



Desempenho térmico de edificações

Parte 2: Componentes e elementos construtivos - Resistência, transmitância térmica - Métodos de cálculo

Prefácio

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 por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

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

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) chama atenção para a possibilidade de que alguns dos elementos deste documento podem ser objeto de direito de patente. A ABNT não deve ser considerada responsável pela identificação de quaisquer direitos de patentes.

A ABNT NBR 15220-2 foi elaborada 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).

Esta Norma é uma adoção modificada da ISO 6946:2017, que foi elaborada pelo *Technical Committee Thermal performance and energy use in the built environment* (ISO/TC 163) em colaboração com o *Technical Committee Thermal performance of buildings and building components* (CEN/TC 89).

Nesta Norma, as modificações são apresentadas dentro de caixas de texto. Os desvios técnicos e suas justificativas são apresentados no Anexo N-B.

A ABNT NBR 15220-2 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, bem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data, devendo, neste caso, ser utilizada a versão anterior da ABNT NBR 15220-2:2005.

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:



Scope

This document provides the method of calculation of the thermal resistance and thermal transmittance of building components and building elements, excluding doors, windows and other glazed units, curtain walling, components which involve heat transfer to the ground, and components through which air is designed to permeate.

The calculation method is based on the appropriate design thermal conductivities or design thermal resistances of the materials and products for the application concerned.

The method applies to components and elements consisting of thermally homogeneous layers (which can include air layers).

This document also provides an approximate method that can be used for elements containing inhomogeneous layers, including the effect of metal fasteners, by means of a correction term given in Annex F. Other cases where insulation is bridged by metal are outside the scope of this document.

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. Esta série denomina-se “conjunto de normas DEE”.

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

Todas as normas DEE proporcionam uma certa flexibilidade relacionada aos métodos e dados de entrada requisitados, além de referências para as 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 principal público alvo deste documento são os arquitetos, engenheiros e reguladores.

Uso por reguladores: Caso o documento seja utilizado no contexto de requisitos legais nacionais ou 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, ou 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 referir-se 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 que, nos casos em que os valores padronizados, as definições e as referências à outras normas

DEE no 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 para estas fichas de dados;
- ou, por padrão, o órgão de normalização nacional considerará a possibilidade de adicionar ou incluir um anexo nacional de acordo com o modelo do Anexo A, de acordo com os documentos legais que definam as opções e 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 52019-2^[1]), que acompanha este documento.

O subconjunto de normas DEE, preparado sob a responsabilidade do ISO/TC 163/SC 2 abrange, entre outros:

- procedimentos de cálculo da utilização global da energia e do desempenho energético de edificações;
- procedimento de cálculo da temperatura interna dos edifícios (por exemplo, no caso de aquecimento e refrigeração do ambiente);
- indicadores para requisitos de DEE parciais relacionados ao balanço termoenergético e às características da construção;
- métodos de cálculo que abrangem o desempenho e as características térmicas, higrotérmicas, solares e visuais de partes específicas da edificação, assim como de elementos e de componentes específicos do edifício, tais como os elementos opacos da envoltória, os pisos em contato com o solo, as janelas e fachadas.

A ISO/TC 163/SC 2 coopera com outros comitês técnicos para o detalhamento de equipamentos, de sistemas técnicos da edificação, do ambiente interno, etc.

Este documento fornece os meios (em parte) para avaliar a contribuição de produtos e serviços da edificação na conservação de energia e no seu desempenho energético global.

Este documento fornece métodos de cálculo para a transmitância térmica de paredes e coberturas:

- para permitir comparações entre os diferentes sistemas construtivos;
- para ajudar a avaliar a conformidade de acordo com regulamentações, e

- para fornecer dados de entrada para o cálculo do consumo anual de energia para aquecimento e refrigeração das edificações.

A Tabela 1 mostra a relação deste documento com o conjunto de normas DEE no contexto da estrutura modular estabelecida na ISO 52.000-1.

NOTA 2 A mesma tabela pode ser encontrada no relatório técnico ISO/TR 52000-2, com, em cada módulo, a indicação das normas DEE relevantes e os relatórios técnicos publicados ou em elaboração.

NOTA 3 Os módulos representam as normas DEE, embora uma norma DEE possa cobrir mais de um módulo, e um módulo possa ser coberto por mais de uma norma DEE; por exemplo, um método simplificado e detalhado respectivamente. Ver também Seção 2 e Tabelas A.1 e B.1.

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		Aquecimento	Refrigeração	Ventilação	Umidificação	Desumidificação	Água Quente	Iluminação	Automação e controle predial	Fotovoltaico, células	
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	ISO 6946	Insuflação e controle									
6	Ocupação do edifício e condições de operação		Transferência térmica por infiltração e ventilação		Distribuição e controle									



ABNT/CB-002
PROJETO ABNT NBR 15220-2
AGOSTO 2021

Submódulo	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas Técnicos da Edificação									
	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Refrigeração	Ventilação	Umidificação	Desumidificação	Água Quente	Iluminação	Automação e controle central	Foto voltaico, células
sub1		M1		M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
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									
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.



Componentes e elementos construtivos — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo

1 Escopo

Este documento fornece o método de cálculo da resistência térmica e da transmitância térmica de elementos e componentes de edificações, excluindo portas, janelas e outros elementos envidraçados, fachadas-cortina, componentes que envolvem transferência de calor com o solo, e componentes projetados para serem permeáveis ao ar.

O método de cálculo baseia-se na apropriada condutividade e resistência térmicas de projeto dos materiais e produtos para a aplicação considerada.

Aplica-se aos componentes e elementos compostos por camadas termicamente homogêneas (podendo incluir as camadas de ar).

Este documento também fornece um método aproximado que pode ser utilizado para os elementos que contenham camadas não homogêneas, incluindo o efeito de fixações metálicas por meio de um termo de correção dado no Anexo F. Outros casos em que o isolamento é conectado por metal estão fora do escopo deste documento.

NOTA Na Tabela 1 da Seção Introdução é mostrada a relação deste documento com o conjunto de normas DEE no contexto da estrutura modular estabelecida na ISO 52000-1.

2 Referência normativa

Os documentos relacionados a seguir são citados no texto de forma que parte ou todo o seu conteúdo constituem requisitos a este documento. Para o caso de referências datadas, somente a edição citada se aplica. Para as referências sem data, adota-se a última edição do documento citado (incluindo quaisquer emendas).

ISO 7354, Thermal insulation – Physical quantities definitions

ISO 10211, Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations

ISO 10456, Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values

ISO 13789, Thermal performance of buildings – Transmission and ventilation heat transfer coefficients – Calculation method



ISO 52000-1:2017, Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part 1: General framework and procedures

NOTA 1 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 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 cobrindo o módulo M5-5).

NOTA 2 Este documento não possui opções de referências a outras normas DEE. A frase e nota acima são mantidas para preservar a uniformidade entre todas as normas DEE.

3 Termos e definições

Para os efeitos deste documento, aplicam-se os termos e definições da ISO 7345, ISO 52000-1 e os descritos abaixo.

A ISO e a IEC mantêm as bases de dados terminológicos para uso na normalização nos seguintes endereços:

- IEC Electropedia: disponível em <<http://www.electropedia.org/>>
- ISO Online browsing platform: disponível em <<http://www.iso.org/obp>>

3.1

elemento da edificação

parte principal de uma edificação

EXEMPLO: Parede, piso, telhado.

3.2

componente construtivo

elemento da edificação ou parte dele

Nota de entrada 1: Neste documento, a palavra “componente” é usada para indicar tanto o elemento quanto o componente.

3.3

valor térmico de projeto

condutividade térmica de projeto ou resistência térmica de projeto



Nota de entrada 1: O valor de projeto inclui os possíveis efeitos de degradação provenientes de, por exemplo, envelhecimento, umidade e/ou convecção. Em contraste com o valor declarado, que é aquele valor esperado de uma propriedade térmica de um material da edificação ou produto avaliado com base em dados de medição em condições de referência de temperatura e umidade, ver ISO 10456

3.4

condutividade térmica de projeto

valor de condutividade térmica de um material de construção ou produto sob condições externas e internas específicas que podem ser consideradas como típicas do desempenho deste material ou produto quando incorporado ao componente construtivo

3.5

resistência térmica de projeto

valor de resistência térmica de um produto de construção sob condições externas e internas específicas que podem ser consideradas como típicas do desempenho deste produto quando incorporado ao componente construtivo

3.6

norma DEE

norma que cumpre os requisitos determinados na ISO 52000-1, CEN/TS 16628^[3] e CEB/TS 16629^[4]

Nota de entrada1: Estes três documentos básicos do DEE foram desenvolvidos sob um mandato conferido ao CEN pela Comissão Europeia e Associação Europeia de Livre Comércio e apoiam os requisitos essenciais da Diretiva EU 2010/31/EU sobre o desempenho energético de edificações. Várias normas DEE e documentos relacionados são desenvolvidos ou revisados sob o mesmo mandato.

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

3.7

camada termicamente homogênea

camada com espessura constante cujas propriedades térmicas podem ser consideradas uniformes

3.8

capacidade térmica

quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema

3.9

capacidade térmica de projeto

quociente da capacidade térmica de um componente construtivo pela sua área

4 Símbolos e subscritos

4.1 Símbolos

Para fins deste documento, se aplicam os símbolos dados na ISO 52000-1, além dos seguintes:

Símbolo	Variável	Unidade
A	área	m^2
d	espessura	m
h	coeficiente de superfície de troca de calor	$W/(m^2 \cdot K)$
n	taxa de ventilação	1/h
R	resistência térmica	$m^2 \cdot K/W$
U	transmitância térmica	$W/(m^2 \cdot K)$
V	Volume	m^3
λ	condutividade térmica de projeto	$W/(m \cdot K)$

4.2 Subscritos

Para fins deste documento, se aplicam os subscritos dados na ISO 52000-1, além dos seguintes:

Subscrito	Identificação
a	ar
c	componente
eq	equivalente
e	externo
f	fixadores mecânicos
g	vazios de ar
nve	não ventilado
op	opaco
r	telhado invertido
s	superfície
si	superfície interna
se	superfície externa



Subscrito	Identificação
tot	total
tot;upper	limite superior do valor total
tot;lower	limite inferior do valor total
u	não condicionado
ve	ventilado, ventilação

5 Descrição do método

5.1 Resultados

Os resultados desta norma são a resistência térmica e a transmitância térmica de um componente ou elemento da edificação. Estas variáveis são calculadas em função das propriedades térmicas, composição e geometria dos elementos e das condições limite.

5.2 Descrição Geral

Existem dois métodos para o cálculo da transmitância térmica de um componente construtivo, conforme estabelecido em 5.3 e 5.4

Em ambos os casos, a resistência térmica é calculada a partir da transmitância térmica e das resistências superficiais aplicáveis, de acordo com 6.6.

5.3 Método de cálculo detalhado

O método de cálculo detalhado é a simulação numérica realizada em todo o elemento da edificação, ou em uma parte representativa dele. As regras de modelagem devem estar de acordo com a ISO 10211. Este método é válido para qualquer componente construtivo.

5.4 Método de cálculo simplificado

O método de cálculo simplificado é descrito na Seção 6. Este método é válido para os componentes constituídos por camadas termicamente homogêneas ou não homogêneas, e que podem conter camadas de ar de até 0,3 m de espessura, fixadores metálicos e sujeitos às limitações descritas em 6.7.2.1.

6 Cálculo da transmitância térmica e da resistência térmica

6.1 Resultados

Os resultados estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 — Resultados

Descrição	Símbolo	Unidade	Módulo de destino (Tabela 1)	Intervalo válido	Valor variável
transmitância térmica dos elementos ou componentes com fluxo de calor horizontal	U	W/(m ² ·K)	M 2–5	≥0	Não
transmitância térmica dos elementos ou componentes com fluxo de calor ascendente	U	W/(m ² ·K)	M2–5	≥0	Não
transmitância térmica dos elementos ou componentes com fluxo de calor descendente	U	W/(m ² ·K)	M2–5	≥0	Não
resistência térmica de componentes opacos	$R_{c;op}$	m ² ·K/W	M2–5	≥0	Não

6.2 Intervalo de tempo do cálculo

Os dados de entrada, o método e os resultados são adequados para as condições de estado estacionário, e assumem ser independentes das condições reais, como a temperatura interna ou o efeito do vento ou da radiação solar. Portanto, não existe a necessidade de considerar um intervalo de tempo específico.

6.3 Dados de entrada

As Tabelas 3, 4 e 5 listam os identificadores para os dados de entrada necessários para o cálculo.

Tabela 3— Identificadores para as características geométricas

Nome	Símbolo	Unidade	Valor	Faixa	Fonte	Valor variável
área	A	m ²	—	>0	—	Não
espessura da camada	d	m	—	>0	—	Não

Tabela 4 — Identificadores para as características térmicas dos componentes do edifício

Nome	Símbolo	Unidade	Valor	Faixa	Fonte	Valor variável
condutividade térmica de projeto	λ	W/(m·K)	—	0 a 200	ISO 10456	Não

Tabela 5 — Identificadores para valores tabulados e convencionais

Nome	Símbolo	Unidade	Valor	Faixa	Fonte	Valor variável
resistência superficial externa	R_{se}	m ² ·K/W	0,04	—	6.8	Não

Nome	Símbolo	Unidade	Valor	Faixa	Fonte	Valor variável
resistência superficial interna	R_{si}	$m^2 \cdot K/W$	—	0,1 a 0,2	6.8	Não
resistência térmica de espaços não condicionados	R_u	$m^2 \cdot K/W$	—	0,06 a 0,3	6.10	Não
resistência térmica da camada de ar	R_a	$m^2 \cdot K/W$	—	—	6.9	Não
resistência térmica da camada de ar não ventilada	$R_{tot,u}$	$m^2 \cdot K/W$	—	0 a 0,23	6.9	Não
resistência térmica da camada de ar ventilada	$R_{tot,e}$	$m^2 \cdot K/W$	—	—	6.9	Não
coeficiente de radiação para a superfície de um corpo negro	h_{r0}	$W/(m^2 \cdot K)$	5,1	—	Anexo C	Não
coeficiente de convecção; superfície interna	$h_{c,i}$	$W/(m^2 \cdot K)$	—	0,7 to 5,0	Anexo C	Não
coeficiente de convecção; superfície externa	$h_{c,e}$	$W/(m^2 \cdot K)$	20	—	Anexo C	Não
coeficiente de radiação; superfície interna	$h_{r,i}$	$W/(m^2 \cdot K)$	4,59	—	Anexo D	Não
coeficiente de radiação; superfície externa	$h_{r,e}$	$W/(m^2 \cdot K)$	5,13	—	Anexo D	Não
emissividade hemisférica da superfície	ε	—	0,9	—	Anexo D	Não

A Tabela 6 apresenta o identificador para uma constante.

Tabela 6 — Identificador para uma constante

Nome	Símbolo	Unidade	Valor	Faixa	Fonte	Variação
constante de Stefan-Boltzmann	σ	$W/(m^2 \cdot K^4)$	$5,67 \times 10^{-8}$	—	—	Não

Os dados de entrada relacionados aos produtos requeridos para o cálculo da transmitância térmica descrita neste documento devem ser os dados fornecidos pelas fabricantes, se estes forem declarados de acordo com as normas relevantes EN ou EN ISO dos produtos (na área da CEN) ou ISO equivalente ou normas nacionais (se fora da área CEN).

Outros dados de entrada, por exemplo, a dimensão das camadas dos componentes necessários para o método de cálculo descrito neste documento, devem ser adquiridos a partir do projeto dos elementos da edificação com todos os detalhes especificados neste documento.

6.4 Princípios do procedimento de cálculo simplificado



O princípio do método de cálculo é o seguinte:

- a) obter a resistência térmica de cada parte termicamente homogênea ou não homogênea dos elementos da edificação;
- b) combinar essas resistências individuais para obter a resistência térmica total do elemento da edificação, incluindo (quando apropriado) o efeito da resistência superficial;
- c) calcular a transmitância térmica, conforme fornecido em 6.5.2;
- d) as correções devem ser aplicadas nos valores de transmitância térmica de acordo com o Anexo F, quando a correção total exceder 3% da transmitância térmica calculada.

As resistências térmicas de camadas homogêneas individuais do elemento construtivo da edificação são obtidas de acordo com 6.7.1.1, e a resistência térmica total calculada de acordo com 6.7.1.2.

As resistências térmicas dos materiais em camadas não homogêneas do elemento construtivo da edificação são obtidas de acordo com 6.7.1.1 e, em seguida, devem ser empregadas como o valor da média aritmética dos limites superior e inferior de resistência térmica, de acordo com 6.7.2.2. A resistência térmica total do elemento da edificação é calculada de acordo com 6.7.2.

Os valores de resistência térmica superficial descritos em 6.8 são apropriados para a maioria dos casos. O Anexo C fornece os procedimentos detalhados para as superfícies de baixa emissividade, velocidades de vento externas específicas e superfícies não planas.

Camadas de ar de até 0,3 m de espessura podem ser consideradas termicamente homogêneas para os fins deste Documento. Os valores da resistência térmica de grandes camadas de ar não ventiladas e com superfícies de alta emissividade são descritos em 6.9.2. O Anexo D fornece os procedimentos para os demais casos.

Este método de cálculo da transmitância térmica é aplicável entre os ambientes em ambos os lados do componente em questão; por exemplo, ambientes internos e externos, dois ambientes internos no caso de uma divisão interna, um ambiente interno e um espaço sem condicionamento. Tratando-se de espaços não condicionados, os procedimentos simplificados para a determinação da resistência térmica são fornecidos em 6.10.

NOTA O cálculo das taxas de fluxo de calor é comumente realizado a partir da temperatura operativa (geralmente calculada com base na média aritmética entre a temperatura do ar e a temperatura radiante média) para representar o ambiente dentro dos edifícios, e a temperatura do ar para representar o ambiente externo. Outras definições da

temperatura de um ambiente também são utilizadas, quando apropriadas, para o propósito do cálculo. Ver também o Anexo C.

6.5 Transmitância térmica

6.5.1 A partir do método de cálculo detalhado

No caso da utilização do método de cálculo detalhado, a transmitância térmica resulta do procedimento descrito na ISO 10211.

6.5.2 Pelo método de cálculo simplificado

No caso da utilização do método de cálculo simplificado, a transmitância térmica é dada por:

$$U = \frac{1}{R_{\text{tot}}} \quad (1)$$

onde

U é a transmitância térmica, em $W/(m^2 \cdot K)$;

R_{tot} é a resistência térmica total, determinada de acordo com 6.7, em $m^2 \cdot K/W$.

Correções aplicadas à transmitância térmica, conforme apropriado para o elemento da edificação em questão, devem ser calculadas de acordo com o Anexo F. Se, no entanto, a correção total obtida por meio da Fórmula (F.2) for inferior a 3 % do valor de U , esta deve ser desconsiderada.

Se a transmitância térmica for apresentada como um resultado final, o valor deve ser arredondado para dois dígitos significativos, e as informações sobre os dados de entrada utilizados para o cálculo devem ser fornecidas.

6.6 Resistência térmica

A resistência térmica de um componente é dada por:

$$R_{\text{c,op}} = \frac{1}{U} - R_{\text{si}} - R_{\text{se}} \quad (2)$$

onde

$R_{\text{c,op}}$ é a resistência térmica do componente, em $m^2 \cdot K/W$;

R_{si} é a resistência térmica superficial interna, em $m^2 \cdot K/W$;

R_{se} é a resistência térmica superficial externa, em $m^2 \cdot K/W$;



U é a transmitância térmica, determinada de acordo com 6.5.

As resistências superficiais devem ser as mesmas utilizadas para calcular a transmitância térmica.

A Fórmula (2) aplica-se ao método detalhado e ao método simplificado.

Se a resistência térmica for apresentada como um resultado final, o valor deve ser arredondado para duas casas decimais e as informações sobre os dados de entrada utilizados para o cálculo devem ser fornecidas.

NOTA $R_{c,op}$ é a resistência térmica do componente de superfície a superfície, sem os valores de resistências superficiais.

6.7 Resistência térmica total

6.7.1 Resistência térmica de componentes homogêneos

6.7.1.1 Resistência térmica de camadas homogêneas

Os valores dos parâmetros térmicos podem ser fornecidos por meio de projeto, tal como a condutividade térmica de projeto ou a resistência térmica de projeto.

Se a condutividade térmica for conhecida, deve-se obter a resistência térmica da camada a partir da Fórmula (3):

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3)$$

onde

R é a resistência térmica, em $m^2 \cdot K/W$;

d é a espessura da camada de material do componente, em m;

λ é a condutividade térmica de projeto para o material, em $W/(m \cdot K)$.

Quando forem baseados em dados de medição, os valores de λ devem ser calculados de acordo com a ISO 10456. Para os demais casos, a λ é obtida por meio de valores tabelados, ver ISO 10456.

Um modelo de como tabular os valores de condutividade térmica pode ser encontrado na Tabela A.2, e uma

lista de padrões informativos na Tabela B.2.

NOTA A espessura, d , pode ser diferente da espessura nominal (por exemplo, quando um produto que pode ser compactável é instalado nesse estado, o valor de d é menor que a sua espessura nominal). Se relevante, é aconselhável que o valor de d também considere tolerâncias de espessura (por exemplo, quando estes são negativos).

Os valores de resistência térmica utilizados em cálculos intermediários devem ser calculados com pelo menos três casas decimais.

6.7.1.2 Resistência térmica total de um componente construtivo com camadas homogêneas

A resistência térmica total, R_{tot} , de um componente plano da edificação que possui camadas termicamente homogêneas e perpendiculares ao fluxo de calor, deve ser calculada a partir da Fórmula seguinte:

$$R_{tot} = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad (4)$$

onde

R_{tot} é a resistência térmica total, em $m^2 \cdot K/W$;

R_{si} é a resistência superficial interna (ver 6.8), em $m^2 \cdot K/W$;

$R_1, R_2 \dots R_n$ são as resistências térmicas de projeto para cada camada, em $m^2 \cdot K/W$;

R_{se} é a resistência superficial externa (ver 6.8), em $m^2 \cdot K/W$.

Ao calcular a resistência dos componentes internos à edificação (divisões internas, etc.), ou de um componente localizado entre um ambiente condicionado e outro não condicionado, a R_{si} deve ser aplicada em ambos os lados da superfície.

Se a resistência térmica total for apresentada como um resultado final, o valor deve ser arredondado para duas casas decimais.

6.7.2 Resistência térmica total de um componente construtivo que possui camadas homogêneas e não homogêneas

6.7.2.1 Aplicabilidade

As subseções 6.7.2.2 a 6.7.2.5 fornecem um método simplificado para calcular a resistência térmica dos componentes construtivo, que consistem em camadas termicamente homogêneas e não homogêneas. O método não é válido para os casos em que a relação entre os limites superior e inferior da resistência térmica

excedem 1,5. O método não é aplicável aos casos em que o isolamento é conectado por meio de elementos de metal. Quando fixadores de metal são utilizados, o método pode ser aplicado desconsiderando-os, e o resultado corrigido de acordo com F.3.

NOTA 1 Um resultado mais preciso é obtido a partir da aplicação do método detalhado em 5.3. Este método pode ser particularmente relevante quando existe uma diferença significativa entre a condutividade térmica dos materiais na camada que fornece a resistência térmica predominante do sistema construtivo.

NOTA 2 O método descrito em 6.7.2.2 a 6.7.2.5 não é adequado para calcular as temperaturas superficiais com o propósito de avaliar o risco de condensação.

Um modelo para a determinação de outras restrições ao uso do método simplificado é fornecido na Tabela A.3, com uma definição padrão informativa na Tabela B.3.

Se parte de um elemento da edificação for avaliado separadamente da estrutura completa, sua resistência térmica deve ser obtida utilizando o método descrito em 6.7.2.2 a 6.7.2.5, mas com uma resistência superficial igual a zero em ambas as suas faces. Assim, esta resistência térmica pode então ser utilizada no cálculo subsequente para obter a transmitância térmica do elemento completo.

NOTA 3 Esse procedimento é relevante quando parte de um elemento é vendido como um item separado. Os exemplos podem incluir painéis estruturais e unidades de alvenaria vazadas.

6.7.2.2 Resistência térmica total de um componente

A resistência térmica total, R_{tot} , de um componente que consiste em camadas termicamente homogêneas e não homogêneas paralelas à superfície deve ser calculada como a média aritmética dos limites superior e inferior da resistência, conforme a Fórmula:

$$R_{tot} = \frac{R_{tot;upper} + R_{tot;lower}}{2} \quad (5)$$

onde

R_{tot} é a resistência térmica total, em $m^2 \cdot K/W$;

$R_{tot;upper}$ é o limite superior da resistência térmica total, calculado de acordo com 6.7.2.3, em $m^2 \cdot K/W$;

$R_{tot;lower}$ é o limite inferior da resistência térmica total, calculado de acordo com 6.7.2.4, em $m^2 \cdot K/W$.

Se a resistência térmica total for apresentada como resultado final, o valor deve ser arredondado para duas casas decimais.

O cálculo dos limites superior e inferior deve ser realizado considerando o componente dividido em seções e camadas, como mostrado na Figura 1, de forma que as partes divididas do componente, m_j , sejam termicamente homogêneas.

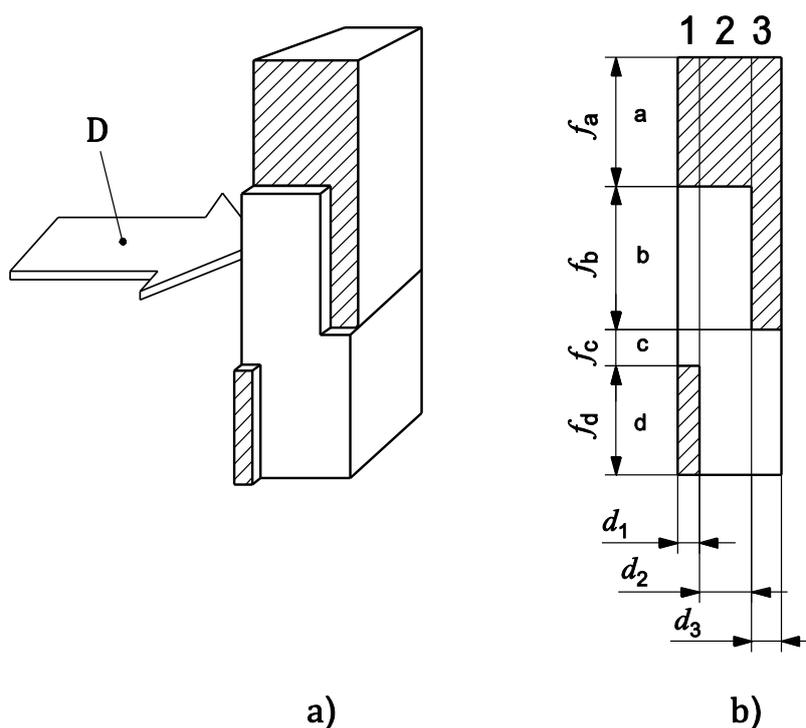
O componente mostrado na Figura 1a) foi cortado em seções, a, b, c e d, e em camadas 1, 2 e 3, como mostrado na Figura 1b).

A seção m ($m = a, b, c, \dots q$), perpendicular às superfícies do componente, possui área fracionada f_m .

A camada j ($j = 1, 2, \dots n$), paralela às superfícies, possui espessura d_j .

A parte m_j possui condutividade térmica λ_{mj} , espessura d_j , área fracionada f_m e resistência térmica R_{mj} .

A área fracionada de uma seção corresponde a sua proporção da área total, de forma que $f_a + f_b + \dots + f_q = 1$.



Legenda

- D direção do fluxo de calor
- a, b, c, d seções
- 1, 2, 3 camadas

Figura 1 — Seções e camadas de um componente térmico não homogêneo

6.7.2.3 Limite superior da resistência térmica total

O limite superior da resistência térmica total, $R_{\text{tot;upper}}$, é determinado assumindo-se um fluxo de calor unidimensional, perpendicular às superfícies do componente. É dado pela seguinte Fórmula:

$$\frac{1}{R_{\text{tot;upper}}} = \frac{f_a}{R_{\text{tot;a}}} + \frac{f_b}{R_{\text{tot;b}}} + \dots + \frac{f_q}{R_{\text{tot;q}}} \quad (6)$$

onde

$R_{\text{tot;upper}}$ é o limite superior da resistência térmica total, em $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

$R_{\text{tot;a}}, R_{\text{tot;b}}, \dots, R_{\text{tot;q}}$ são as resistências térmicas de ambiente a ambiente para cada seção, calculadas a partir da Fórmula (4), em $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;

f_a, f_b, \dots, f_q são as áreas fracionadas de cada seção.

6.7.2.4 Limite inferior da resistência térmica total

O limite inferior da resistência térmica total, $R_{\text{tot;lower}}$, é determinado assumindo-se que todos os planos paralelos à superfície do componente são superfícies isotérmicas.

Se houver uma superfície não plana adjacente a uma camada de ar, o cálculo deve ser realizado como se esta fosse plana, considerando

a) extensão das seções mais estreitas (mas sem alteração da resistência térmica), como mostrado na Figura 2;



Figura 2 — Superfície não plana com as seções mais estreitas consideradas estendidas

b) ou, as partes salientes removidas (reduzindo assim a resistência térmica), como mostrado na Figura 3.



Figura 3 — Superfície não plana com as seções salientes desconsideradas

Para calcular a **resistência** térmica equivalente, R_j , para cada camada térmica não homogênea, deve-se utilizar a Fórmula (7).

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_q}{R_{qj}} \quad (7)$$

onde

R_j é a resistência térmica equivalente, em $m^2 \cdot K/W$;

$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{qj}$ são os valores de resistência térmica de cada camada térmica não homogênea de cada seção, em $m^2 \cdot K/W$.

O limite mínimo é então determinado utilizando a Fórmula (4).

Um método alternativo que resulta no mesmo resultado consiste no uso de uma condutividade térmica equivalente da camada:

$$R_j = \frac{d_j}{\lambda_{eq;j}} \quad (8)$$

onde a condutividade térmica equivalente, $\lambda_{eq;j}$, da camada j é:

$$\lambda_{eq;j} = \lambda_{aj} \cdot f_a + \lambda_{bj} \cdot f_b + \dots + \lambda_{qj} \cdot f_q \quad (9)$$

Se uma camada de ar for parte de uma camada não homogênea, esta pode ser tratada como um material que possui condutividade térmica equivalente $\lambda_{eq;j} = d/R_g$, onde R_g é a resistência térmica da camada de ar determinada de acordo com o Anexo D.

6.7.2.5 Estimativa de erro

Este método de estimativa do erro relativo máximo pode ser utilizado quando a transmitância térmica calculada precisa atender a critérios específicos de precisão.

Um modelo especificando quando a determinação do erro máximo é necessária é fornecida na Tabela A.4, com uma definição padrão informativa na Tabela B.4. O valor relativo do erro máximo, e , calculado a partir desta aproximação em forma de percentual, é:

$$e = \frac{R_{tot;upper} - R_{tot;lower}}{2 \cdot R_{tot}} \cdot 100 \quad (10)$$

EXEMPLO Se a proporção do limite superior para o limite inferior for de 1,5, o erro máximo possível é de 20%.

O erro real geralmente é muito menor que o valor máximo. Este erro pode ser determinado para decidir se a precisão obtida utilizando o procedimento descrito em 6.7.2.5 é aceitável em relação a

- a finalidade do cálculo,
- a proporção do fluxo total de calor através dos elementos da envoltória, que é transmitida por meio dos componentes cuja resistência térmica é avaliada pelo procedimento descrito em 6.7.2.2, e
- a precisão dos dados de entrada.

6.8 Resistências superficiais

Na ausência de informações específicas sobre as condições de contorno, usar os valores da Tabela 7 para as superfícies planas. Os valores para a direção de fluxo “horizontal” se aplicam a $\pm 30^\circ$ do plano horizontal. Para superfícies não planas ou condições de contorno específicas, utilizar os procedimentos do Anexo C.

Tabela 7 — Valores convencionais de resistências superficiais

Resistência superficial $m^2 \cdot K/W$	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	Horizontal	Descendente
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

NOTA 1 Os valores de resistência superficial se aplicam às superfícies em contato com o ar. Nenhuma resistência superficial se aplica às superfícies em contato com outro material.

NOTA 2 Os valores de resistência superficial interna são calculados para $\varepsilon = 0,9$ e com h_{r0} avaliado a $20^\circ C$. Os valores de resistência superficial externa são calculados para $\varepsilon = 0,9$, h_{r0} avaliado a $10^\circ C$, e para $v = 4$ m/s.

No caso de um componente que contém uma camada de ar bem ventilada, ver 6.9.4, relativo à R_{se} .

Os valores fornecidos na Tabela 7 são valores de projeto. Nos casos em que são necessários valores independentes da direção do fluxo de calor, por exemplo para a declaração da transmitância térmica dos componentes, os valores de fluxo de calor horizontal devem ser utilizados.

Um modelo que define se os procedimentos do Anexo C devem ser utilizados em condições de contorno específicas pode ser encontrado na Tabela A.5, com uma definição padrão informativa na Tabela B.5.

6.9 Resistência térmica de camadas de ar

6.9.1 Aplicabilidade

Os valores fornecidos em 6.9.2 a 6.9.4 são aplicáveis às camadas de ar que

- são delimitadas por duas faces efetivamente paralelas e perpendiculares à direção do fluxo de calor, e que possuem emissividades não inferiores a 0,8,
- têm espessuras (na direção do fluxo de calor) inferiores 0,1 vez cada uma das outras duas dimensões, e não é maior que 0,3 m, e
- não tem troca de ar com o ambiente interno.

Se as condições acima descritas não forem aplicáveis, deve-se utilizar os procedimentos do Anexo D.

NOTA A maioria dos materiais de construção possui emissividade maior que 0,8.

Não deve ser calculado um valor único de transmitância para os componentes que contêm camadas de ar mais espessas que 0,3 m. Nestes casos, os fluxos de calor devem ser calculados a partir de um balanço de calor, ver a ISO 13789.

NOTA BRASILEIRA as camadas de ar na cobertura, com espessura superior a 0,3 m devem seguir o item 6.10.2 espaços de ar na cobertura.

6.9.2 Camada de ar não ventilada

Uma camada de ar não ventilada é aquela em que não há previsão expressa de fluxo de ar através dela. Os valores da resistência térmica são dados na Tabela 8. Os valores para a direção de fluxo horizontal se aplicam a $\pm 30^\circ$ do plano horizontal.

Uma camada de ar sem isolamento entre ela e o ambiente externo, mas com pequenas aberturas para o ambiente externo, também deve ser considerada como uma camada de ar não ventilada, desde que essas aberturas não estejam dispostas de forma a permitir o fluxo de ar por entre elas, e não ultrapassem

- 500 mm² por metro de comprimento (na direção horizontal) em camadas de ar verticais, e
- 500 mm² por metro quadrado de área de superfície em câmaras de ar horizontais.

NOTA Aberturas para drenagem, na forma de juntas verticais com abertura na face externa de uma parede de tijolos com furos, geralmente estão em conformidade com os critérios acima descritos e, portanto, não são consideradas como aberturas para ventilação.

Tabela 8 — Resistência térmica de camadas de ar não ventiladas com superfícies de alta emissividades

Espessura da camada de ar mm	Resistência térmica m ² ·K/W		
	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	Horizontal	Descendente
0	0,00	0,00	0,00
5	0,10	0,10	0,10
7	0,12	0,12	0,12
10	0,14	0,14	0,14
15	0,15	0,15	0,15
25	0,15	0,16	0,17
50	0,15	0,16	0,19
100	0,15	0,16	0,19
300	0,15	0,16	0,20

NOTA Valores intermediários são obtidos por meio de interpolação linear.

NOTA BRASILEIRA Os valores da Tabela 8 foram calculados para a temperatura de referência de 23°C, conforme indicado para o caso II da ISO 10456.

6.9.3 Camada de ar levemente ventilada

Uma camada de ar levemente ventilada é aquela em que existe o fornecimento limitado de fluxo de ar por entre ela, a partir do ambiente externo, o que acontece por meio de aberturas com áreas, A_{ve} , que atendem os seguintes intervalos:

- > 500 mm², mas <1 500 mm², por metro de comprimento (na direção horizontal) para camadas de ar verticais;
- > 500 mm², mas <1 500 mm², por metro quadrado de superfície de área para camadas de ar horizontais.

O efeito da ventilação depende do tamanho e da distribuição das aberturas para ventilação. De forma aproximada, a resistência térmica total de um componente com uma camada de ar levemente ventilada por ser calculada

$$R_{tot} = \frac{(1\ 500 - A_{ve})}{1\ 000} \cdot R_{tot;nve} + \frac{(A_{ve} - 500)}{1\ 000} \cdot R_{tot;ve} \quad (11)$$



onde

- R_{tot} é a resistência térmica total, em $m^2 \cdot K/W$;
- A_{ve} é a área das aberturas, em mm^2 ;
- $R_{tot;nve}$ é a resistência térmica total com uma camada de ar não ventilada, de acordo com 6.9.2, em $m^2 \cdot K/W$;
- $R_{tot;ve}$ é a resistência térmica total com uma camada de ar bem ventilada, de acordo com 6.9.4, em $m^2 \cdot K/W$.

Um modelo especificando quando esta aproximação é permitida é dado na Tabela A.6, com uma definição padrão informativa na Tabela B.6.

6.9.4 Camada de ar bem ventilada

Uma camada de ar bem ventilada é aquela em que as aberturas entre a camada de ar e o ambiente externo é igual ou excede

- 1 500 mm^2 por metro de comprimento (na direção horizontal) para camadas de ar na vertical, e
- 1 500 mm^2 por metro quadrado de área para camadas de ar horizontais.

A resistência térmica total de um componente construtivo, que contém uma camada de ar bem ventilada, deve ser obtida desconsiderando a resistência térmica da camada de ar e de todas as outras camadas entre esta e o ambiente externo, incluindo uma resistência de superfície externa correspondente ao ar parado (ver Anexo C). Alternativamente, o valor correspondente de R_{si} da Tabela 7 pode ser utilizado.

NOTA BRASILEIRA: para camadas de ar na cobertura, adota-se o estabelecido no item 6.10.2.

6.10 Resistência térmica de espaços não climatizados de uso transitório

6.10.1 Generalidades

A transferência de calor de uma edificação para o ambiente externo via espaços não condicionados deve ser calculada de acordo com a ISO 13789.

Alternativamente, quando a face externa da envoltória do espaço não condicionado não é isolada, 6.10.2 e 6.10.3 fornecem procedimentos simplificados para tal, tratando estes espaços como uma resistência térmica.

Um modelo especificando quando estes procedimentos simplificados são permitidos é dado na Tabela A.6, com uma definição padrão informativa na Tabela B.6.

NOTA 1 Os procedimentos da ISO 13789 são mais gerais e precisos.

NOTA 2 Para porões baixos localizados sob pisos, ver ISO 13370.

NOTA 3 Os valores de resistência térmica fornecidos em 6.10.2 e 6.10.3 são adequados para os cálculos de fluxo de calor, e não para os cálculos relacionados às condições higrotérmicas dos espaços não condicionados.

6.10.2 Espaços de ar na cobertura

Para uma estrutura de cobertura que consiste em uma laje plana ou forro e um telhado, o espaço de ar na cobertura, com espessura maior que 30 cm, pode ser considerado como se fosse uma camada termicamente homogênea com resistência térmica conforme indicado na Tabela 9.

Para camadas de ar com espessuras inferiores a 30 cm, deve-se adotar os valores de resistência térmica conforme item 6.9.

Tabela 9 — Resistência térmica de espaços localizados na cobertura

Característica dos espaços da cobertura	Fluxo Ascendente - R_u m ² ·K/W	Fluxo Descendente - R_u m ² ·K/W
Alta emissividade ($\epsilon > 0,8$)	0,15	0,21
Espaços com baixa emissividade ($\epsilon < 0,2$)	0,33	0,69

Os dados da Tabela 9 são aplicáveis aos espaços de ar na cobertura não ventilados (fluxo ascendente e descendente) e ventilados (fluxo descendente). Se ventilado mecanicamente, deve-se usar o procedimento detalhado na ISO 13789, tratando este espaço como não condicionado com uma taxa de ventilação especificada.

6.10.3 Outros espaços

Quando um edifício possui um espaço não condicionado, de uso transitório, adjacente a ele, a transmitância térmica entre os ambientes interno e externo pode ser obtida tratando o espaço não condicionado em conjunto com os seus componentes externos de construção, como se fosse uma camada homogênea adicional com resistência térmica, R_u . Quando todos os elementos entre o ambiente interno e o espaço não condicionado têm a mesma transmitância térmica, R_u é dado por:

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e;k} \cdot U_{e;k}) + 0,33 \times n \cdot V} \quad (12)$$

onde

R_u é a resistência térmica de espaços não condicionados, em m²·K/W;

A_i é a área total de todos os elementos entre o ambiente interno e o espaço não condicionado, em m²;



- $A_{e;k}$ é a área do elemento k entre o ambiente não condicionado e o ambiente externo, em m^2 ;
- $U_{e;k}$ é a transmitância térmica do elemento k entre o ambiente não condicionado e o ambiente externo, em $W/(m^2 \cdot K)$;
- 0,33 é o valor da capacidade térmica do ar, em $Wh/(m^3 \cdot K)$;
- n é a taxa de ventilação do ambiente não condicionado, em trocas de ar por hora;
- V é o volume do espaço não condicionado, em m^3 ;

e o somatório é feito com todos os elementos entre o espaço não condicionado e o ambiente externo, exceto para qualquer pavimento térreo.

Nos detalhes do sistema construtivo em que os elementos externos do espaço não condicionado não forem conhecidos, os valores de $U_{e;k} = 2 W/(m^2 \cdot K)$ e $n = 3$ trocas de ar por hora devem ser usados.

NOTA 1 Exemplos de espaços não condicionados incluem as garagens, depósitos e as estufas para jardins de inverno ou áreas externas fechadas.

NOTA 2 Se houver mais de um componente entre o ambiente interno e o espaço não condicionado, a R_{ti} deve ser incluída no cálculo da transmitância térmica de cada um desses componentes.

NOTA 3 A Fórmula (12) se baseia nos procedimentos para o cálculo da transferência de calor através dos espaços não condicionados da ISO 13789.

7 Cálculo da capacidade térmica de componentes

O cálculo da capacidade térmica de componentes é descrito no Anexo Nacional A (Anexo N-A).



Anexo A

(normativo)

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

A.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 garantir a consistência dos dados.

NOTA 2 Padrões informativos são fornecidos no Anexo B. Valores e definições alternativas podem ser impostas por regulamentos nacionais/regionais. Se os valores e as definições padrão do Anexo B não forem adotadas 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 irá adicionar ou incluir um anexo nacional (Anexo N-A) 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 à 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 N-A.3a, Tabela N-A.3b;
- desenvolvendo diferentes fichas de dados nacionais/regionais para a mesma norma. No caso de um anexo nacional à norma, estes serão numerados consecutivamente (Anexo N-A, Anexo N-B, Anexo N-C, ...).

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 devem ser preenchidos com dados de entrada.

A.2 Referências

As referências, identificadas pelo código do módulo, são fornecidas na Tabela A.1

Tabela A.1 — Referências

Referência	Documento de referência ^a	
	Número	Título
Mx-y ^b

^a Se uma referência compreender mais de um documento, as referências podem ser diferenciadas.
^b Neste documento, não há alternativas de referências a outras normas DEE. A tabela é utilizada para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

A.3 Seleção de métodos

Neste documento, não há necessidade de especificar a escolha dos métodos. A.3 é utilizada para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

A.4 Dados de entrada e definições

Tabela A.2 — Valores de condutividade térmica ou resistência térmica (ver 6.7.1.1)

Material ^a	Edifícios novos	Edifícios existentes
	Condutividade térmica λ W/(m·K)	Condutividade térmica λ W/(m·K)
Material ou sistema construtivo ^a	Resistência térmica R m ² ·K/W	Resistência térmica R m ² ·K/W

^a Linhas podem ser excluídas ou adicionadas e os materiais podem ser posteriormente especificados ou agrupados.

Tabela A.3 — Condições para o uso do método simplificado (ver 5.2)

Item	Restrições ao uso do método simplificado
------	--



Método simplificado	Restrições:
---------------------	----------------------

Tabela A.4 — Requisito para estimar o erro máximo do método simplificado (ver 6.7.2.5)

Item	Definição
Máximo erro para o método simplificado?	Sim/Não
Se sim, valor máximo do erro %

Tabela A.5 — Resistências superficiais para condições de contorno específicas (ver 6.8)

Item	Definição
Usa os procedimentos do Anexo C para condições de contorno específicas?	Sim/Não
Se sim, indique as condições	

Tabela A.6 — Outras simplificações (ver 6.9 e 6.10)

Item	Número da seção	Definição
Permite a aproximação para camada de ar levemente ventilada de acordo com 6.9.3	6.9	Sim/Não
Permite o tratamento simplificado de espaços não condicionados de acordo com 10.2 ou 6.10.3	6.10	Sim/Não

Tabela A.7 — Precipitação média (ver F.4.2)

Item	Determinação
Taxa média de precipitação durante a estação de aquecimento	Valores em mm/dia, que podem ser fornecidos para diferentes locais



Anexo B (informativo)

Ficha de seleção dos dados de entrada e do método — Definições padrão (*default*)

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 garantir a consistência dos dados.

NOTA 2 Padrões informativos são fornecidos no Anexo B. Valores e definições alternativas podem ser impostas por regulamentos nacionais/regionais. Se os valores e as definições padrão do Anexo B não forem adotadas 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 irá adicionar ou incluir um anexo nacional (Anexo N-A) 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 à 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 N-A.3a, Tabela N-A.3b;
- desenvolvendo diferentes fichas de dados nacionais/regionais para a mesma norma. No caso de um anexo nacional à norma, estes serão numerados consecutivamente (Anexo N-A, Anexo N-B, Anexo N-C, ...).

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 devem ser

preenchidos com dados de entrada.

B.2 Referências

As referências, identificadas pelo código do módulo, são fornecidas na Tabela B.1.

Tabela B.1 — Referências

Referência	Documento de referência ^a	
	Número	Título
Mx-y ^b

^a Se uma referência compreender mais de um documento, as referências podem ser diferenciadas.
^b Neste documento, não há alternativas de referências a outras normas DEE. A tabela é utilizada para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

B.3 Seleção de métodos

Neste documento, não há necessidade de especificar a escolha dos métodos B.3 é utilizado para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

B.4 Dados de entrada e definições

Tabela B.2 — Valores de condutividade térmica ou resistência térmica (ver 6.7.1.1)

Material ^a	Edifícios novos	Edifícios existentes
	Condutividade térmica λ W/(m·K)	Condutividade térmica λ W/(m·K)
Materiais com propriedades normalizadas por ISO ou EN do produto ou listados na ISO 10456	Valores de acordo com norma do produto, se disponível, caso contrário, utilizar a ISO 10456	
Material ou sistema construtivo ^a	Resistência térmica R m ² ·K/W	Resistência térmica R m ² ·K/W
Materiais ou sistemas construtivos com propriedades normalizadas por ISO ou EN do produto ou listados na ISO 10456	Valores de acordo com norma do produto, se disponível, caso contrário, utilizar a ISO 10456	



^a Linhas podem ser excluídas ou adicionadas e os materiais podem ser posteriormente especificados ou agrupados.

Tabela B.3 — Condições para o uso do método simplificado (ver 5.2)

Item	Restrições ao uso do método simplificado
Método simplificado	Conforme declarado em 6.7.2.1

Tabela B.4 — Requisito para estimar o erro máximo do método simplificado (ver 6.7.2.5)

Item	Definição
Máximo erro para o método simplificado?	Não

Tabela B.5 — Resistências superficiais para condições de contorno específicas (ver 6.8)

Item	Definição
Usa os procedimentos do Anexo C para condições de contorno específicas	Não

Tabela B.6 — Outras simplificações (ver 6.9 e 6.10)

Item	Número da seção	Definição
Permite a aproximação para camada de ar levemente ventilada de acordo com 6.9.3	6.9	Sim
Permite o tratamento simplificado de espaços não condicionados de uso transitório de acordo com 6.10.2 ou 6.10.3	6.10	Sim

Tabela B.7 — Precipitação média (ver F.4.2)

Item	Definição
Taxa média de precipitação durante a estação de aquecimento	3 mm/dia

Anexo C

(normativo)

Resistências superficiais

C.1 Superfícies planas

A resistência superficial é calculada por meio da Fórmula (C.1).

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (\text{C.1})$$

onde

R_s é a resistência superficial, em $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

h_c é o coeficiente de convecção, em $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

h_r é o coeficiente de radiação, em $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

e

$$h_r = \varepsilon \cdot h_{r0} \quad (\text{C.2})$$

$$h_{r0} = 4 \cdot \sigma \cdot T_{mn}^3 \quad (\text{C.3})$$

onde

h_r é o coeficiente de radiação, em $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

ε é a emissividade hemisférica da superfície;

h_{r0} é o coeficiente de radiação para a superfície de um corpo negro, em $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

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

T_{mn} é a temperatura termodinâmica média da superfície e do seu entorno, em K.

$\varepsilon = 0,9$ é geralmente apropriado para superfícies internas e externas. Quando outros valores forem utilizados, convém que sejam considerados quaisquer efeitos de degradação e acúmulo de sujeira ao longo do tempo.

A Fórmula (C.1) representa um tratamento aproximado para a transferência de calor em superfícies. Cálculos precisos de fluxo de calor podem ser baseados nas temperaturas ambientais internas e externas (onde as temperaturas radiante e do ar são ponderadas de acordo com os respectivos coeficientes de radiação e de convecção, e que também podem considerar os efeitos da geometria do ambiente, dos gradientes de temperatura do ar e da convecção forçada). Se, no entanto, a temperatura radiante interna e a temperatura interna do ar não forem significativamente distintas, a temperatura operativa (considerada com peso igual entre a temperatura do ar e a temperatura radiante) pode ser utilizada. Em superfícies externas, é convencional usar a temperatura externa do ar, baseada no pressuposto de condição de céu nublado, de modo que as temperaturas externas do ar e as temperaturas radiantes sejam efetivamente iguais. Esta

consideração ignora qualquer efeito da radiação solar de ondas curtas em superfícies externas, da formação de orvalho, da radiação de onda longa e o efeito de superfícies próximas. Outros índices de temperatura externa, como a temperatura sol-ar, podem ser utilizados quando tais efeitos são permitidos.

Em superfícies internas, ou em superfícies externas adjacentes a camadas de ar bem ventiladas (ver 6.9.4):

$$h_c = h_{ci} \tag{C.4}$$

Valores de h_{ci} são fornecidos na Tabela C.1.

Tabela C.1 — Valores do coeficiente de convecção de superfícies, h_{ci}

Coeficiente de convecção de superfícies	Direção do fluxo de calor		
	Ascendente	Horizontal	Descendente
$m^2 \cdot K/W$			
h_{ci}	5,0	2,5	0,7

Em superfícies externas:

$$h_c = h_{ce} \tag{C.5}$$

onde

$$h_{ce} = 4 + 4 \cdot v \tag{C.6}$$

e v é a velocidade do vento adjacente à superfície, em m/s.

NOTA Valores convencionais para as resistências superficiais são fornecidos em 6.8.

C.2 Componentes com superfícies não planas

Partes que se projetam de superfícies planas, como pilares estruturais, devem ser desconsiderados no cálculo da resistência térmica total se compostas por material com condutividade térmica não superior a 2,5 W/(m.K). Se a parte saliente for composta por material com condutividade térmica superior a 2,5 W/(m.K), e se não for isolada, o cálculo deve ser realizado como se a parte saliente não estivesse presente, mas com a resistência superficial sobre a área aplicável, multiplicada pela razão entre a área projetada e a área de superfície da parte saliente (ver Figura C.1):

$$R_{sp} = R_s \cdot \frac{A_p}{A} \tag{C.7}$$

onde

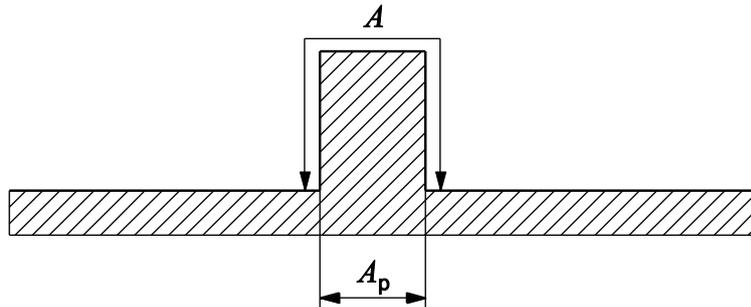
R_{sp} é a resistência superficial sobre a área projetada da parte saliente, em $m^2.K/W$;

R_s é a resistência superficial de um componente plano, de acordo com C.1, em $m^2.K/W$;

A_p é a área projetada da parte saliente, em m^2 ;

A é a área de superfície da parte saliente, em m^2 .

A Fórmula (C.7) se aplica à resistência superficial interna e externa.



Legenda

A área de superfície da parte saliente

A_p área projetada da parte saliente

Figura C.1 — Área de superfície e área projetada

Anexo D
(normativo)

Resistência térmica de câmaras de ar

D.1 Generalidades

Este anexo se aplica a câmaras de ar com até 0,3 m de espessura, em componentes construtivos diferentes de vidros. Um tratamento mais preciso é necessário para vidros e esquadrias.

O termo “câmara de ar” inclui tanto camadas de ar (que possuem largura e comprimento superiores a 10 vezes o valor da espessura, com espessura medida na direção do fluxo de calor), quanto vazios de ar (que possuem uma largura ou um comprimento comparável à espessura). Se a espessura da camada de ar variar, o seu valor médio deve ser utilizado para calcular a resistência térmica.

NOTA Câmaras de ar podem ser tratadas como meios com resistência térmica porque a transferência de calor por radiação e convecção através delas é aproximadamente proporcional à diferença de temperatura entre as superfícies limitantes.

D.2 Câmaras de ar não ventiladas com comprimento e largura superiores a 10 vezes o valor da espessura

A resistência térmica de uma câmara de ar é estabelecida por:

$$R_a = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (D.1)$$

onde

R_a é a resistência térmica da câmara de ar, em $m^2 \cdot K/W$;

h_a é o coeficiente de condução/convecção, em $W/(m^2 \cdot K)$;

h_r é o coeficiente de radiação, em $W/(m^2 \cdot K)$.

O h_a é determinado por condução no ar parado em câmaras estreitas e por convecção em câmaras largas. Para os cálculos de acordo com este documento, deve ser considerado o maior valor entre $0,025/d$ e o obtido por meio da Tabela D.1 ou da Tabela D.2. Nas Tabelas D.1 e D.2, d é a espessura da câmara de ar na direção do fluxo de calor, em metros, e ΔT é a diferença de temperatura na câmara de ar, em kelvins.

É recomendado que a Tabela D.1 seja utilizada quando a diferença de temperatura na câmara de ar for menor ou igual a 5 K.

No caso de coberturas em que a câmara de ar esteja inclinada em um ângulo α em relação à horizontal, deve ser utilizado um valor intermediário, interpolado linearmente para h_a :

$$h_a = h_{a;90} + (h_{a;90} - h_{a;0}) \cdot \frac{(\alpha - 90)}{90} \quad (D.2)$$

onde

$h_{a;0}$ é o valor da Tabela D.1 ou da Tabela D.2 para $\alpha = 0^\circ$, em $W/(m^2.K)$;

$h_{a;90}$ é o valor da Tabela D.1 ou da Tabela D.2 para $\alpha = 90^\circ$, em $W/(m^2.K)$;

α é o ângulo de inclinação da câmara de ar em relação à horizontal, em graus.

Tabela D.1 — Coeficiente de transferência de calor por convecção para a diferença de temperatura $\Delta T \leq 5 K$

Direção do fluxo de calor	h_a^a W/(m ² .K)
Horizontal ($\alpha = 90^\circ$)	1,25
Ascendente ($\alpha = 0^\circ$)	1,95
Descendente	$0,12 \times d^{0,44}$
^a Ou, se superior ao valor da tabela, 0,025/d.	

É recomendado que a Tabela D.2 seja utilizada quando a diferença de temperatura na câmara de ar exceder 5 K.

Tabela D.2 — Coeficiente de transferência de calor por convecção para a diferença de temperatura $\Delta T > 5 K$

Direção do fluxo de calor	h_a^a W/(m ² .K)
---------------------------	----------------------------------

Horizontal ($\alpha = 90^\circ$)	$0,73 \times (\Delta T)^{1/3}$
Ascendente ($\alpha = 0^\circ$)	$1,14 \times (\Delta T)^{1/3}$
Descendente	$0,09 \times (\Delta T)^{0,187} d^{-0,44}$
^a Ou, se superior ao valor da tabela, $0,025/d$.	

h_r é dado por

$$h_r = E \cdot h_{r0} \quad (D.3)$$

onde

h_r é o coeficiente de radiação, em $W/(m^2 \cdot K)$;

E é a emitância entre superfícies;

h_{r0} é o coeficiente de radiação para a superfície de um corpo negro (ver C.1), em $W/(m^2 \cdot K)$.

e

$$E = \frac{1}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1} \quad (D.4)$$

onde

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ são as emissividades hemisféricas das superfícies que limitam a câmara de ar.

Convém que o valor de projeto da emissividade considere quaisquer efeitos de degradação e acúmulo de sujeira ao longo do tempo.

NOTA Os valores da Tabela 8 em 6.9.2 são calculados utilizando a Fórmula (D.1), com h_a de acordo com a Tabela D.1. $\varepsilon_1 = 0,9$, $\varepsilon_2 = 0,9$, e h_{r0} avaliado a $10^\circ C$.

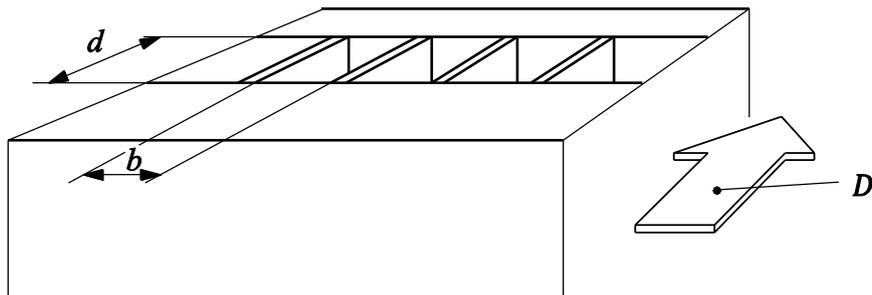
D.3 Câmaras de ar ventiladas com comprimento e largura superior a 10 vezes o valor da espessura

Para uma câmara de ar ligeiramente ventilada (conforme definido em 6.9.3), deve-se seguir o procedimento especificado em 6.9.3.

Para uma câmara de ar bem ventilada (conforme definido em 6.9.4), deve-se seguir o procedimento especificado em 6.9.4.

D.4 Câmaras de ar não ventiladas pequenas ou divididas (vazios de ar)

A Figura D.1 ilustra uma pequena câmara de ar com largura menor do que 10 vezes o valor da sua espessura.



Legenda

- b largura da câmara de ar
- d espessura da câmara de ar
- D direção do fluxo de calor

Figura D.1 — Dimensões de uma pequena câmara de ar

A resistência térmica da câmara de ar, R_a , é dada por:

$$R_a = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (D.5)$$

onde

R_a é a resistência térmica da câmara de ar, em $m^2 \cdot K/W$.

$$h_r = \frac{h_{r0}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{\left(1 + \sqrt{1 + d^2 / b^2} - d / b\right)}} \quad (D.6)$$

onde

- h_r é o coeficiente de radiação, em $W/(m^2 \cdot K)$;
- h_{r0} é o coeficiente de radiação para a superfície de um corpo negro (ver C.1), em $W/(m^2 \cdot K)$;
- d é a espessura da câmara de ar, em m;
- b é a largura da câmara de ar, em m;
- $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ são as emissividades hemisféricas das superfícies nas faces quente e fria da câmara de ar.

h_a e h_{r0} são calculados conforme D.2.

NOTA 1 h_a depende de d , mas é independente de b .

NOTA 2 A Fórmula (D.5) é apropriada para o cálculo do fluxo de calor através de componentes construtivos para qualquer espessura do vazio de ar, e para o cálculo de distribuições de temperatura em componentes com vazios de ar cuja espessura, d , é inferior ou igual a 50 mm. Para vazios de ar mais espessos, a Fórmula (D.5) fornece uma distribuição de temperatura aproximada.

Para um vazio de ar que não possui forma retangular, deve-se considerar a sua resistência térmica igual à de um vazio retangular com a mesma área e proporção do vazio real.

Anexo E

(normativo)

Cálculo da transmitância térmica de componentes com camadas afuniladas

E.1 Generalidades

Quando um componente possui uma camada afunilada (por exemplo, em camadas externas de isolamento do telhado para estabelecer a queda), a resistência térmica total varia ao longo da área do componente.

NOTA Para camadas de ar afuniladas, ver D.1.

Componentes com uma camada afunilada são construídos conforme ilustrado na Figura E.1.

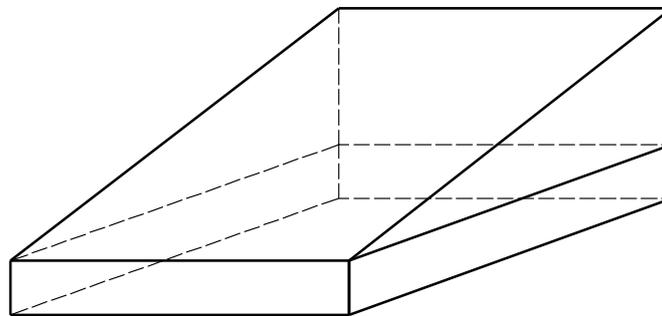


Figura E.1 — Princípio da construção do componente

A transmitância térmica é definida por uma integral sobre a área do componente relevante.

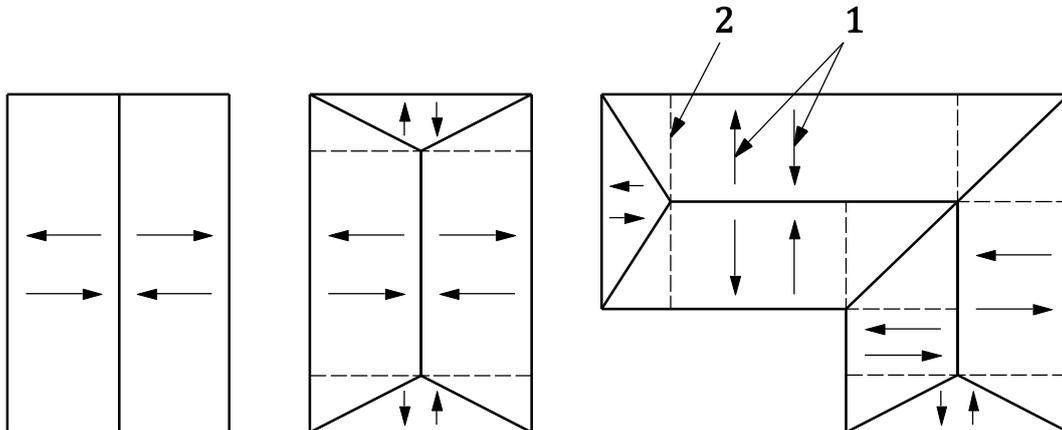
O cálculo deve ser realizado separadamente para cada parte (por exemplo, de um telhado) com inclinação e/ou forma diferentes, conforme ilustrado na Figura E.2.

Além dos símbolos listados na Seção 4, os símbolos utilizados neste Anexo são fornecidos na Tabela E.1.

Tabela E.1 — Símbolos e unidades

Símbolo	Variável	Unidade
d_1	espessura intermediária da camada afunilada	m
d_2	espessura máxima da camada afunilada	m
\ln	logaritmo natural	—
R_0	resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
R_1	resistência térmica intermediária da camada afunilada	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
R_2	resistência térmica máxima da camada afunilada	$\text{m}^2 \text{ K/W}$

Símbolo	Variável	Unidade
λ_t	condutividade térmica de projeto da parte afunilada (tendo espessura zero em uma extremidade)	W/(m·K)



Legenda

- 1 direção da inclinação (pode ser em qualquer direção)
- 2 subdivisão alternativa (suplementar) para permitir o uso das Fórmulas (E.1) a (E.4)

Figura E.2 — Exemplos de como subdividir telhados em partes individuais

A transmitância térmica de formas comuns deve ser calculada por meio das Fórmulas (E.1) a (E.4) para inclinações não excedendo 5 %.

Devem ser utilizados métodos numéricos para inclinações superiores.

E.2 Cálculo para formas comuns

E.2.1 Área retangular

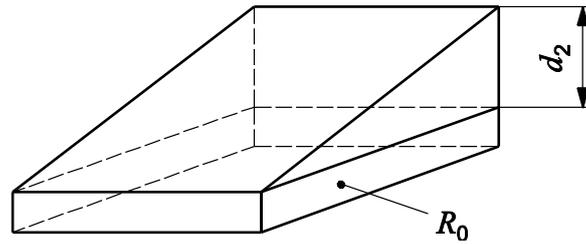
$$U = \frac{1}{R_2} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \tag{E.1}$$

onde

U é a transmitância térmica, em W/(m²·K);

R_0 é a resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente, em m²·K/W;

R_2 é a resistência térmica máxima da camada afunilada, em m²·K/W.



Legenda

d_2 espessura máxima da camada afunilada

R_0 resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente

Figura E.3 — Área retangular

E.2.2 Área triangular, mais espessa no vértice

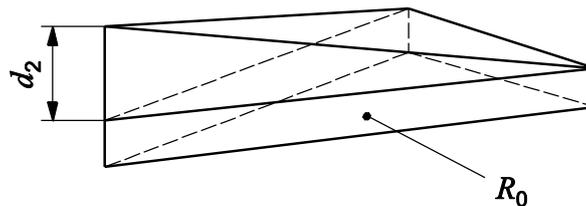
$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[\left(1 + \frac{R_0}{R_2} \right) \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - 1 \right] \quad (\text{E.2})$$

onde

U é a transmitância térmica, em $W/(m^2 \cdot K)$;

R_0 é a resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente, em $m^2 \cdot K/W$;

R_2 é a resistência térmica máxima da camada afunilada, em $m^2 \cdot K/W$.



Legenda

d_2 espessura máxima da camada afunilada

R_0 resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente

Figura E.4 — Área triangular, mais espessa no cume

E.2.3 Área triangular, menos espessa no vértice

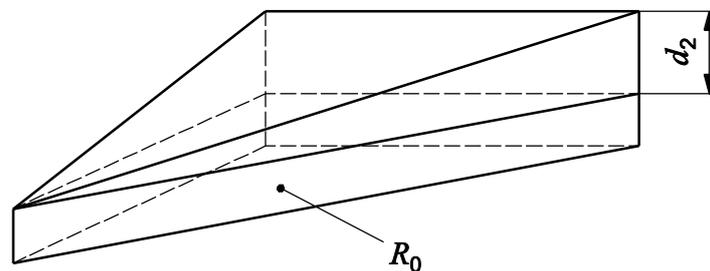
$$U = \frac{2}{R_2} \cdot \left[1 - \frac{R_0}{R_2} \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) \right] \quad (E.3)$$

onde

U é a transmitância térmica, em $W/(m^2 \cdot K)$;

R_0 é a resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente, em $m^2 \cdot K/W$;

R_2 é a resistência térmica máxima da camada afunilada, em $m^2 \cdot K/W$.



Legenda

d_2 espessura máxima da camada afunilada

R_0 resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente

Figura E.5 — Área triangular, menos espessa no cume

E.2.4 Área triangular, diferentes espessuras em cada vértice

$$U = 2 \left[\frac{R_0 \cdot R_1 \cdot \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_0} \right) - R_0 \cdot R_2 \cdot \ln \left(1 + \frac{R_1}{R_0} \right) + R_1 \cdot R_2 \cdot \ln \left(\frac{R_0 + R_2}{R_0 + R_1} \right)}{R_1 \cdot R_2 \cdot (R_2 - R_1)} \right] \quad (E.4)$$

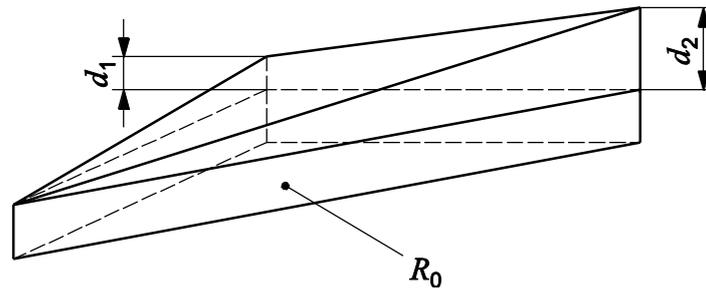
onde

U é a transmitância térmica, em $W/(m^2 \cdot K)$;

R_0 é a resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente, em $m^2 \cdot K/W$;

R_1 é a resistência térmica intermediária da camada afunilada, em $m^2 \cdot K/W$;

R_2 é a resistência térmica máxima da camada afunilada, em $m^2 \cdot K/W$.



Legenda

- d_1 espessura intermediária da camada afunilada
 d_2 espessura máxima da camada afunilada
 R_0 resistência térmica de projeto da parte restante, incluindo as resistências superficiais em ambos os lados do componente

Figura E.6 — Área triangular, diferentes espessuras em cada vértice

E.3 Procedimento de cálculo

O cálculo deve ser realizado conforme descrito abaixo.

- A R_0 deve ser calculada como a resistência térmica total do componente, excluindo a camada afunilada, utilizando a Fórmula (4) se todas as camadas forem termicamente homogêneas, ou o procedimento em 6.7.2 se houver camadas não homogêneas.
- A área com camadas afuniladas deve ser subdividida em partes individuais, conforme for necessário (ver Figura E.2).
- R_1 e R_2 devem ser calculadas para cada camada afunilada, utilizando

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_t} \quad (\text{E.5})$$

$$R_2 = \frac{d_2}{\lambda_t} \quad (\text{E.6})$$

onde

- d_1 é a espessura intermediária da camada afunilada, em m;
- d_2 é a espessura máxima da camada afunilada, em m;
- R_1 é a resistência térmica intermediária da camada afunilada, em $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- R_2 é a resistência térmica máxima da camada afunilada, em $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- λ_t é a condutividade térmica de projeto da parte cônica, em $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

NOTA R_1 é utilizada apenas para a forma ilustrada na Figura E.6.



- d) Deve ser calculada a transmitância térmica de cada parte individual, U_i , de acordo com a fórmula relevante em E.2.
- e) Deve ser calculada a transmitância térmica equivalente para toda a área utilizando

$$U = \frac{\sum U_i \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (\text{E.7})$$

onde

d_i é a espessura intermediária da camada afunilada, em m.

Se for necessária a resistência térmica total de um componente com camadas afuniladas, então

$$R_{\text{tot}} = \frac{1}{U}$$

Anexo F

(Normativo)

Correção da transmitância térmica

F.1 Generalidades

A transmitância térmica obtida a partir dos procedimentos incluídos neste documento deve ser corrigida, quando relevante, para permitir os efeitos de

- vazios de ar no isolamento,
- fixadores mecânicos que penetram em uma camada do isolamento, e
- precipitação em telhados invertidos.

NOTA Telhado invertido é aquele que possui uma camada de isolamento abaixo da membrana de impermeabilização.

A transmitância térmica corrigida, U_c , é obtida adicionando um termo de correção, ΔU :

$$U_c = U + \Delta U \quad (\text{F.1})$$

ΔU é dado por:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad (\text{F.2})$$

onde

ΔU_g é a correção para os vazios de ar de acordo com F.2;

ΔU_f é a correção para os fixadores mecânicos de acordo com F.3;

ΔU_r é a correção para os telhados invertidos de acordo com F.4.

F.2 Correção para os vazios de ar

F.2.1 Definições

Para fins deste Anexo, “vazios de ar” é o termo geral utilizado para os espaços de ar nas camadas de isolamento, ou entre a camada de isolamento e a construção adjacente, existentes em sistemas construtivos de edificações reais, mas que não são indicados nos desenhos. Esses vazios de ar podem ser divididos em duas categorias principais:

- frestas entre placas isolantes, lajes ou esteiras, entre os elementos de isolamento e de construção, na direção do fluxo de calor;
- cavidades, no isolamento ou entre o isolamento e a construção, perpendiculares à direção do fluxo de calor.

F.2.2 Correções

Os vazios de ar podem aumentar a transmitância térmica do componente, aumentando a transferência de calor por radiação e convecção; a magnitude do aumento depende do tamanho, orientação e posição do vazio de ar.

A correção é aplicada como um acréscimo à transmitância térmica, expressa por ΔU_g .

As frestas de ar são causadas por pequenas variações nas dimensões do produto de isolamento (tolerâncias dimensionais), por variações nos tamanhos exigidos durante o corte e a instalação, ou decorrentes das tolerâncias dimensionais associadas à própria construção e suas irregularidades.

Apenas as frestas que cobrem toda a espessura do isolamento do lado quente para o lado frio causam um aumento da transmitância de forma que a correção é justificada. E, de forma geral, essa correção é apenas moderada. Instalar o isolamento em mais de uma camada com juntas escalonadas elimina a necessidade de correção.

As cavidades ocorrem devido às superfícies não planas dentro do sistema construtivo: o isolamento é muito rígido, muito inflexível ou muito incompressível para acompanhá-las completamente. Irregularidades como manchas de argamassa, que agem como espaçadores criando um ou mais espaços aéreos entre um elemento e o isolamento, produzem o mesmo efeito. Quando as cavidades são descontínuas (sem comunicação com outras cavidades ou frestas de ar, ou os ambientes internos ou externos), apenas uma correção moderada deve ser aplicada.

Em ambos os tipos de vazio de ar (frestas ou cavidades de ar), a comparação do cálculo e da medição mostra uma boa concordância.

Se os dois tipos de vazios de ar forem combinados, perdas de calor adicionais podem resultar da transferência de massa, exigindo assim a aplicação de uma correção maior.

Assume-se sempre que o acabamento da mão de obra possui padrão adequado.

Para simplificar o procedimento de correção, a forma de instalação do isolamento é utilizada como base para a correção. Três níveis são identificados (ver Tabela F.1).

Tabela F.1 — Correções para os vazios de ar

Nível	Descrição	$\Delta U''$ W/(m ² ·K)
-------	-----------	---------------------------------------

0	Nenhum vazio de ar dentro do isolamento, ou onde apenas pequenos vazios de ar estão presentes, não representando efeito significativo na transmitância térmica	0,00
1	Frestas de ar que ligam as faces quente e fria do isolamento, mas de forma a não causar a circulação de ar entre ambas	0,01
2	Frestas de ar que ligam as faces quente e fria do isolamento, combinadas com cavidades que resultam na livre circulação de ar entre ambas as faces do isolamento	0,04

Esta correção deve ser ajustada de acordo com a Fórmula (F.3):

$$\Delta U_g = \Delta U'' \cdot \left(\frac{R_1}{R_{\text{tot}}} \right)^2 \quad (\text{F.3})$$

onde

- R_1 é a resistência térmica da camada que contém as frestas, como obtido em 6.7.1.1;
- R_{tot} é a resistência térmica total do componente, ignorando qualquer ponte térmica, como obtido em 6.7.1.2;
- $\Delta U''$ dado de acordo com a Tabela F.1.

F.2.3 Exemplos

A seguir são apresentados os exemplos indicativos dos níveis de correção. Exemplos específicos relacionados às técnicas de construção locais podem ser fornecidos por uma base nacional.

a) Exemplos do nível 0 (correção $\Delta U'' = 0$ é aplicada)

- 1) Camadas contínuas de isolamento, sem quaisquer interrupções da camada de isolamento por elementos construtivos, por ex.: pregos, caibros ou vigas, com juntas escalonadas entre as esteiras ou tábuas nas camadas individuais. O isolamento fica em contato firme com o elemento, sem cavidades em ambos os lados entre este e o isolamento;
- 2) Camada única de isolamento contínuo com juntas de encaixe do tipo macho e fêmea ou seladas. O isolamento está em contato firme com o elemento, sem cavidades em ambos os lados entre este e o isolamento;
- 3) Camada única de isolamento contínuo com juntas de topo, onde as tolerâncias dimensionais de comprimento, largura e metragem quadrada, combinadas com a estabilidade dimensional, resultam em brechas de ar nas juntas que possuem menos de 5 mm de largura. O isolamento fica em contato firme com o elemento construtivo, sem cavidades em ambos os lados entre este e o isolamento;
- 4) Camada única de isolamento em um elemento construtivo em que sua resistência térmica é menor ou igual à metade da resistência térmica total do sistema construtivo. O isolamento está em contato firme com o elemento, sem cavidades em ambos os lados entre este e o isolamento.

b) Exemplos do nível 1 (correção $\Delta U'' = 0,01$ é aplicada)

- 1) Uma camada de isolamento, interrompida por elementos construtivos, por ex.: vigas estruturais, caibros ou vergas. O isolamento fica em contato firme com o elemento, sem cavidades em ambos os lados entre este e o isolamento.
 - 2) Camada única de isolamento contínuo com juntas de topo, onde as tolerâncias dimensionais de comprimento, largura e metragem quadrada, quando combinadas com estabilidade dimensional, resultam em frestas de ar nas juntas que possuem mais de 5 mm de largura. O isolamento está em contato firme com o elemento construtivo, sem cavidades em ambos os lados entre este e o isolamento.
- c) Exemplos do nível 2 (correção $\Delta U'' = 0,04$ é aplicada)
- 1) Uma ou mais camadas de isolamento sem contato firme com a face quente do elemento construtivo, com cavidades em ambas as faces entre o elemento e o isolamento, resultando em circulação de ar entre as faces quente e fria do isolamento.

F.3 Correção para fixadores mecânicos

F.3.1 Cálculo detalhado

O efeito dos fixadores mecânicos pode ser avaliado por meio de cálculos realizados de acordo com a ISO 10211, de forma a obter o ponto de transmitância térmica, χ , devido a um fixador. A correção da transmitância térmica é então dada por:

$$\Delta U_f = n_f \cdot \chi \quad (\text{F.4})$$

onde

n_f é o número de fixadores por m^2 .

F.3.2 Procedimento aproximado

Esta subseção fornece um procedimento aproximado para avaliar o efeito dos fixadores mecânicos, que pode ser utilizado quando estes já não foram considerados por meio de outros métodos.

Quando uma camada de isolamento é penetrada por fixadores mecânicos, como nas amarrações de paredes entre folhas de alvenaria, fixadores de telhado ou fixadores em sistemas de painel composto, a correção da transmitância térmica é dada por:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_1} \cdot \left(\frac{R_1}{R_{\text{tot}}} \right)^2 \quad (\text{F.5})$$

onde o coeficiente α é dado por

$\alpha = 0,8$ se o fixador penetra completamente na camada de isolamento;

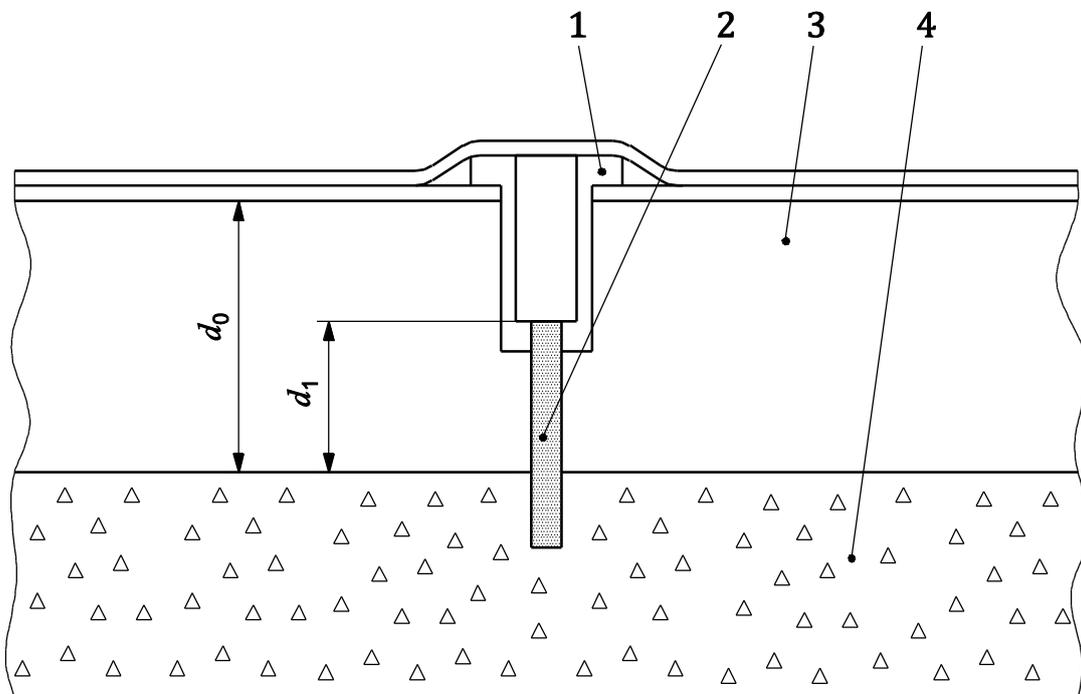
$\alpha = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0}$ para o caso de um fixador com fecho embutido (ver Figura F.1).

onde

λ_f é a condutividade térmica do fixador, em $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$;

- n_f é o número de fixadores por m^2 ;
- A_f é a área da seção transversal de um fixador, em m^2 ;
- d_0 é a espessura da camada de isolamento que contém o fixador, em m;
- d_1 é o comprimento do fixador que penetra na camada de isolamento, em m;
- R_1 é a resistência térmica da camada de isolamento penetrada pelos fixadores, em $m^2 \cdot K/W$;
- R_{tot} é a resistência térmica total do componente, ignorando qualquer ponte térmica, como obtido em 6.7.1.2, em $m^2 \cdot K/W$.

NOTA 1 d_1 pode ser maior do que a espessura da camada de isolamento se o fixador passar por ela em ângulo. No caso de um fixador embutido, d_1 é menor que a espessura da camada de isolamento e R_1 é igual a d_1 dividido pela condutividade térmica do isolamento.



Legenda

- 1 acabamento plástico
- 2 fixador embutido
- 3 Isolamento
- 4 plataforma do telhado
- d_0 espessura da camada de isolamento que contém o fixador
- d_1 comprimento do fixador que penetra na camada de isolamento

Figura F.1 — Fixador de telhado embutido

Nenhuma correção deve ser aplicada nos seguintes casos

- onde há amarrações de paredes em uma cavidade vazia;
- quando a condutividade térmica do fixador for inferior a 1 W/(m·K).

O procedimento descrito não se aplica quando ambas as extremidades da parte metálica do fixador estão em contato térmico direto com chapas metálicas.

NOTA 2 Os métodos estipulados pela ISO 10211 podem ser utilizados para obter fatores de correção nos casos em que ambas as extremidades do fixador estão em contato térmico direto com as chapas metálicas.

F.4 Procedimento de correção para telhados invertidos

F.4.1 Generalidades

O procedimento de correção para telhados invertidos é dado devido ao fluxo de água da chuva entre o isolamento e a membrana impermeabilizante. Aplica-se aos edifícios aquecidos; nos edifícios refrigerados, esta correção não deve ser aplicada.

O procedimento descrito nesta subseção é aplicável apenas ao isolamento feito de poliestireno extrudado (XPS).

F.4.2 Correção devido ao fluxo de água entre o isolamento e a membrana de impermeabilização

A correção da transmitância térmica calculada para o elemento do telhado, ΔU_r , em W/(m²·K), leva em consideração a perda de calor extra causada pela água da chuva que flui entre as juntas do isolamento, atingindo a membrana impermeabilizante. Essa correção é calculada da seguinte forma:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left(\frac{R_1}{R_{\text{tot}}} \right)^2 \quad (\text{F.6})$$

onde

ΔU_r é a correção para a transmitância térmica calculada do elemento de telhado, em W/(m²·K);

p é a taxa média de precipitação durante a estação de aquecimento, com base nos dados relevantes para a localização em análise (por exemplo, dados da estação meteorológica local) ou fornecidos por meio de regulamentos locais, regionais ou nacionais, ou outros documentos ou normas nacionais, em mm/dia;

f é o fator de drenagem que resulta na fração de p que atinge a membrana impermeabilizante;



- x é o fator para o aumento da perda de calor causada pela água da chuva que flui pela membrana, em $(W \cdot \text{dia}) / (\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{mm})$;
- R_1 é a resistência térmica da camada de isolamento acima da membrana impermeabilizante, em $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$;
- R_{tot} é a resistência térmica total do sistema construtivo antes de aplicar a correção, em $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$.

Os valores de p podem estar especificados em uma base nacional.

Para uma única camada de isolamento acima da membrana, com juntas de topo e cobertura aberta, como o cascalho, $f \cdot x = 0,04$.

NOTA A camada única de isolamento com juntas de topo e cobertura aberta é considerada como a camada que resulta no valor mais alto de ΔU .

Valores baixos de $f \cdot x$ podem ser aplicados nos telhados construídos de forma a proporcionar menor drenagem por meio do isolamento. Diferentes arranjos de juntas (como as de encaixe ou do tipo macho e fêmea) ou diferentes tipos de construção de telhados são exemplos desta condição. Nestes casos, onde os efeitos das medidas são documentados em relatórios independentes, valores menores que 0,04 para o $f \cdot x$ podem ser utilizados.

Um modelo para a taxa média de precipitação é fornecido na Tabela A.7, com uma definição padrão informativa na Tabela B.7.

Anexo N-A

(Normativo)

Capacidade térmica de componentes

N-A.1 Capacidade térmica

A capacidade térmica de componentes pode ser determinada pela Fórmula N-A.1.

$$C = \sum_{j=1}^n \lambda_j \times R_j \times c_j \times \rho_j = \sum_{j=1}^n e_j \times c_j \times \rho_j \quad (\text{N-A.1})$$

onde

C é a capacidade térmica, em $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

λ_j é a condutividade térmica do material da camada j , em $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

R_j é a resistência térmica da camada j , em $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

E_j é a espessura da camada j , em m ;

c_j é o calor específico do material da camada j , em $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

ρ_j é a densidade de massa aparente do material da camada j , em kg/m^3 .

N-A.2 Capacidade térmica de um componente

A capacidade térmica de um componente plano constituído de camadas homogêneas e não homogêneas, perpendiculares ao fluxo de calor, é determinada pela Fórmula N-A.2.

$$C_T = \frac{A_a + A_b + \dots + A_n}{\frac{A_a}{C_{Ta}} + \frac{A_b}{C_{Tb}} + \dots + \frac{A_n}{C_{Tn}}} \quad (\text{N-A.2})$$

onde

C_{Tn} é a capacidade térmica do componente da seção n , determinada pela Fórmula N-A.1, em $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

A_n é a área da seção n , em m^2 .

NOTA Caso o componente possua camadas de ar, a capacidade térmica do ar pode ser desprezada devido a sua baixa densidade de massa aparente ($\rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$).

Anexo N-B

(Informativo)

Desvios técnicos

Seção/subseção	Modificações
3 Termos e definições; 3.8, 3.9	Incluídas as definições de capacidade térmica e capacidade térmica de projeto.
Justificativa: Inclusão do cálculo de capacidade térmica, e, portanto, foram incluídas as definições.	
6.9.1 Aplicabilidade	Incluída Nota Brasileira
Justificativa: Esclarecer que para camadas de ar com espessura superior a 0,30 m deve-se adotar o item 6.10.2.	
6.9.2 Camada de ar não ventilada, Tabela 8	Alteração dos valores da camada de ar não ventilada para resistência térmica considerando a temperatura base de 23 °C.
Justificativa: Ajustar os valores considerando condições higrotérmicas mais próximas das encontradas em climas brasileiros. Para o cálculo utilizou-se a temperatura de 23°C, caso II da ISO 10456.	
6.9.4 Camada de ar bem ventilada, Nota	Alteração da sistemática adotada para camada de ar bem ventilada na cobertura.
Justificativa: Ajustar o procedimento para camada de ar bem ventilada, na cobertura, considerando a condição de calor (fluxo descendente).	
6.10 Resistência térmica de espaços não climatizados de uso transitório	Inclusão do termo “de uso transitório”.
Justificativa: Diferenciar dos espaços não condicionados de permanência prolongada, usuais no país.	
6.10.2 Espaços de ar na cobertura	Adequação do texto para uma versão simplificada e com valores ajustados para o clima do Brasil, incluindo camadas de ar ventiladas para fluxo descendente.
Justificativa: O item 6.10.2 foi adaptado considerando valores de resistência térmica para o clima do país e adequados para os espaços de ar na cobertura formados entre a laje plana e o telhado.	
7. Cálculo da capacidade térmica de componentes	Item incluído



Justificativa: O cálculo da capacidade térmica, presente na NBR 15220-2:2005, é citado pela NBR 15575:2013 Emenda 1:2021.

Anexo N-A Capacidade térmica Item incluído

Justificativa: O cálculo da capacidade térmica, presente na NBR 15220-2:2005, é citado pela NBR 15575:2013 Emenda 1:2021.



Bibliografia

- [1] ISO/TR 5209-2, Energy performance of buildings – Hygrothermal performance of building components and building elements – Part 2: Explanation and justification
- [2] ISO/TR 52000-2, Energy performance of buildings – Overarching EPB assessment – Part 2: Explanation and justification of ISO 52000-1
- [3] CEN/TS 16628, Energy performance of buildings – Basic principles for the set of EPB standards
- [4] CEN/TS 16629, Energy performance of buildings – Detailed technical rules for the set of EPB standards