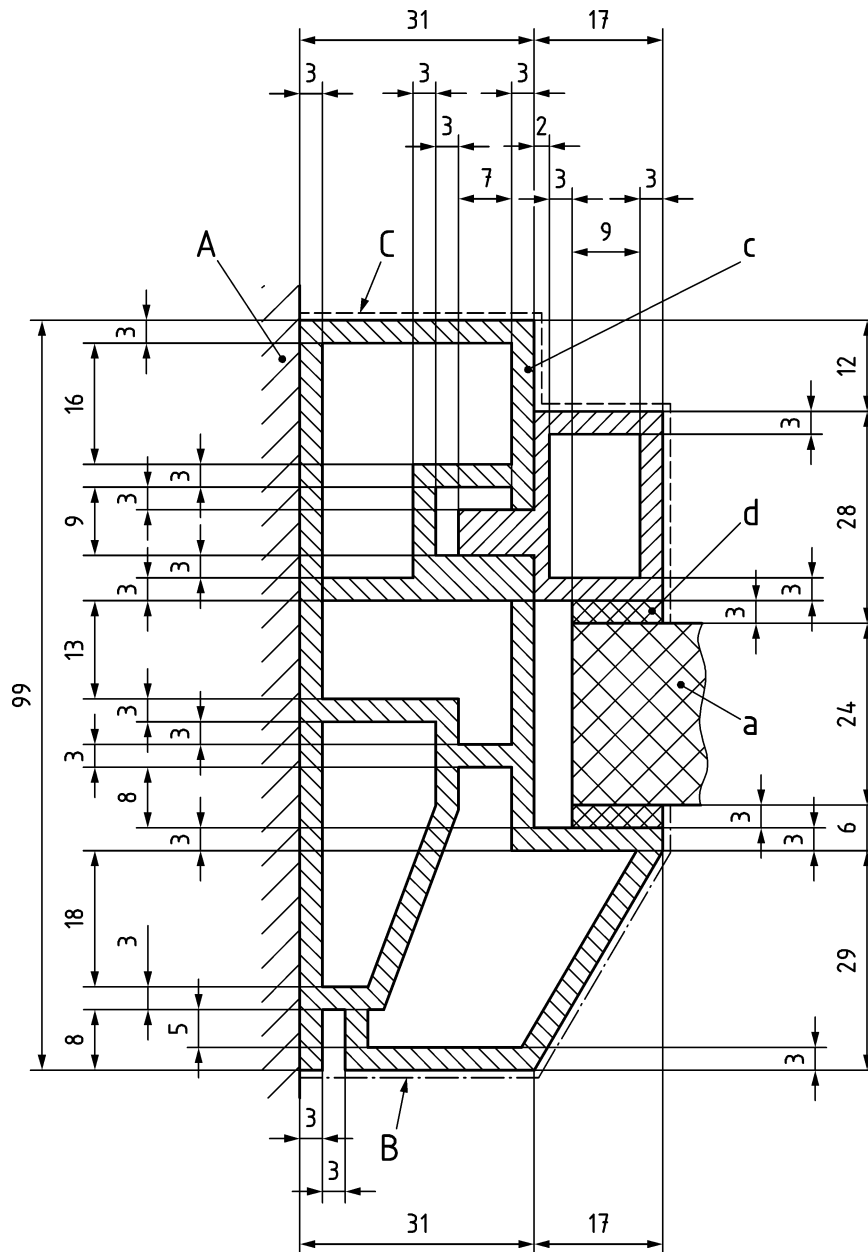
NOTA A largura projetada do perfil, b_f , é de 89 mm.

Figura H. 6 — Seção de perfil de janela de cobertura e painel de isolante térmico



NOTA A largura projetada do quadro, b_f , é de 95 mm.

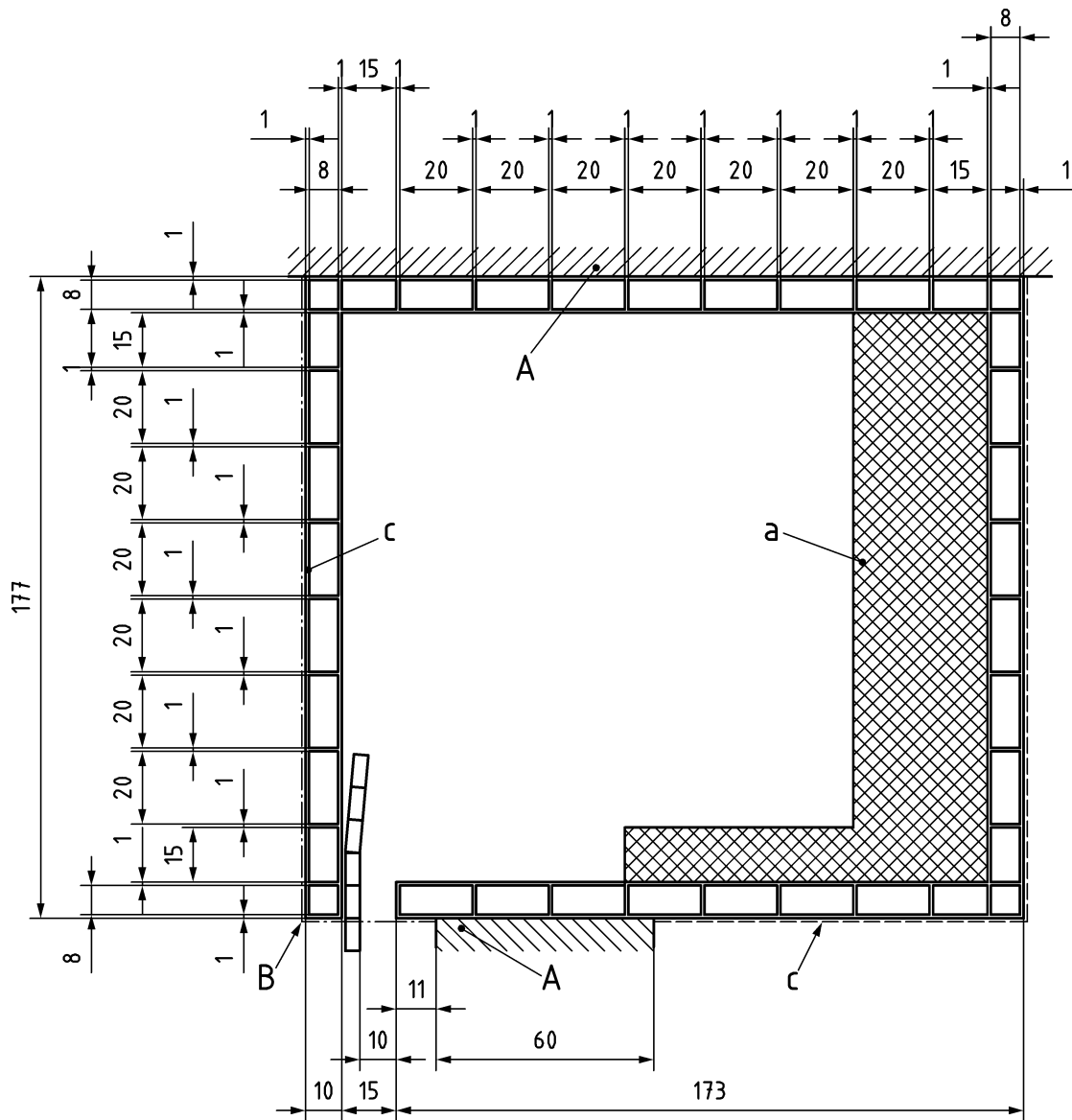
Figura H.7 — Seção de perfil de janela de correr e painel de isolante térmico



NOTA A largura projetada do perfil, b_f , é de 48 mm.

Figura H.8 — Seção de perfil fixo e painel de isolante térmico

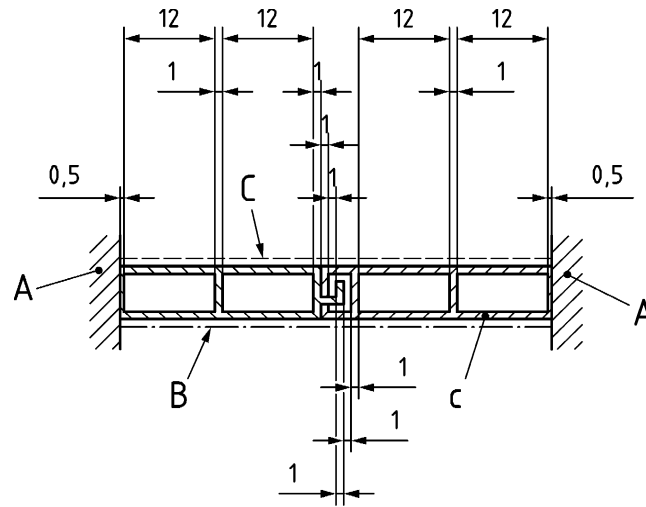
Dimensões em milímetros



NOTA A largura da caixa da persiana, b_{sb} , é de 177 mm.

Figura H.9 — Caixa de persiana de enrolar

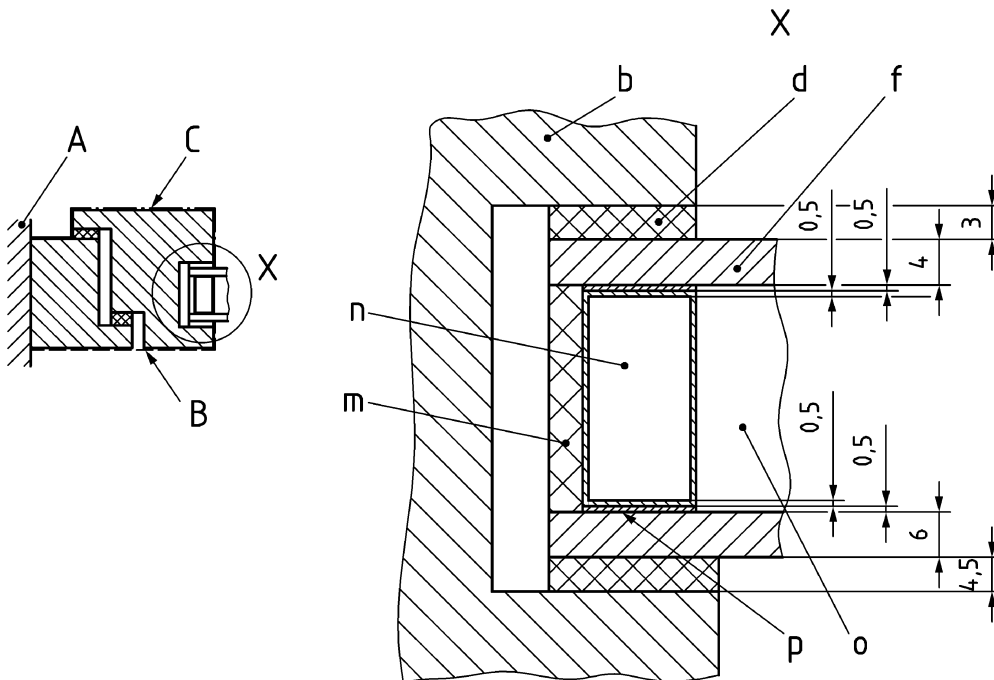
Dimensões em milímetros



NOTA O perfil da persiana de PVC, *b*, é de 57 mm.

Figura H.10 — Perfil da persiana de PVC

Dimensões em milímetros



NOTA Ver Figura H.5.

Figura H. 11 — Exemplo para a determinação de uma transmitância térmica linear de uma seção de perfil de madeira e de um vidro com $U_g = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, com um sistema convencional de borda de vidro

Para obter uma transmitância térmica da unidade de vidro insulado, U_g , de $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, o espaço da unidade de vidro insulado é preenchido com um material sólido, marcado como "o", com uma condutividade térmica de $0,034 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

H.3 Resultados

Tabela H.3 — Condução térmica calculada L^{2D} e transmitância térmica

Exemplo	L^{2D} W/(m·K)	U_f W/(m ² ·K)
Figura H.1	0,539	3,11
Figura H.2	0,508	2,83
Figura H.3	0,252	1,35
Figura H.4	0,400	1,86
Figura H.5	0,344	1,34
Figura H.6	0,407	2,07
Figura H.7	0,637	4,44
Figura H.8	0,281	1,23
Figura H.9	0,188	1,06
Figura H.10	0,208	3,64

NOTA Para evitar erros de arredondamento, os valores são dados a três algarismos significativos.

Tabela H. 4 — Condução térmica calculada, L_{ψ}^{2D} , e transmitância térmica linear

Exemplo	L_{ψ}^{2D} W/(m·K)	ψ W/(m·K)
Figura H.11	0,478	0,083

Anexo I (normativo)

Exemplos de perfis de janelas para validação de programas de cálculo utilizando o método de condutividade térmica de equivalente único para o tratamento de cavidades

I.1 Geral

Este Anexo apresenta critérios para a validação de um programa de cálculo. Conforme indicado em 5.3, a aplicação de um programa para enquadrar seções nas Figuras I.1 a I.10 leva a resultados para L2D diferentes em não mais do que 3 % daqueles dados nas Tabelas I.3 e I.4.

I.2 Figuras

Nas Figuras I.1 a I.10, aplica-se a legenda mostrada nas Tabelas I.1 e I.2.

Tabela I. 1 — Limites

Legenda	Resistência superficial, R_s $m^2 \cdot K/W$	Temperatura, θ $^{\circ}C$
A adiabático	Infinito	—
B externo	Ver Anexo E	0
C interno	Ver Anexo E	20

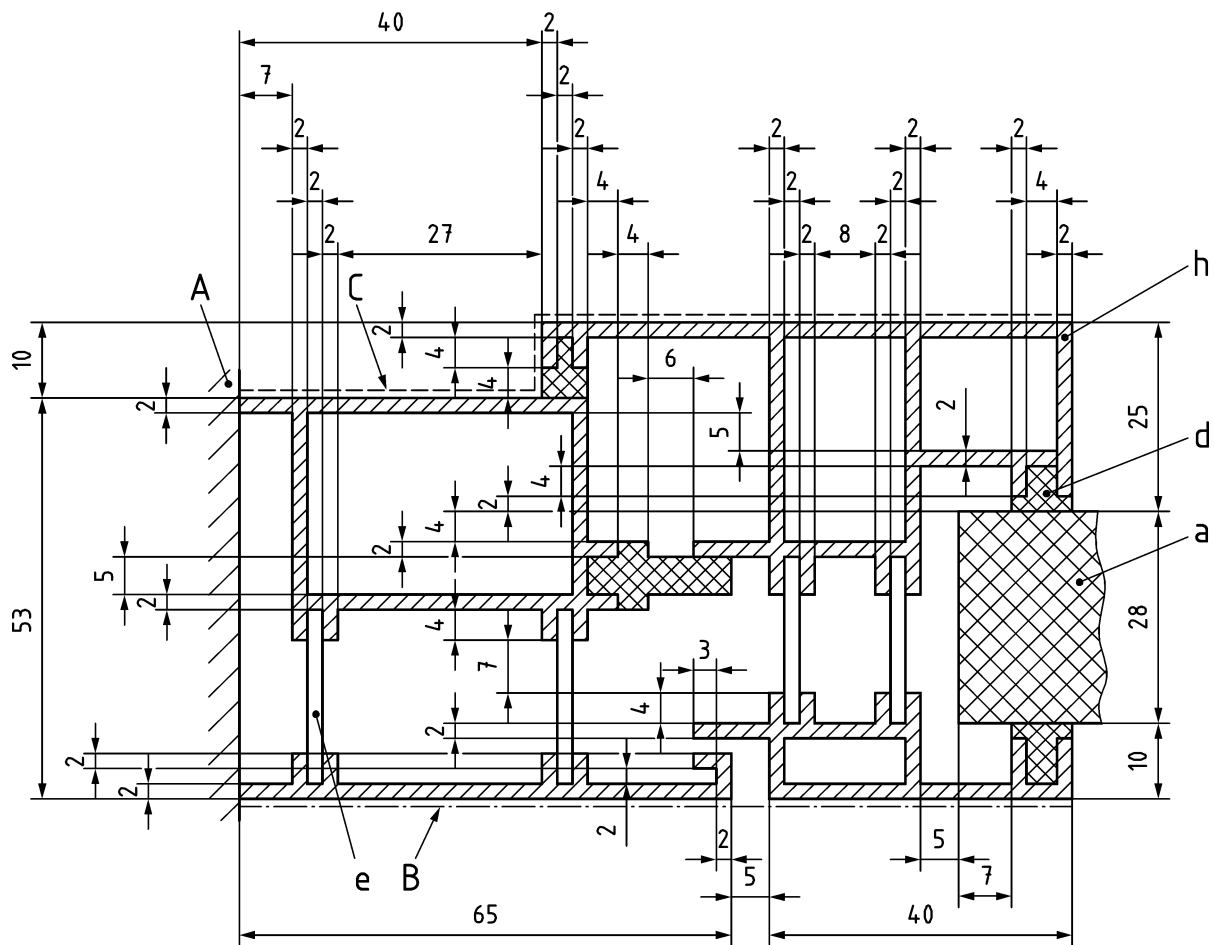
Tabela I. 2 — Materiais

Legenda	Material	Condutividade térmica, λ $W/(m \cdot K)$
a	Painel de isolante térmico	0,035
b	Madeira macia	0,13
c	PVC	0,17
d	EPDM	0,25
e	Poliamida 6,6 com 25 % de fibra de vidro	0,3
f	Vidro	1,0
g	Aço	50
h	Alumínio ^a	160
i	Escova de vedação (<i>mohair</i> de poliéster)	0,14
k	Poliamida	0,25
l	PU (poliuretano), rígido	0,25
m	Polissulfeto	0,40
n	Gel de sílica (dessecante)	0,13

Legenda	Material	Condutividade térmica, λ W/(m·K)
o	Enchimento de gás	0,034 ^b
p	Poliisobutileno	0,20

^a Todas as superfícies têm emissividade 0,9.
^b Condutividade térmica equivalente do gás de preenchimento.

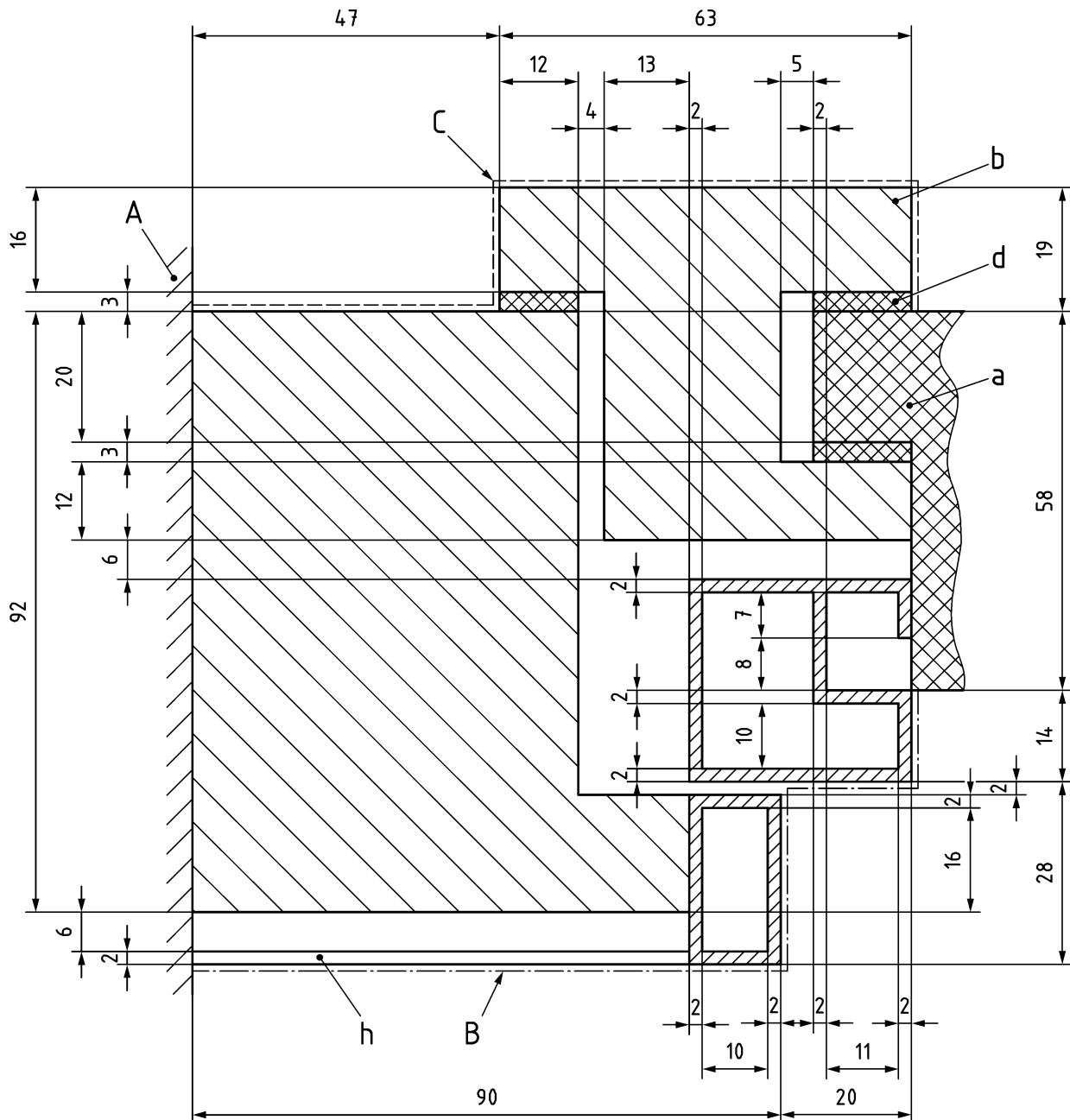
Dimensões em milímetros



NOTA 1 A largura projetada do perfil, b_f , é de 110 mm.

NOTA 2 A emissividade de todas as superfícies é igual a 0,9.

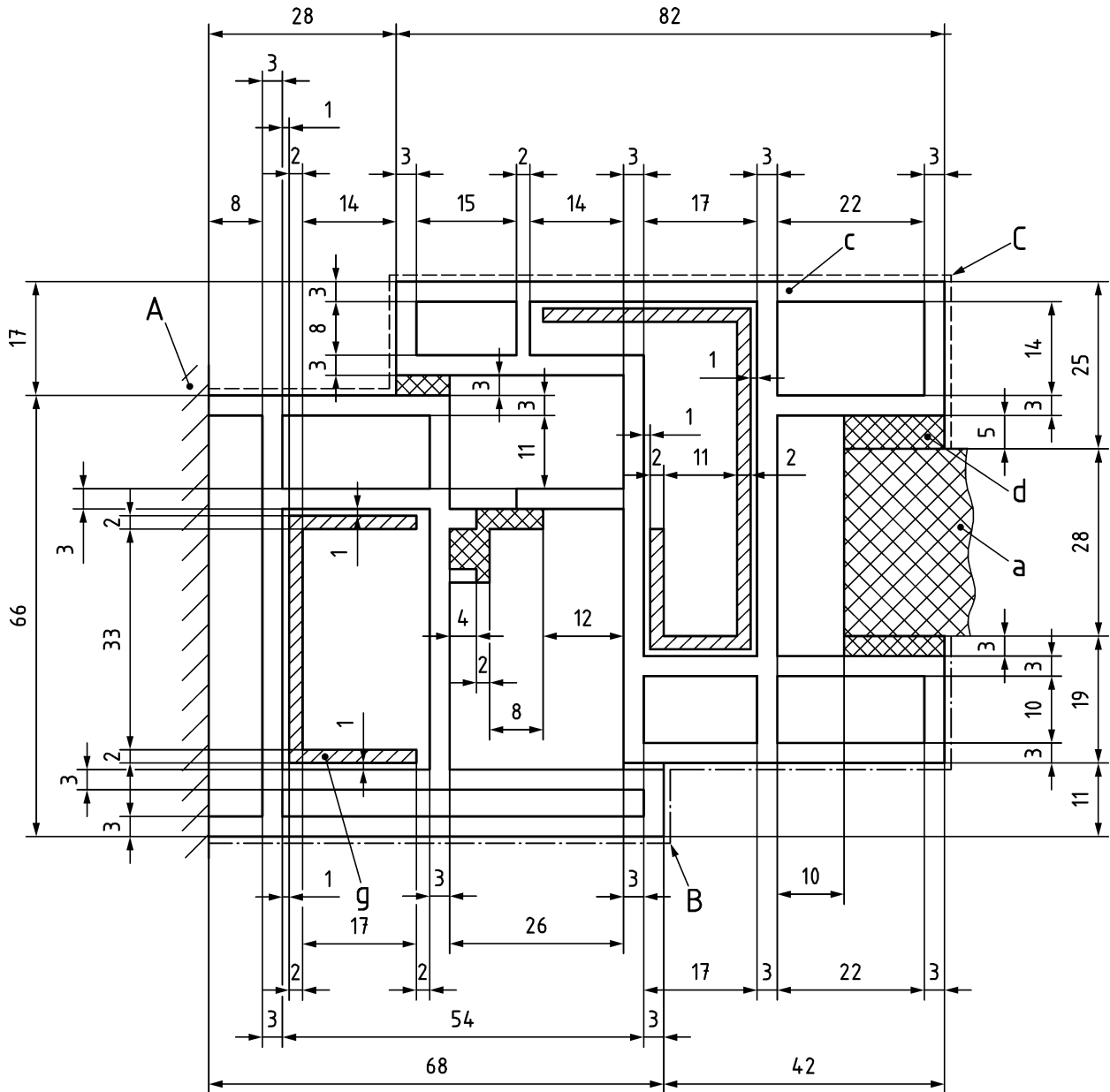
Figura I.1 — Seção de perfil de alumínio com *thermal break* e painel de isolante térmico



NOTA A largura projetada do perfil, b_r , é de 110 mm.

Figura I.2 — Seção de perfil de madeira revestido de alumínio e painel de isolante térmico

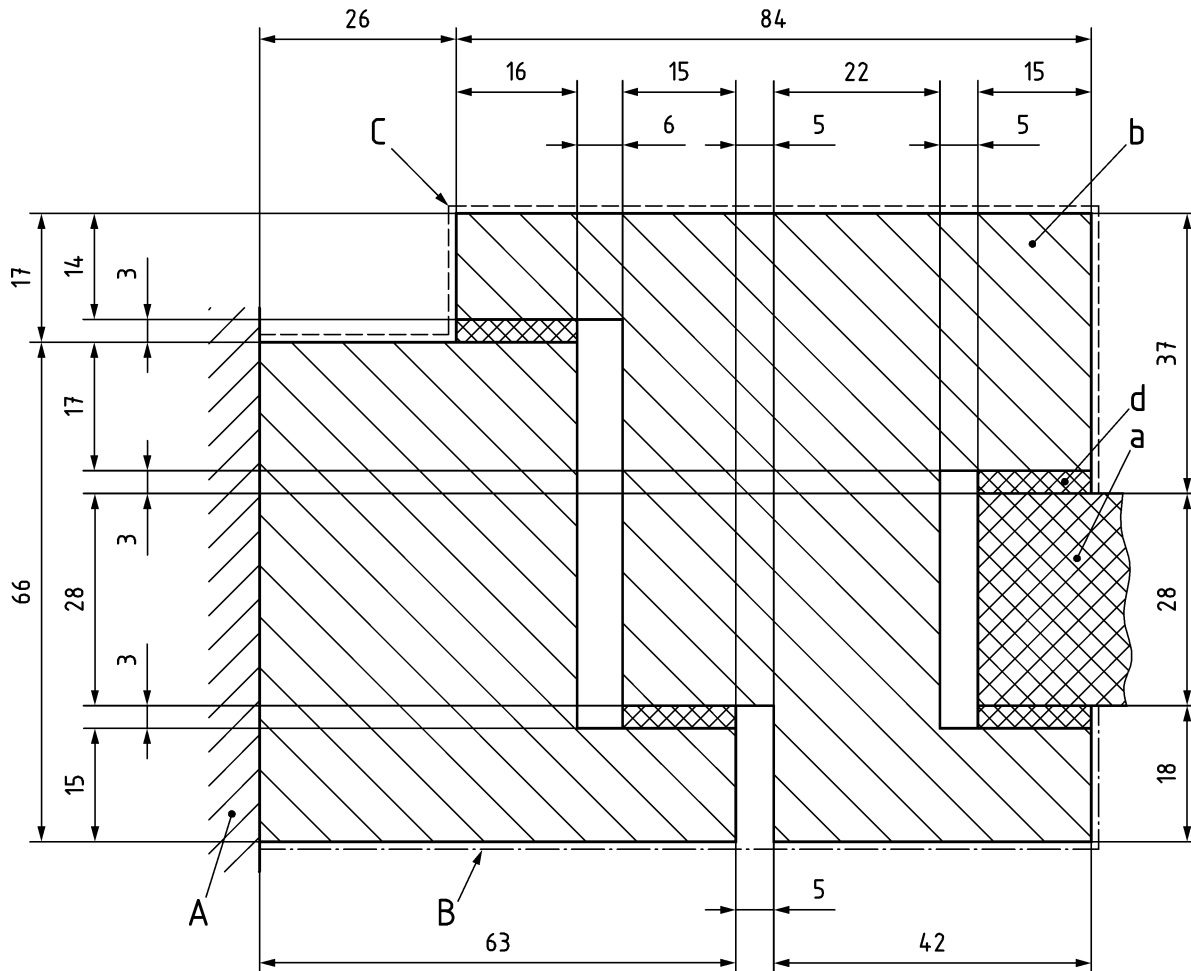
Dimensões em milímetros



NOTA A largura projetada do perfil, b_f , é de 110 mm.

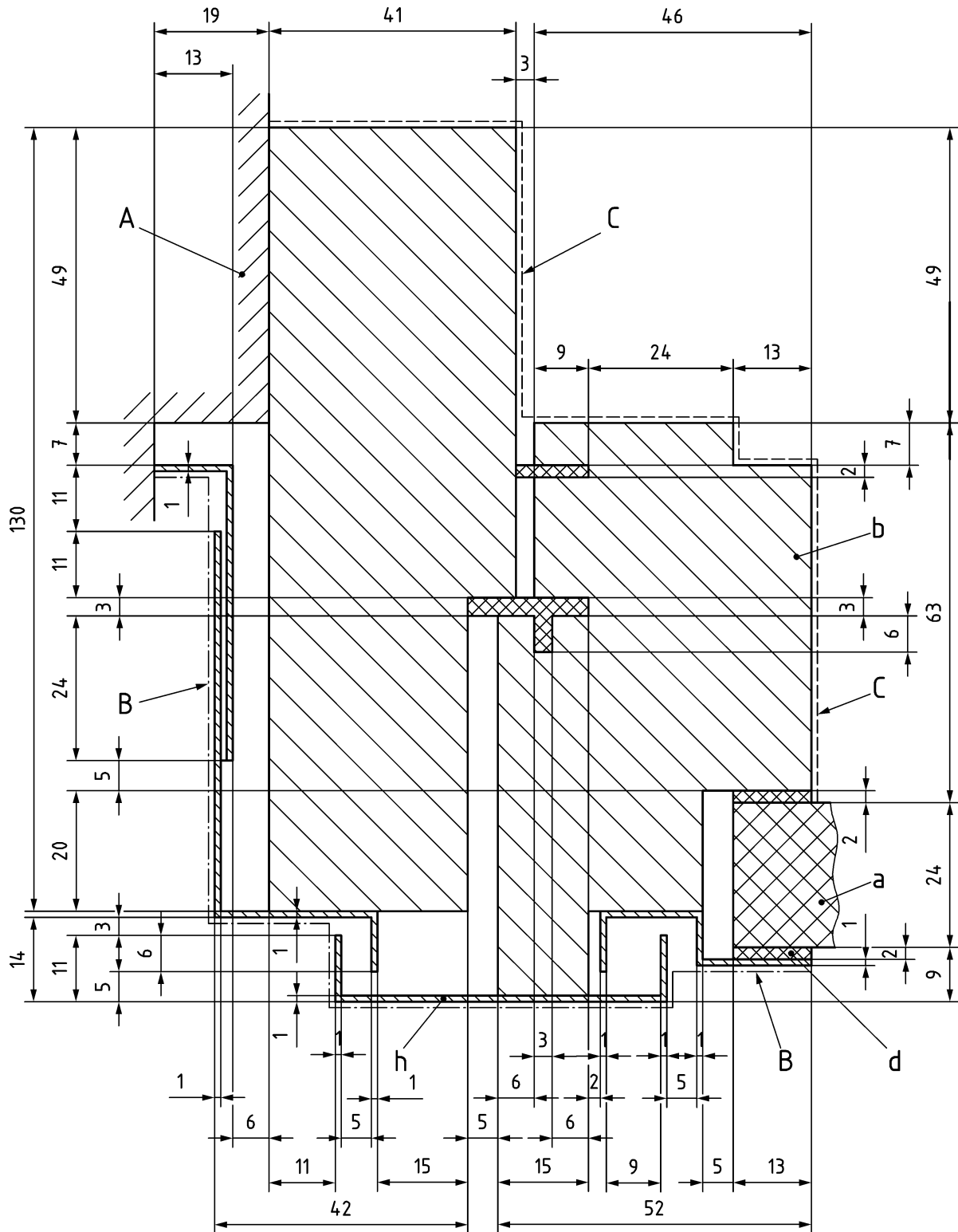
Figura I.3 — Seção de perfil de PVC com reforço de aço e painel de isolante térmico

Dimensões em milímetros



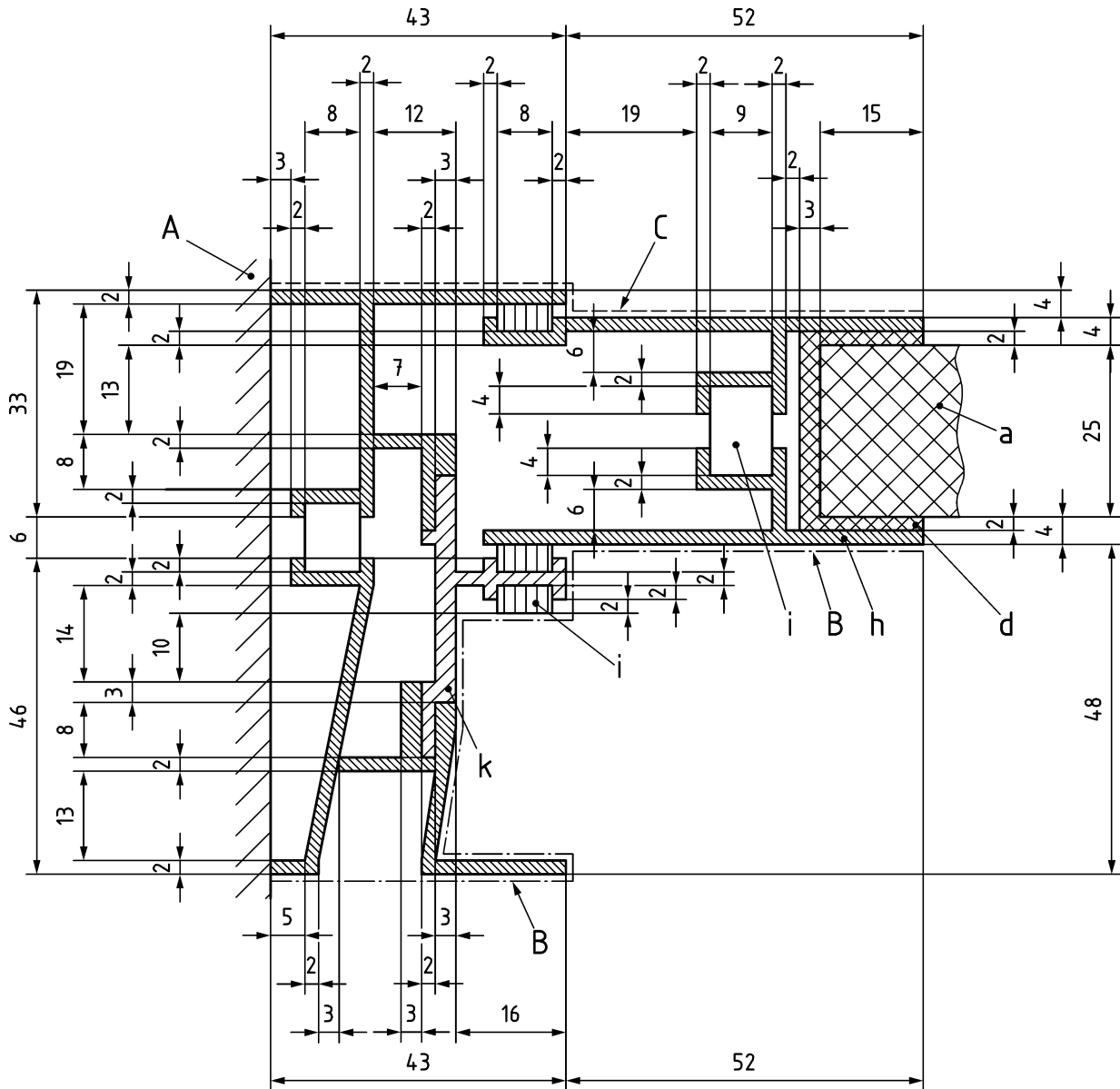
NOTA A largura projetada do perfil, b_f , é de 110 mm.

Figura I.4 — Seção de perfil de madeira e painel de isolante térmico



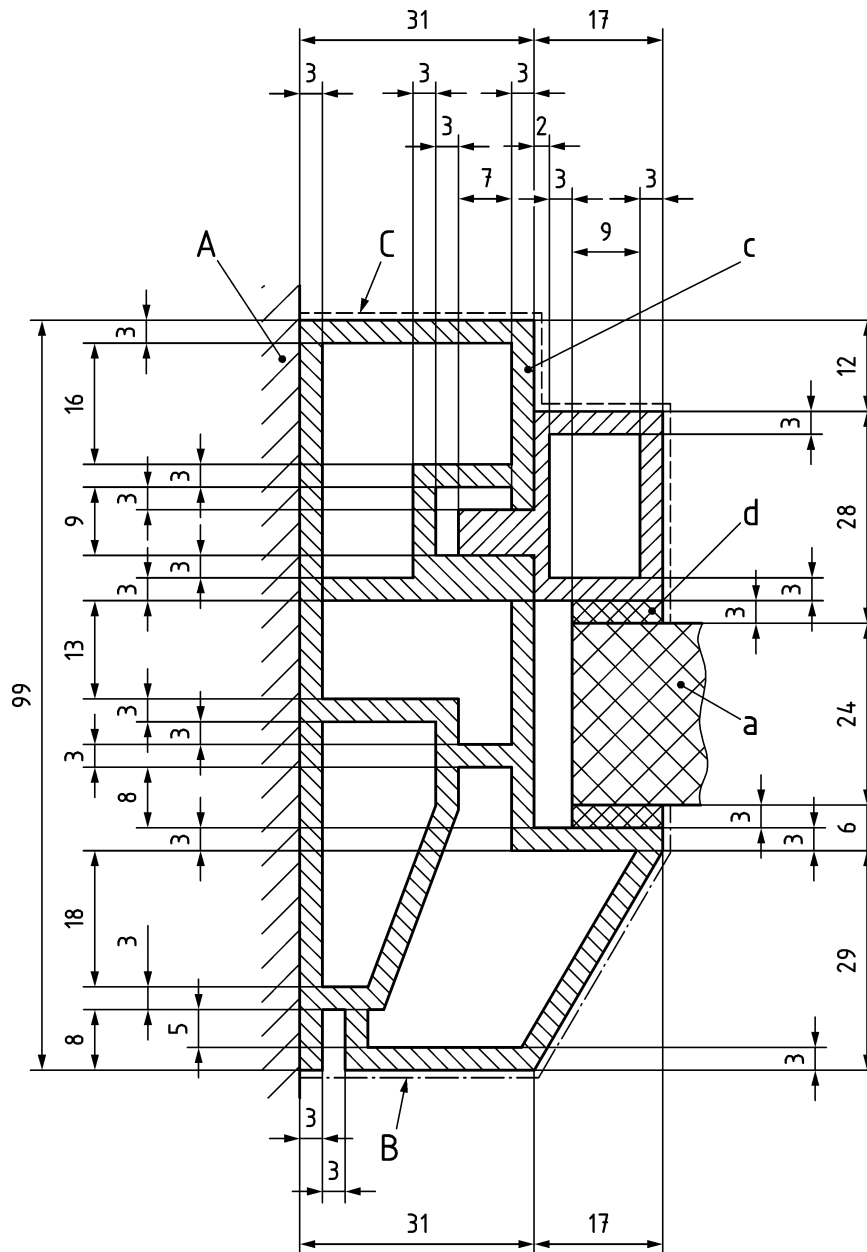
NOTA A largura projetada do perfil, b_r , é de 89 mm.

Figura I.5 — Seção de perfil de janela de cobertura e painel de isolante térmico



NOTA A largura projetada do perfil, b_f , é de 95 mm.

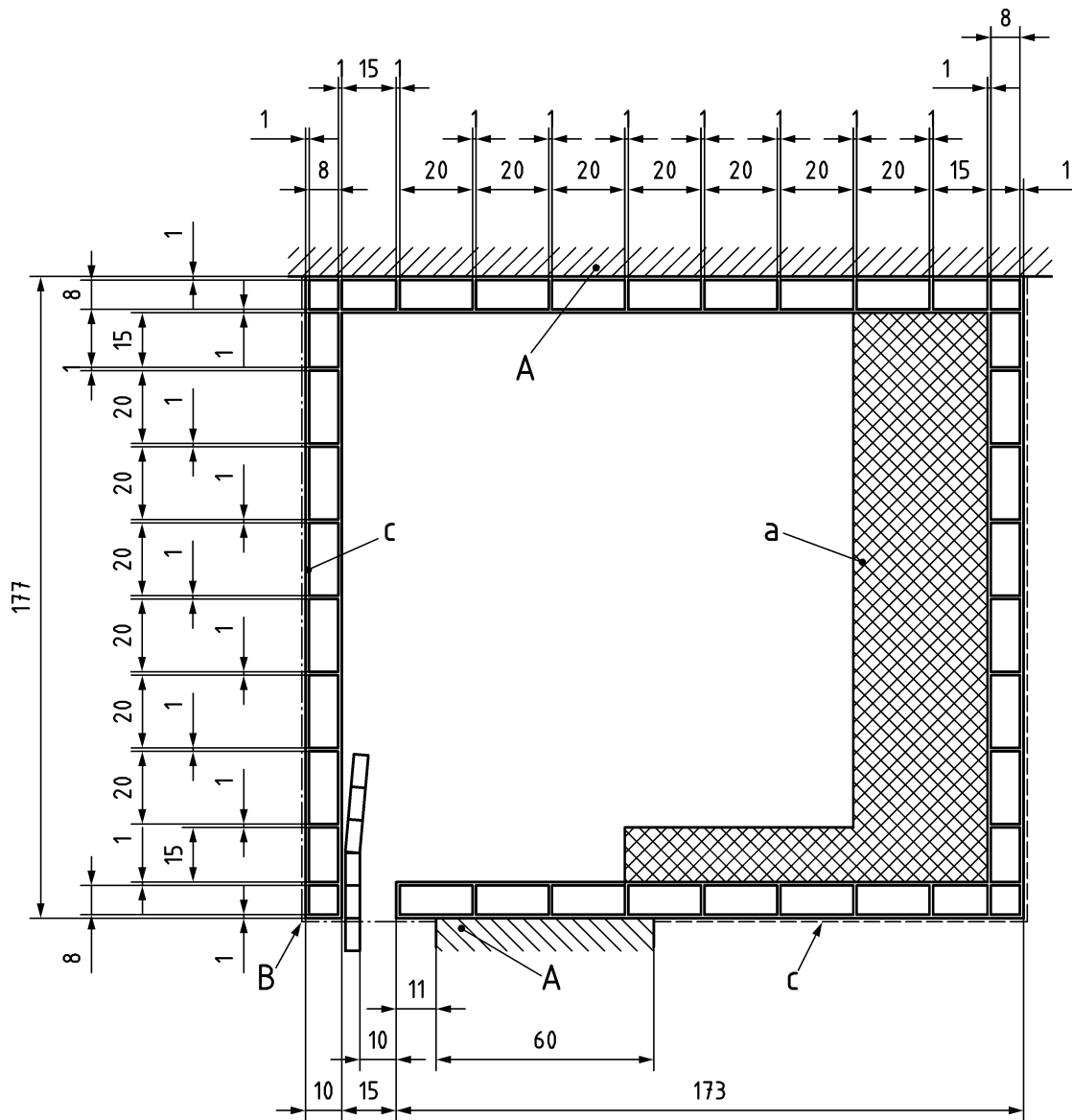
Figura I.6 — Seção de perfil de janela de correr e painel de isolante térmico



NOTA A largura projetada do perfil, b_r , é de 48 mm.

Figura I.7 — Seção de perfil fixo e painel de isolante térmico

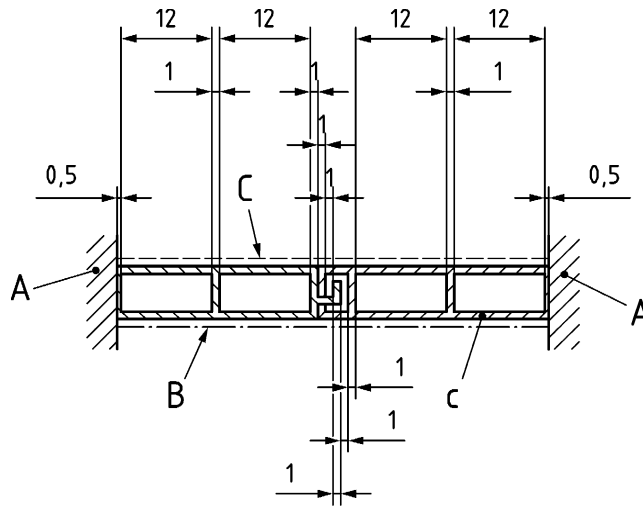
Dimensões em milímetros



NOTA A largura da caixa de persiana, b_{sb} , é de 177 mm.

Figura I.8 — Caixa de persiana de enrolar

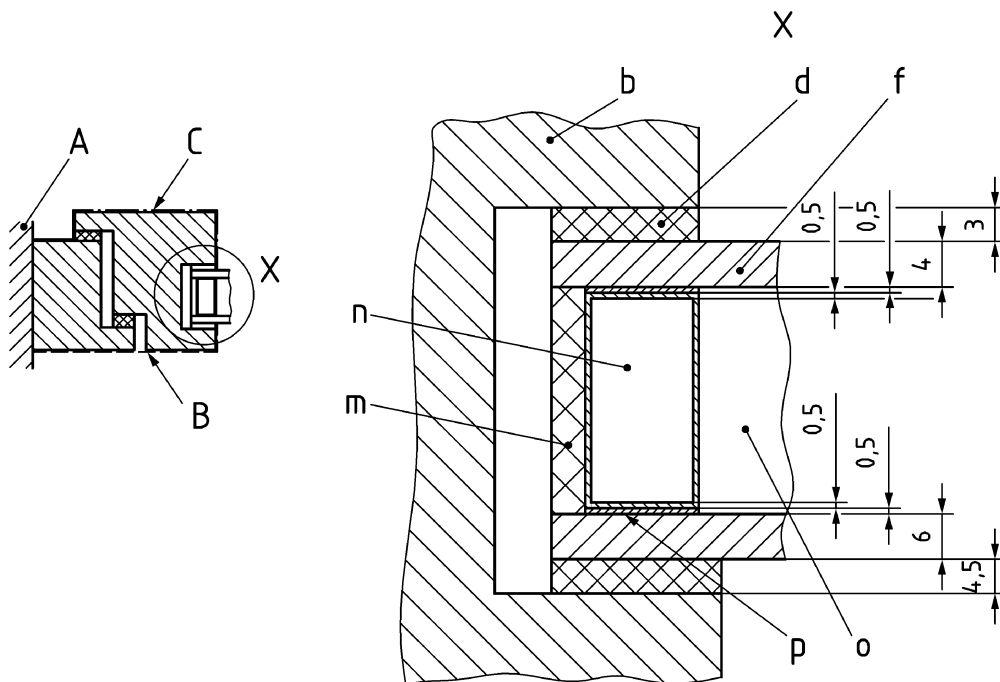
Dimensões em milímetros



NOTA O perfil da persiana de PVC, *b*, é de 57 mm.

Figura I.9 — Perfil da persiana de PVC

Dimensões em milímetros



NOTA Ver Figura H.5.

Figura I. 10 — Exemplo para a determinação de uma transmitância térmica linear de uma seção de perfil de madeira e de um vidro com $U_g = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, com um sistema convencional de borda de vidro

Para obter uma transmitância térmica da unidade de vidro isolante, U_g , de $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, o espaço da unidade de vidro insulado é preenchido com um material sólido, marcado como "o", com uma condutividade térmica de $0,034 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$.

I.3 Resultados

Tabela I.3 — Condução térmica calculada, L^{2D} , e transmitância térmica

Exemplo	L^{2D} W/(m·K)	U_f W/(m ² ·K)
Figura I.1	0,550 (0,007)	3,22 (0,06)
Figura I.2	0,263 (0,001)	1,44 (0,03)
Figura I.3	0,424 (0,006)	2,07 (0,06)
Figura I.4	0,346 (0,001)	1,36 (0,01)
Figura I.5	0,408 (0,007)	2,08 (0,08)
Figura I.6	0,659 (0,008)	4,67 (0,09)
Figura I.7	0,285 (0,002)	1,31 (0,03)
Figura I.8	0,181 (0,003)	1,05 (0,02)
Figura I.9	0,207 (0,001)	3,64 (0,01)

NOTA Para evitar erros de arredondamento, os valores são dados a três algarismos significativos.

Tabela I. 4 — Condução térmica calculada, L_{ψ}^{2D} , e transmitância térmica linear

Exemplo	L_{ψ}^{2D} W/(m·K)	ψ W/(m·K)
Figura I.10	0,481 (0,004)	0,084 (0,004)

Os dados entre parênteses nas Tabelas I.3 e I.4 são desvios-padrão de um cálculo de *round-robin* de nove instituições da Europa e da América do Norte (junho de 2000).



Anexo J
(normativo)
Espécies de madeira listadas no Anexo D

Nome botânico	Abreviação	Nome em inglês	Nome em francês	Nome em alemão	Nome em português
<i>Abies alba</i>	ABAL	Silver fir	Sapin blanc	Tanne, Weißtanne	Tanne, Abeto-branco
<i>Azelia Spp.</i>	AFXX	Azélia	Doussié	Azélia	Chanfuta
<i>Calophyllum Spp.</i>	CLXX	Bintangor	Bintangor	Bintangor	Jacaréuba-guanandi, olandi, guanandi.
<i>Cilindricum de entandrofragma</i>	ENCY	Sapele	Sapelli	Sapelli	Sapele ou sapeli
<i>Entandrofragma útil</i>	ENUT	Utile	Sipo	Sipo	Sipo
<i>Eucalipto delegados</i> <i>Eucalipto obliqua</i> <i>Regnans de eucalipto</i>	EUXX	“Tasmania n oak”	« chêne de Tasmanie »	„Tasmanian oak“	Eucalipto
<i>Eucalipto globulus</i>	EUGL	southern blue gum	eucalyptus bleu	Blue gum, Globulus	eucalipto, eucalipto-comum e eucalipto-limão
<i>Eucalipto saligna</i> <i>Eucalipto grandis</i> <i>Eucalyptus urophylla</i> <i>Eucalipto urograndis</i>	EUSL EUGR EUUP EUUG	saligna gum eucalyptus	eucalyptus saligna eucalyptus	Sidney blue gum Eukalyptus	Eucalipto, saligna
<i>Heritiera Spp.</i>	HEXM	mengkulang	mengkulang	Mengkulang	Niangon,
<i>Heritiera eu uso</i> <i>Heritiera densiflora</i>	HEXN	niangon	niangon	Niangon	Niangon, ogoue
<i>Intsia bijuga</i> <i>Intsia palembanica</i>	INXX	merbau	merbau	Merbau	merbau
<i>Khaya Spp.</i>	KHXX	African mahogany	Acajou d’afrique	Khaya (Mahagoni)	Mogno africano
<i>Larix Spp.</i> <i>Larix decidua</i> <i>Larix x eurolepis</i> <i>Larix gmelina</i> <i>Larix oocarpa</i>	LAXX LADC ABAIXAR LAGM LAOC	Larch European larch Dunkeld larch Siberian larch Western larch	mélèze mélèze d’Europe mélèze de Dunkeld mélèze de Sibérie western larch	Lärche Lärche Dunkeld-Lärche Sibirische Lärche Kanadische Lärche	Lariço-europeu, Pinus
<i>Milicia excels</i> <i>Milicia regia</i>	MIXX	iroko	iroko	Iroko, Kambala	Amoreira Africana, irôco, gameleira, kambala



ABNT/CB-002
PROJETO 002:135.007-001/2 (ISO 10077-2)
JUL 2023

Nome botânico	Abreviação	Nome em inglês	Nome em francês	Nome em alemão	Nome em português
<i>Rubra de Ocotea</i>	OCRB	red louro	louro vermelho	Louro vermelho	Louro Rosa (Brazil); Louro Mogno (Brazil); Louro Canela (Brazil); Gamela (Brazil); Canela Vermelha (Brazil); Louro Vermelho (Brazil); Louro-Tamanco (Brazil); Louro-Preto (Brazil); Louro-Freijó (Brazil); Louro (Brazil); Fruta-De-Pombo (Brazil)
<i>Picea abies</i>	PCAB	Norway spruce	épicéa	Fichte	pinheiro-da-noruega, Abeto-falso, Espruce-da-Noruega, Espruce-europeu, abeto alemão casquinha branca ou Píce-europeia
<i>Picea glauca</i>	PCGL	white spruce	eastern spruce	Western white spruce, Weißfichte	Pinheiro-do-canadá, abeto-branco e abeto-do-canadá
<i>Picea sitchensis</i>	PCST	Sitka spruce	Sitka spruce	Sitka spruce, Sitkafichte	Abeto sitka
<i>Parashorea Spp.</i>	PHMG	meranti gerutu	gerutu	Gerutu, Heavy White Seraya	Mogno Filipino, Luan, Meranti e Balau
<i>Parashorea Spp.</i>	PHWS	white seraya	white seraya	Light white seraya	Mogno Filipino, Luan, Meranti e Balau
<i>Pometia pinnata</i>	PMPN	taun	kasai	Kasai, Matoa	matoa, árvore taun, lichia da ilha, tava, lichia do Pacífico
<i>Pinus torcido</i>	PNCN	lodgepole pine	pin de Murray	Lodgepole Pine, Drehkiefer	Pinheiro-da-Praia
<i>Pinus sylvestris</i>	PNSY	Scots pine	pin sylvestre	Kiefer, Föhre	pinheiro-de-casquinha, casquinha vermelha
<i>Pseudotsuga menziesii</i>	PSMN	Oregon pine "Douglas fir"	Douglas (pin d'Oregon)	Oregon Pine, Douglasie	Abeto de Douglas
<i>Quercus Spp.</i>	QCXA QCXE	American White Oak European oak	Chêne blanc d'Amérique chêne	Amerikanische Weißeiche Eiche	Carvalho
<i>Robinia pseudoacacia</i>	ROPS	robinia (Black locust)	robinier	Robinie	acácia-bastarda, falsa-acácia, robínia, acácia-branca
<i>Shorea Spp.</i>	SHDR	dark red meranti	dark red meranti	Dark red meranti	Mogno Filipino, Luan, Meranti e Balau
<i>Shorea Spp.</i>	SHLR	light red meranti	light red meranti	Light red meranti	Mogno Filipino, Luan, Meranti e Balau
<i>Macrofisia swietenia</i>	SWMC	American mahogany ^a	Acajou d'Amérique ^a	Amerikanisches Mahagoni ^a	mogno, aguano, araputanga, cedro-i, mogno-brasileiro



Nome botânico	Abreviação	Nome em inglês	Nome em francês	Nome em alemão	Nome em português
<i>Tectona Link</i>	TEGR	teak	teck	Teak	teca
<i>Terminalia ivorensis</i>	TMIV	idigbo	framiré	Framiré	Sete-copas, capitão, capitão-do-mato, capitão-do-campo
<i>Tieghemella africana</i> <i>Tieghemella heckelii</i>	TGAF TGHC	makoré makoré	douka makoré	Makoré Makoré	Bavili, Douka, Duka, Fang, N'Duka, Okola, makoré
<i>Thuja Plicata</i>	THPL	"western red cedar"	"western red cedar"	„western red cedar”, Rotzeder	Tuia-gigante
<i>Heterofilla Tsuga</i>	TSHT	western hemlock	western hemlock	Western hemlock, Hemlock	Western hemlock

^a A espécie *Swietenia macrophylla* (SWMC, American Mahogany) está listada como "espécie ameaçada", conforme o acordo CITES. A disponibilidade pode, portanto, ser restrita.

NOTA 1 Os códigos e nomes foram retirados da EN 13556, sempre que possível.

NOTA 2 A abreviação spp. (espécie *pluralis*) significa que tal sortimento pode incluir madeiras (semelhantes) originárias de várias espécies botânicas.

NOTA 3 Nomes entre aspas (" ") são nomes comerciais que se tornaram comuns pelo uso de longa data. Tais denominações, no entanto, não são corretas do ponto de vista botânico.

Bibliografia

- [1] ISO 6946, *Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation methods*
- [2] ABNT NBR ISO 10077-1, *Desempenho térmico de janelas, portas e persianas — Cálculo da transmissão térmica — Parte 1: Geral*
- [3] ISO 12631, *Thermal performance of curtain walling – Calculation of thermal transmittance*
- [4] ISO 15099, *Thermal performance of windows, doors and shading devices – Detailed calculations*
- [5] ISO/TR 52000-2, *Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part 2: Explanation and justification of ISO 52000-1*
- [6] ISO/TR 52022-2, *Energy performance of buildings – Thermal, solar and daylight properties of building components and elements – Part 2: Explanation and justification*
- [7] EN 12412-2, *Thermal performance of windows, doors and shutters — Determination of thermal transmittance by hot box method — Part 2: Frames*
- [8] EN 12664, *Thermal performance of building materials and products — Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods — Dry and moist products of medium and low thermal resistance*
- [9] EN 13556, *Round and sawn timber — Nomenclature of timbers used in Europe*
- [10] CEN/TS 16628, *Energy Performance of Buildings — Basic principles for the set of EPB standards*
- [11] CEN/TS 16629, *Energy Performance of Buildings — Detailed technical rules for the set of EPB standards*
- [12] IFT ROSENHEIM, *Thermally improved spacers — Part 1: Determination of representative Ψ -values for profile sections of windows*, ift Guideline WA-08engl/3, February 2015
- [13] MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. *Fichas de características das madeiras brasileiras*. 2. ed. [s. l.]: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. ISBN 8509000468.