

Pontes térmicas na construção civil - Fluxos de calor e temperaturas superficiais - Cálculo detalhado

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

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 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 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 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 que, nos casos em que os valores padronizados, as definições e as referências a outras normas DEE do Anexo B não forem 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, NA) 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 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 52019 2), 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; e
- 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, como os elementos opacos da envoltória, os pisos em contato com o solo, as janelas e as fachadas.

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

Este Documento estabelece as especificações de um modelo geométrico de uma ponte térmica para o cálculo numérico de transmissões térmicas lineares, transmissões térmicas pontuais e temperaturas superficiais internas.

A Tabela 1 mostra a relação deste documento com o conjunto de normas DEE no contexto da estrutura modular estabelecida na ISO 52000-1.

NOTA 2 A mesma tabela pode ser encontrada no ISO/TR 52000-2, com, em cada módulo, a indicação das normas DEE aplicáveis 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 um método detalhado, respectivamente. Ver também as Tabelas A.1 e B.1.

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



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

	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas técnicos da edificação										
Submódulo	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Refrigeração	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 10211	Insuflação e controle										
6	Ocupação do edifício e condições de operação		Transferência térmica por infiltração e ventilação		Distribuição e controle										
7	Agrupament o 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	Desempenh o energético calculado		Dinâmicas da edificação (massa térmica)		Despacho de carga e condições de operação										
10	Desempenh o energético medido		Desempenho energético medido		Desempenho energético medido										
11	Inspeção		Inspeção		Inspeção										



Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas técnicos da edificação										
Submódulo	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Refrigeração	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.														

Pontes térmicas na construção civil - Fluxos de calor e temperaturas superficiais - Cálculo detalhado

1 Escopo

Este Documento estabelece as especificações para um modelo geométrico tridimensional e bidimensional de uma ponte térmica para o cálculo numérico de

- fluxos de calor, a fim de avaliar a perda global de calor de um edifício ou parte dele, e
- temperaturas mínimas da superfície, a fim de avaliar o risco de condensação superficial.

Essas especificações incluem os limites geométricos e subdivisões do modelo, as condições de contorno e os valores e relações térmicas a serem utilizados.

Este Documento se baseia nas seguintes suposições:

- todas as propriedades físicas são independentes da temperatura;
- não há fontes de calor dentro do elemento construtivo.

Este documento também pode ser utilizado para a derivação de transmitâncias térmicas lineares e pontuais e de fatores de temperatura da superfície.

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

2 Referências normativas

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 6946, *Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method*

NOTA BRASILEIRA A ABNT NBR 15220-2, *Desempenho térmico de edificações — Parte 2: Componentes e elementos construtivos — Resistência e transmitância térmica — Métodos de cálculo* é uma adoção modificada da ISO 6496.

ISO 7345, *Thermal insulation — Physical quantities and definitions*

ISO 13370, *Thermal performance of buildings — Heat transfer via the ground — Calculation methods*

ISO 13788, *Hygrothermal performance of building components and building elements — Internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation — Calculation methods*

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 Neste Documento não existem referências a outras normas que não sejam DEE. A sentença e a nota acima são incluídas para manter 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 a seguir.

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 ponte térmica

parte da envoltória do edifício onde a resistência térmica uniforme é significativamente alterada pela penetração total ou parcial da envoltória do edifício por materiais com uma condutividade térmica diferente, e/ou uma mudança na espessura do material, e/ou uma diferença entre áreas internas e externas, como ocorre em junções de parede/piso/teto

3.2
ponte térmica linear
ponte térmica (3.1) com uma seção transversal uniforme ao longo de um dos três eixos ortogonais

3.3
ponte térmica pontual
ponte térmica (3.1) localizada, cuja influência pode ser representada por uma *transmitância térmica pontual* (3.20)

3.4
modelo geométrico tridimensional
modelo geométrico 3D

modelo geométrico, deduzido de planos do edifício, de tal forma que para cada um dos eixos ortogonais, a seção perpendicular transversal a esse eixo muda dentro do limite do modelo

Nota de entrada 1: Ver a Figura 1.

3.5

elemento de flanqueamento tridimensional

elemento de flanqueamento 3D

parte de um *modelo geométrico 3D* (3.4) que, quando considerado isolado, pode ser representado por um *modelo geométrico 2D* (3.7)

Nota de entrada 1: Ver a Figura 1 e a Figura 2.

3.6

elemento central tridimensional

elemento central 3D

parte de um *modelo geométrico 3D* (3.4) que não é um elemento de *flanqueamento 3D* (3.5)

Nota de entrada 1: Ver a Figura 1.

Nota de entrada 2: Um elemento central é representado por um *modelo geométrico 3D* (3.4).

3.7

modelo geométrico bidimensional

modelo geométrico 2D

modelo geométrico, deduzido de planos do edifício, de tal forma que para um dos eixos ortogonais, a seção perpendicular transversal a esse eixo não muda dentro dos limites do modelo

Nota de entrada 1: Ver a Figura 2.

Nota de entrada 2: Um modelo geométrico 2D é usado para cálculos bidimensionais.

3.8

elemento de flanqueamento bidimensional

elemento de flanqueamento 2D

parte de um *modelo geométrico 2D* (3.7) que, quando considerado isolado, consiste em camadas de material plano e paralelo

Nota de entrada 1: As camadas de material plano e paralelo podem ser homogêneas ou não homogêneas.

3.9

elemento central bidimensional

elemento central 2D

parte de um *modelo geométrico 2D* (3.7) que não é um elemento de *flanqueamento 2D* (3.8)

3.10

plano da construção

plano no *modelo geométrico 3D* (3.4) ou no *modelo geométrico 2D* (3.7) que separa diferentes materiais, e/ou o modelo geométrico do restante da construção, e/ou os elementos de flanqueamento do elemento central

Nota de entrada 1: Ver a Figura 3.

3.11

plano de corte

plano da construção (3.10), que é um limite para o *modelo geométrico 3D* (3.4) ou o *modelo geométrico 2D* (3.7), separando o modelo do restante da construção

Nota de entrada 1: Ver a Figura 3.

3.12 plano auxiliar

plano que, além dos *planos da construção* (3.10), divide o modelo geométrico em um número de células

3.13 camada quase homogênea

camada que consiste em dois ou mais materiais com diferentes condutividades térmicas, mas que podem ser considerados homogêneos com uma condutividade térmica equivalente

Nota de entrada 1: Ver a Figura 4.

3.14 fator de temperatura na superfície interna

diferença entre a temperatura da superfície interna e a temperatura externa, dividida pela diferença entre a temperatura interna e a temperatura externa, calculada com uma resistência superficial R_{si} na superfície interna

3.15 fator de ponderação da temperatura

fator de ponderação que relaciona a respectiva influência das temperaturas dos diferentes ambientes térmicos sobre a temperatura da superfície no ponto em consideração

3.16 temperatura de contorno externa

temperatura do ar externo, assumindo que a temperatura do ar e a temperatura radiante vista pela superfície são iguais

3.17 temperatura de contorno interna

temperatura operativa, considerada como a média aritmética entre a temperatura interna do ar e a temperatura radiante média de todas as superfícies ao redor do ambiente interno

3.18 coeficiente de acoplamento térmico

taxa de fluxo de calor por diferença de temperatura entre dois ambientes que estão termicamente conectados pelo componente construtivo em consideração

3.19 transmitância térmica linear

taxa de fluxo de calor no regime estacionário em comparação com uma taxa de fluxo de calor de referência calculada desconsiderando a *ponte térmica* (3.1), dividida pelo comprimento e pela diferença de temperatura entre os ambientes de ambos os lados de uma *ponte térmica linear* (3.2)

Nota de entrada 1: A transmitância térmica linear é uma quantidade que descreve a influência de uma ponte térmica linear no fluxo total de calor.

3.20 transmitância térmica pontual

taxa de fluxo de calor no regime estacionário em comparação com uma taxa de fluxo de calor de referência calculada desconsiderando a *ponte térmica* (3.1), dividida pela diferença de temperatura entre os ambientes em ambos os lados de uma *ponte térmica pontual* (3.3)

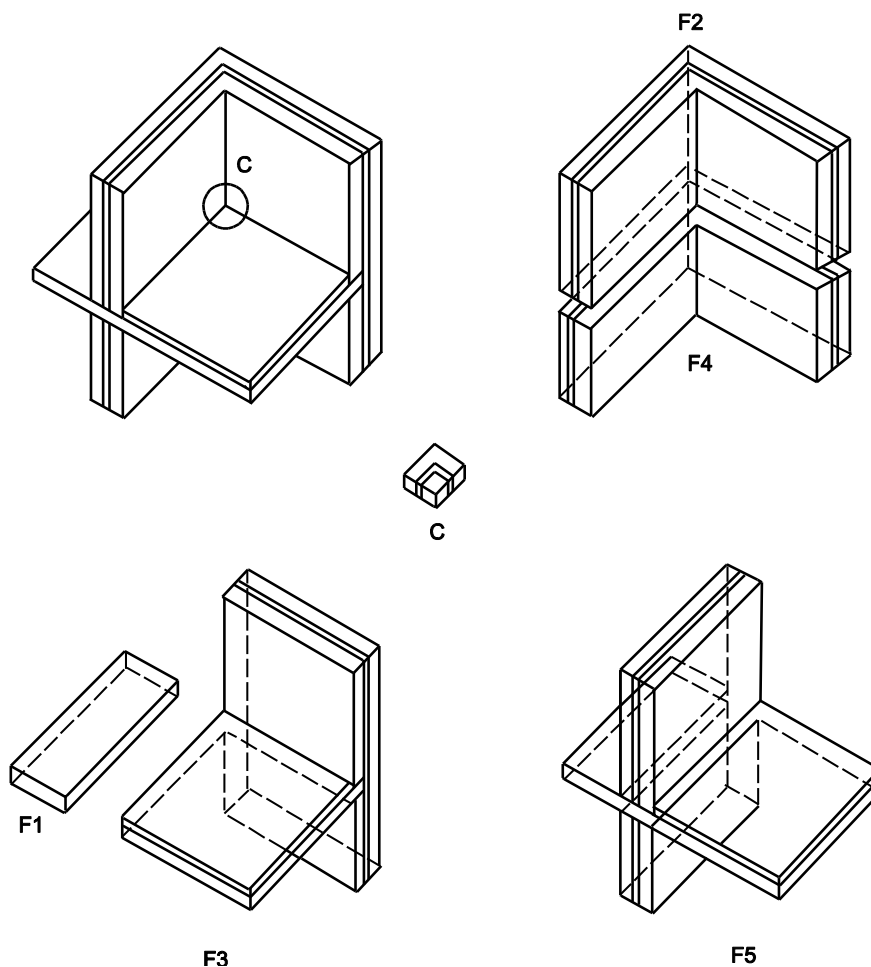
Nota de entrada 1: A transmitância térmica pontual é uma quantidade que descreve a influência de uma ponte térmica pontual no fluxo total de calor.

3.21 norma DEE

norma que cumpre os requisitos determinados nas ISO 52000-1, CEN/TS 16628^[5] e CEN/TS 16629^[6]

Nota de entrada 1: 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]

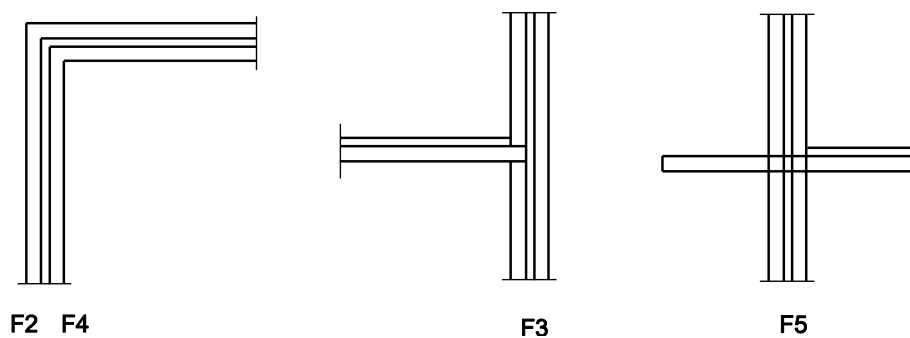


Legenda

F1, F2, F3, F4, F5 elementos de flanqueamento 3D
C elemento central 3D

NOTA Os elementos de flanqueamento 3D têm seções transversais constantes perpendiculares a pelo menos um eixo; o elemento central 3D é a parte restante.

Figura 1 — Modelo geométrico 3D com cinco elementos de flanqueamento 3D e um elemento central 3D

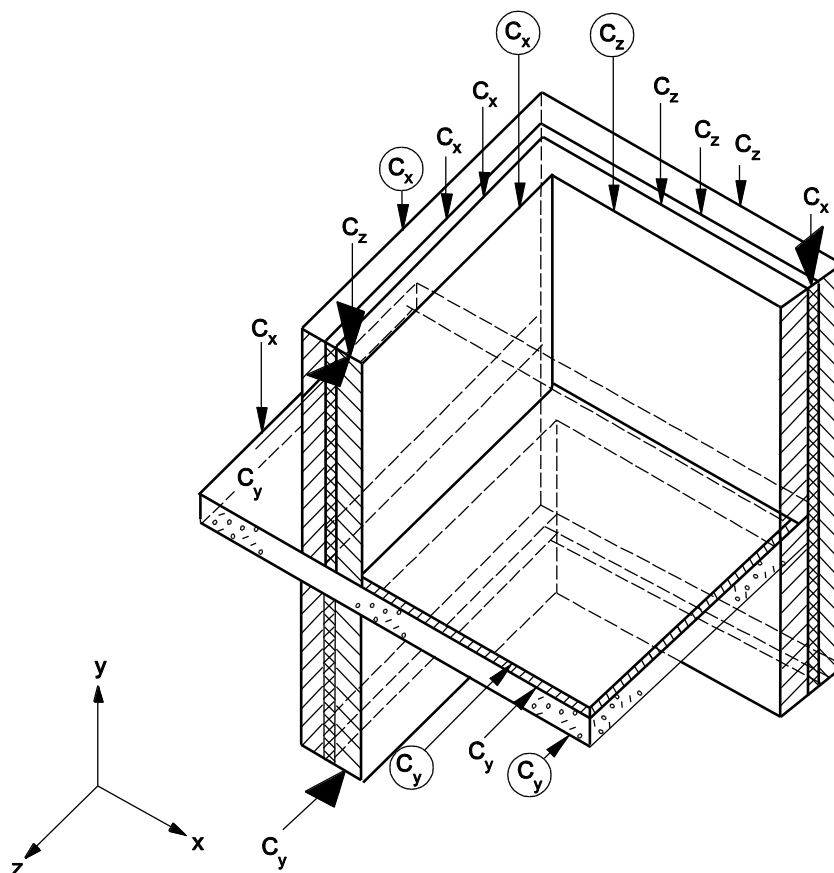


Legenda

F1, F2, F3, F4, F5 elementos de flanqueamento 3D

NOTA F2 a F5 se referem à Figura 1.

Figura 2 — Seções transversais dos elementos de flanqueamento 3D em um modelo geométrico 3D tratado como modelos geométricos 2D



Legenda

C_x planos da construção perpendiculares ao eixo x

C_y planos da construção perpendiculares ao eixo y

C_z planos da construção perpendiculares ao eixo z

NOTA Os planos de corte são indicados com setas ampliadas; planos que separam elementos de flaqueamento do elemento central são circulados.

Figura 3 — Exemplo de um modelo geométrico 3D mostrando planos da construção

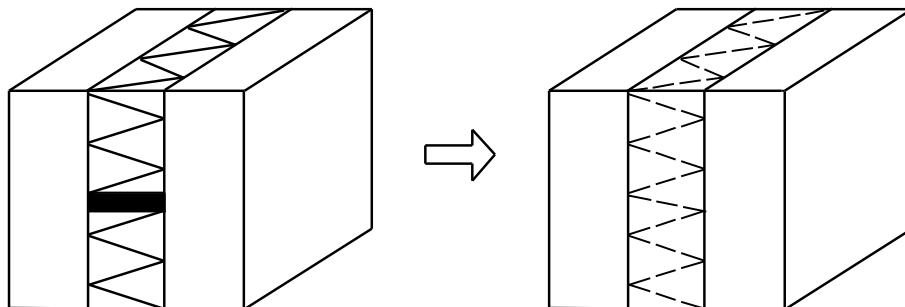


Figura 4 — Exemplo de uma ponte térmica pontual pequena dando origem ao fluxo de calor tridimensional, incorporado em uma camada quase homogênea

4 Símbolos e subscritos

4.1 Símbolos

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

Símbolo	Variável	Unidade
A	área	m^2
B	dimensão característica do piso	m
b	largura	m
d	espessura	m
f	fator de temperatura na superfície interna	—
g	fator de ponderação da temperatura	—
h	altura	m
L	coeficiente de acoplamento térmico	$W/(m \cdot K)$
L_{2D}	coeficiente de acoplamento térmico a partir do cálculo bidimensional	$W/(m \cdot K)$
L_{3D}	coeficiente de acoplamento térmico a partir do cálculo tridimensional	W/K
l	comprimento	m
N	número	—
q	densidade de fluxo de calor	W/m^2
R	resistência térmica	$m^2 \cdot K/W$
T	temperatura termodinâmica	K
t	tempo	meses

Símbolo	Variável	Unidade
U	transmitância térmica	$W/(m^2 \cdot K)$
V	volume	m^3
w	espessura da parede	m
z	profundidade da superfície do chão abaixo do nível do solo	m
Φ	taxa do fluxo de calor	W
λ	condutividade térmica	$W/(m \cdot K)$
θ	temperatura em graus Celsius	$^{\circ}C$
$\Delta\theta$	diferença de temperatura	K
χ	transmitância térmica pontual	W/K
ψ	transmitância térmica linear	$W/(m \cdot K)$

4.2 Subscritos

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

Subscrito	Definição
b	pavimento abaixo do nível do solo
c	componente
e	externo
f	piso
g	camada de ar, fresta de ar (8.6)
g	solo (12.4)
ie	de interno para externo
iu	de interno para não condicionado
int	interno
min	mínimo
pe	coeficiente de transferência de calor periódico externo
se	superfície externa
si	superfície interna
t	incluindo ponte térmica (total)
tb	ponte térmica
ue	de não condicionado para externo
w	parede
0	sem ponte térmica

5 Descrição do método

5.1 Resultados

Os resultados deste documento são as transmitâncias térmicas lineares, as transmitâncias térmicas pontuais e as temperaturas da superfície interna. As equações a serem utilizadas são fornecidas na Seção 10 até a Seção 13.

5.2 Descrição geral

A distribuição da temperatura dentro e o fluxo de calor através de um sistema construtivo pode ser calculada se as condições de contorno e detalhes construtivos são conhecidas. Para isso, o modelo geométrico é dividido em uma série de células adjacentes, cada uma com uma condutividade térmica homogênea. Os critérios que devem ser atendidos na construção do modelo são fornecidos na Seção 7.

Na Seção 8, são fornecidas instruções para a determinação dos valores de condutividade térmica e condições de contorno.

A distribuição da temperatura é determinada por meio de um cálculo iterativo ou por uma técnica de solução direta, após a qual a distribuição de temperatura dentro das células materiais é determinada por interpolação. As regras de cálculo e o método de determinação da distribuição da temperatura são descritos na Seção 9.

NOTA Procedimentos específicos para esquadrias de janelas são fornecidos na ISO 10077-2.

6 Resultados e dados de entrada

6.1 Resultados

Os resultados são listados na Tabela 2.

Tabela 2 — Resultados

Descrição	Símbolo	Unidade	Módulo de destino (Tabela 1)	Intervalo de validade	Valor variável
Transmitância térmica linear	ψ	W/(m·K)	M2-5	—	Não
Coefficiente de acoplamento térmico a partir do cálculo bidimensional	L_{2D}	W/(m·K)	M2-5	>0	Não
Coefficiente de acoplamento térmico a partir do cálculo tridimensional	L_{3D}	W/K	M2-5	>0	Não
Fator de temperatura na superfície interna	f_{Rsi}	—	M2-5	>0	Não
Transmitância térmica pontual	χ	W/K	M2-5	>0	Não

6.2 Intervalos de tempo de cálculo

Na maioria dos casos, os cálculos descritos neste documento são de regime estacionário e não possuem intervalos de tempo.

Quando os cálculos forem realizados para obter coeficientes periódicos de transferência de calor (ver 7.2.5), o intervalo de tempo deve ser de 1 h ou menos.

6.3 Dados de entrada

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

Tabela 3 — Identificadores para características geométricas

Nome	Símbolo	Unidade	Valor	Faixa	Origem	Valor variável
Área	A	m ²	—	>0	—	Não
Largura do componente construtivo	b	m	—	>0	—	Não
Espessura do componente construtivo	d	m	—	>0	—	Não
Comprimento	l	m	—	>0	—	Não
Volume	V	m ³	—	>0	—	Não
Dimensão característica do piso	B	M	—	>0	ISO 13370	Não

Tabela 4 — Identificadores para características térmicas do componente construtivo

Nome	Símbolo	Unidade	Valor	Faixa	Origem	Valor variável
Condutividade térmica de projeto	λ	W/(m·K)	—	0 a 200	ISO 10456	Não
Resistência térmica	R	m ² ·K/W	—	>0	ISO 6946	Não
Resistência superficial externa	R_{se}	m ² ·K/W	0,04	—	ISO 6946	Não
Resistência superficial interna	R_{si}	m ² ·K/W	—	0,1 a 0,2	ISO 6946	Não
Transmitância térmica	U	W/(m ² ·K)	—	>0	ISO 6946	Não
Temperatura	θ	°C	—	-50 a +50	—	Não

7 Modelagem do componente construtivo

7.1 Sistemas dimensionais

Os comprimentos são medidos utilizando dimensões internas, dimensões internas totais ou dimensões externas, de acordo com o sistema dimensional que está sendo utilizado para o edifício (ver a ISO 13789).

7.2 Regras para a modelagem

7.2.1 Generalidades

Normalmente não é viável modelar um edifício completo usando um único modelo geométrico. Na maioria dos casos, o edifício é dividido em várias partes (incluindo o solo, quando apropriado) utilizando planos de corte. Essa segmentação deve ser realizada de tal forma que todas as diferenças sejam evitadas nos resultados do cálculo entre o edifício particionado e o edifício quando tratado como um todo. Este

particionamento em vários modelos geométricos é alcançado escolhendo planos de corte adequados.

7.2.2 Planos de corte para um modelo geométrico 3D para cálculo do fluxo total de calor e/ou temperaturas da superfície

O modelo geométrico inclui o(s) elemento(s) central(ais), os elementos de flaqueamento e, quando apropriado, o subsolo. O modelo geométrico é delimitado por planos de corte.

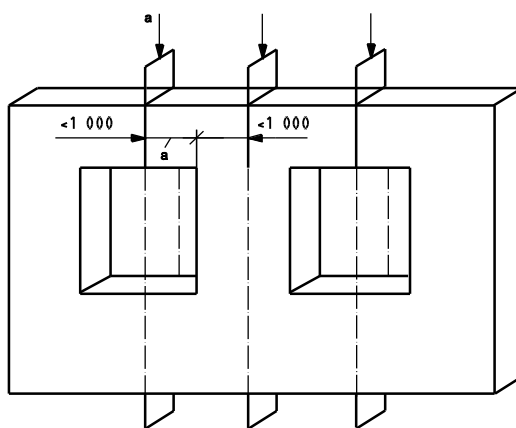
Os planos de corte devem ser posicionados da seguinte forma:

- em um plano de simetria se inferior a d_{min} do elemento central (ver a Figura 5);
- pelo menos d_{min} do elemento central se não houver um plano de simetria mais próximo (ver a Figura 6);
- no solo, de acordo com 7.2.4

onde d_{min} é o maior entre 1 m e três vezes a espessura do elemento de flaqueamento considerado.

Um modelo geométrico pode conter mais de uma ponte térmica. Nesses casos, os planos de corte precisam estar situados pelo menos d_{min} de cada ponte térmica, ou precisam estar em um plano de simetria (ver a Figura 6).

Dimensões em milímetros

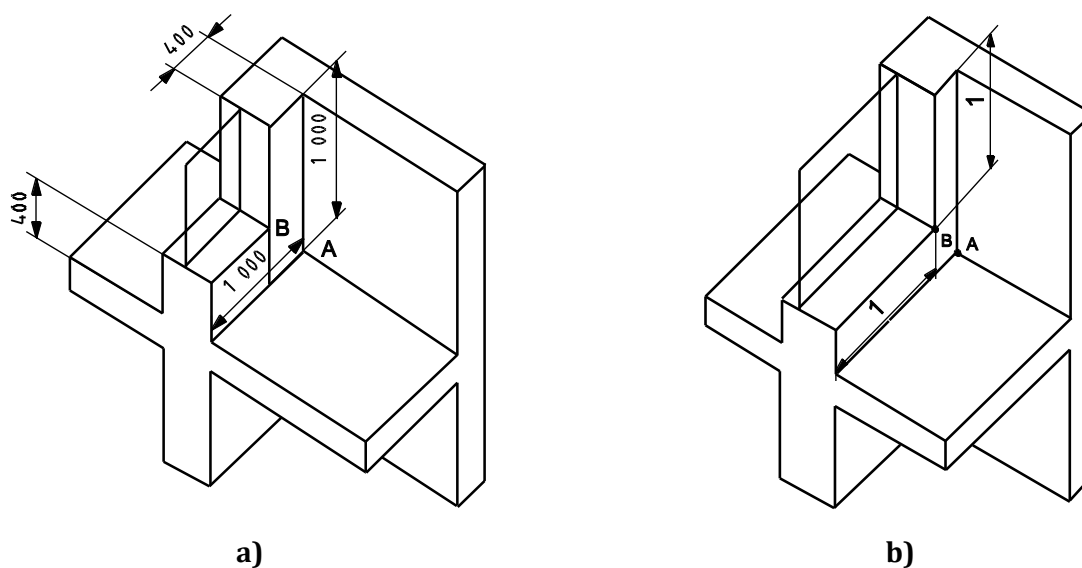


Legenda

^a As flechas indicam os planos de simetria.

Figura 5 — Planos de simetria que podem ser usados como planos de corte

Dimensões em milímetros



Legenda

1 1 000 mm ou em um plano de simetria

A ponte térmica no canto do ambiente interno

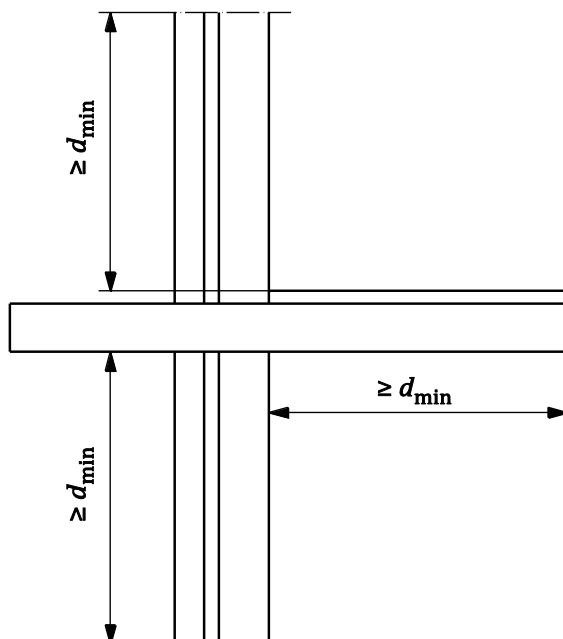
B ponte térmica ao redor da janela na parede externa

NOTA A ponte térmica B não atende à condição de estar pelo menos $d_{\min}$ ($= 1 \text{ m}$) de um plano de corte [Figura 6-a)]. Isso é corrigido estendendo o modelo em duas direções [Figura 6-b)].

Figura 6 — Modelo geométrico 3D contendo duas pontes térmicas

7.2.3 Planos de corte para um modelo geométrico 2D

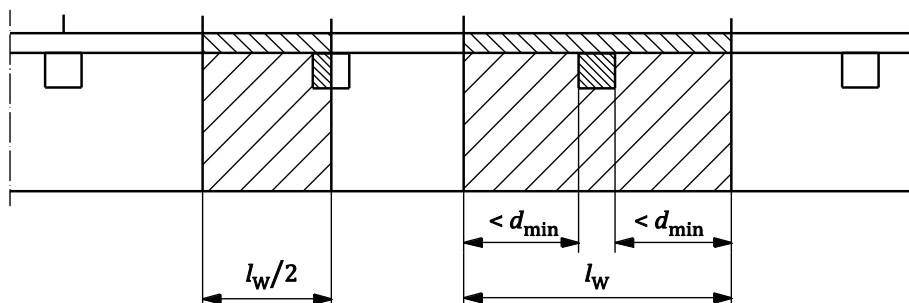
As mesmas regras descritas em 7.2.2 se aplicam a um modelo geométrico 2D. Exemplos são mostrados na Figura 7 e na Figura 8. Na Figura 8, o desenho à esquerda pode ser usado se a ponte térmica for simétrica.



Legenda

$d_{\min}$ espessura mínima

Figura 7 — Localização de planos de corte pelo menos $d_{\min}$ do elemento central em um modelo geométrico 2D



Legenda

$d_{\min}$ espessura mínima

l_w distância fixa

Figura 8 — Exemplo de uma construção com pontes térmicas lineares a distâncias fixas, l_w , mostrando planos de simetria que podem ser usados como planos de corte

7.2.4 Planos de corte no solo

Quando o cálculo envolver a transferência de calor através do solo (fundações, pavimentos térreos, pavimentos no subsolo), os planos de corte no solo devem ser posicionados conforme indicado na Tabela 5. Isso inclui o solo abaixo das paredes internas em contato com o solo.

Tabela 5 — Localização de planos de corte no solo

Direção	Distância do elemento central	
	Finalidade do cálculo	
	Somente temperaturas da superfície	Fluxo de calor e temperaturas da superfície ^a
Distância horizontal ao plano vertical, dentro do edifício	Pelo menos três vezes a espessura da parede	$0,5 \times \text{dimensão do piso}^b$
Distância horizontal ao plano vertical, fora do edifício	Pelo menos três vezes a espessura da parede	$2,5 \times \text{largura do piso}^{c,d}$
Distância vertical ao plano horizontal abaixo do nível do solo	Pelo menos 3 m	$2,5 \times \text{largura do piso}^c$
Distância vertical ao plano horizontal abaixo do nível do piso (aplica-se apenas se o nível do piso em consideração estiver mais de 2 m abaixo do nível do solo)	Pelo menos 1 m	$2,5 \times \text{largura do piso}^c$
^a Ver a Figura 9 e a Figura 10 . ^b Em um modelo geométrico 3D, as dimensões do piso (comprimento e largura) dentro do edifício são consideradas separadamente em cada direção (ver a Figura 9). ^c Em um modelo geométrico 3D, a distância fora do edifício e abaixo do solo é para ser baseada na menor dimensão (largura) do piso (ver Figura 9). ^d Se os planos de simetria vertical forem conhecidos, por exemplo, como resultado de edifícios adjacentes, eles podem ser usados como planos de corte.		

Para cálculos bidimensionais, existe um plano de simetria vertical no meio do piso (de modo que metade do edifício seja modelado). Para cálculos tridimensionais em um edifício retangular, condições de contorno adiabáticas verticais são consideradas no solo, em distância intermediária em cada direção (de modo que um quarto do edifício seja modelado). Para edifícios não retangulares, é necessário modelar o edifício completo (juntamente com o solo em todos os lados), ou converter o problema em uma representação bidimensional usando um edifício de comprimento infinito e de largura igual à dimensão característica do piso, B (ver ISO 13370).

EXEMPLO Para o piso ilustrado na [Figura 9](#), $B = b \cdot c / (b + c)$.

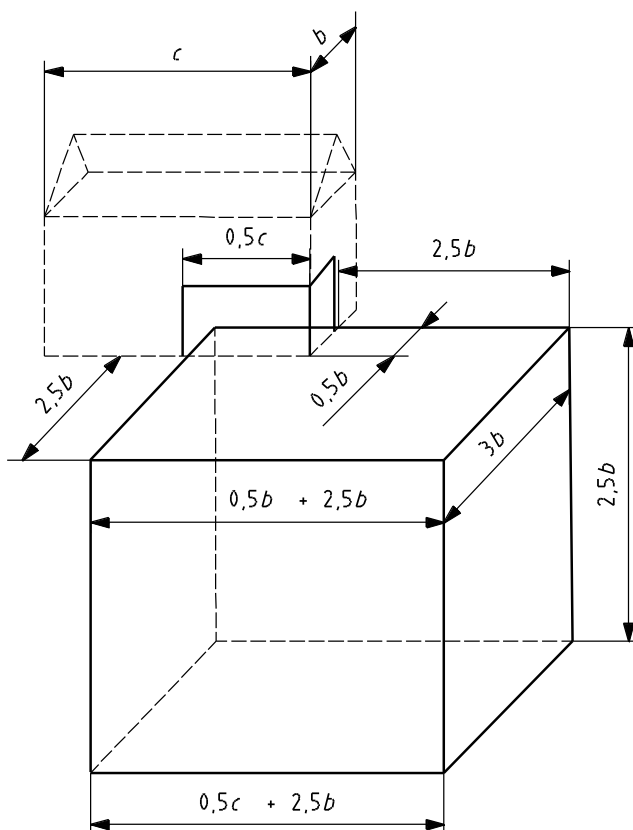
Todos os planos de corte devem ter condições de contorno adiabáticas.

7.2.5 Fluxos de calor periódicos através do solo

Critérios semelhantes aos de 7.2.4 se aplicam a cálculos numéricos dependentes do tempo para a determinação de coeficientes periódicos de transferência de calor (conforme definido na ISO 13370), exceto que os planos de corte adiabáticos podem ser tomados em posições iguais a duas vezes a profundidade de penetração periódica medida a partir da extremidade do piso em qualquer direção (se essas dimensões forem menores do que as especificadas em 7.2.4). Para mais detalhes, ver 12.4.3.2.

7.2.6 Ajustes nas dimensões

Ajustes nas dimensões do modelo geométrico em relação à geometria real são permitidos se as condições em 7.3.2 forem satisfeitas.

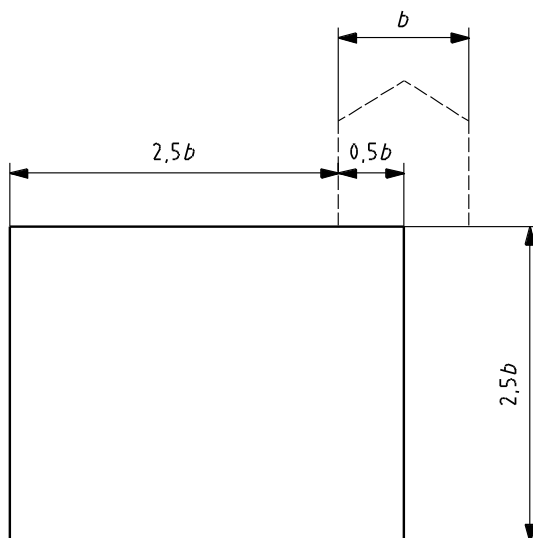


Legenda

b, c dimensões do piso

NOTA As dimensões do piso são $b \cdot c$, com $c > b$

Figura 9 — Planos de corte para modelo geométrico 3D que inclui o solo



Legenda

b largura do piso

Figura 10 — Planos de corte para modelo geométrico 2D que inclui o solo

7.2.7 Planos auxiliares

O número de planos auxiliares no modelo deve ser tal que pelo menos um dos critérios seguintes seja atendido:

- dobrar o número de subdivisões não altera o fluxo de calor em mais de 1%;
- dobrar o número de subdivisões não altera o fator de temperatura na superfície interna, f_{Rsi} em mais de 0,005.

NOTA 1 Os requisitos para a validação do método de cálculo são dados em C.2.

NOTA 2 Uma subdivisão satisfatória do modelo geométrico será normalmente obtida organizando-se para que as subdivisões sejam menores dentro de qualquer elemento central, e aumentando de tamanho gradualmente para subdivisões maiores, próximas aos planos de corte.

7.2.8 Camada quase homogênea e materiais

Em um modelo geométrico, materiais com diferentes condutividades térmicas podem ser substituídos por um material com uma única condutividade térmica se as condições em 7.3.3 forem satisfeitas.

EXEMPLO Juntas em alvenaria, amarrações em paredes com cavidades isoladas termicamente, parafusos em ripas de madeira, telhas e a respectiva cavidade de ar, e as ripas de telha.

7.3 Condições para a simplificação do modelo geométrico

7.3.1 Generalidades

Os resultados dos cálculos obtidos a partir de um modelo geométrico sem simplificações devem ter precedência sobre os obtidos a partir de um modelo geométrico com simplificações.

NOTA Isso é importante quando os resultados de um cálculo estão próximos de qualquer valor requerido.

Os ajustes descritos em 7.3.2 podem ser realizados.

Um modelo para outras restrições à simplificação do modelo geométrico é fornecido na Tabela A.2, com uma definição-padrão na Tabela B.2.

7.3.2 Condições para o ajuste de dimensões na simplificação do modelo geométrico

O ajuste das dimensões conforme descrito a seguir pode ser feito apenas para materiais com condutividade térmica menor do que $3 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

- Mudança na localização da superfície de um bloco de material adjacente à superfície interna ou externa do modelo geométrico (ver Figura 11): para a localização de superfícies que não são planas, o ajuste local perpendicular à localização média da superfície interna ou externa, d_c , não deve exceder o valor determinado conforme a Equação (1):

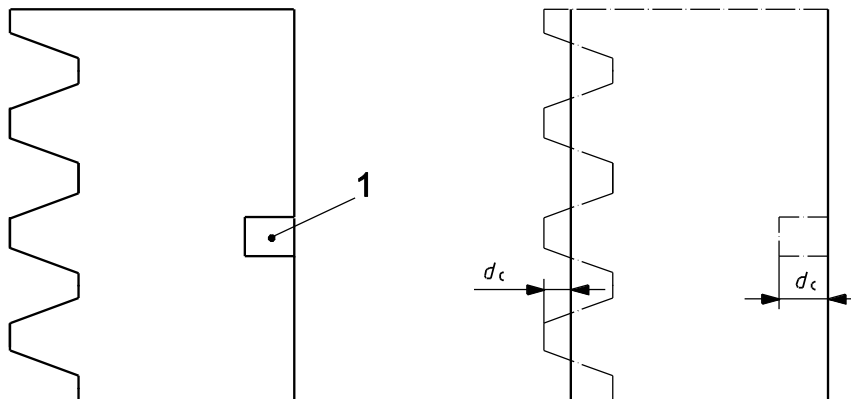
$$d_c = R_c \cdot \lambda \quad (1)$$

onde

R_c é igual a $0,03 \text{ m}^2\cdot\text{K/W}$;

λ é a condutividade térmica do material em questão.

EXEMPLO Superfícies inclinadas, bordas arredondadas e superfícies perfiladas, como as telhas.



Legenda

1 tomada

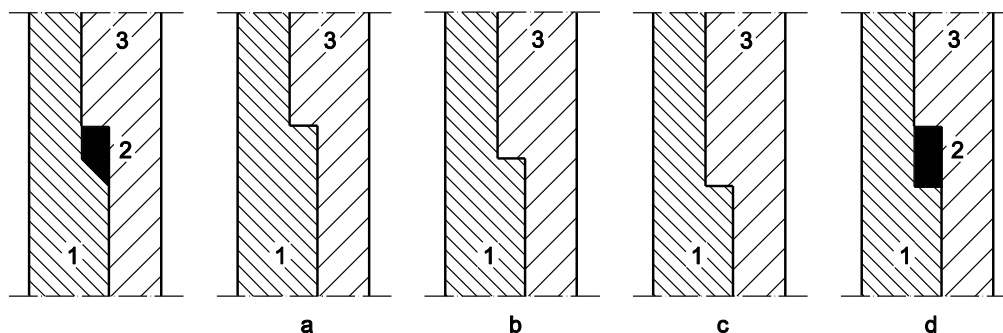
d_c ajuste local perpendicular à localização média da superfície interna ou externa

Figura 11 — Mudança na localização da superfície interna ou externa

b) Mudança na interface de duas regiões de materiais diferentes:

- a realocação da interface deve ocorrer em uma direção perpendicular à superfície interna;
- a relocação da interface deve ser tal que o material com a menor condutividade térmica seja substituído pelo material com a maior condutividade térmica (ver a Figura 12).

EXEMPLO Recuos para faixas de vedação, conjunto de juntas de, blocos de ajuste, tomadas de parede, superfícies inclinadas e outros detalhes de conexão.



Combinação		Simplificações			
Bloco de material	Condutividade térmica	a	b	c	d
1	λ_1	$\lambda_1 > \lambda_2$	$\lambda_1 > \lambda_3$	$\lambda_1 < \lambda_3$	$\lambda_1 < \lambda_2$
2	λ_2				
3	λ_3		$\lambda_3 > \lambda_2$	$\lambda_3 > \lambda_2$	$\lambda_3 < \lambda_2$

Figura 12 — Quatro possibilidades para realocar a interface entre três blocos de material, dependendo da proporção entre as suas condutividades térmicas, λ

c) Negligenciando camadas finas:

- camadas não metálicas com espessuras não superiores a 1 mm podem ser ignoradas;
- camadas metálicas finas podem ser ignoradas se for estabelecido que elas têm um efeito insignificante na transferência de calor.

EXEMPLO Membranas finas que resistem à passagem de umidade, vapor de água ou ar movido pelo vento.

d) Negligenciar apêndices fixados à superfície externa: os componentes do edifício que foram fixados à superfície externa (ou seja, fixados em pontos discretos) podem ser ignorados.

EXEMPLO Calhas de água da chuva e tubos de descarga.

7.3.3 Condições para o uso de camadas de material quase homogêneo para a simplificação do modelo geométrico

7.3.3.1 Todos os cálculos

As condições seguintes para a incorporação de pontes térmicas pontuais e lineares menores em uma camada quase homogênea se aplicam a todos os casos em que:

- as camadas de material em questão estão localizadas em uma parte da construção que, após a simplificação, torna-se um elemento de flanqueamento;
- condutividade térmica da camada quase homogênea após a simplificação não é maior do que 1,5 vezes a condutividade térmica mais baixa dos materiais presentes na camada antes da simplificação.

7.3.3.2 Cálculos realizados para obter o coeficiente de acoplamento térmico L3D ou L2D

A condutividade térmica equivalente da camada quase homogênea, λ' , deve ser calculada de acordo com a Equação (2) ou Equação (3):

$$\lambda' = \frac{d}{\frac{A}{L_{3D}} - R_{si} - R_{se} - \sum \frac{d_j}{\lambda_j}} \quad (2)$$

$$\lambda' = \frac{d}{\frac{l_{tb}}{L_{2D}} - R_{si} - R_{se} - \sum \frac{d_j}{\lambda_j}} \quad (3)$$

onde

d é a espessura da camada não homogênea termicamente;

A é a área do componente de construção;

l_{tb} é o comprimento de uma ponte térmica linear;

L_{3D} é o coeficiente de acoplamento térmico do componente da edificação determinado por um cálculo 3D;

L_{2D} é o coeficiente de acoplamento térmico do componente da edificação determinado por um cálculo 2D;

d_j é a espessura de qualquer camada homogênea que faz parte do elemento de construção;
 λ_j são as condutividades térmicas dessas camadas homogêneas.

NOTA O uso da Equação (2) ou da Equação (3) é apropriado se várias pontes térmicas menores idênticas estiverem presentes (amarrações de parede, juntas em alvenaria, blocos ocos, etc.). O cálculo do coeficiente de acoplamento térmico pode ser restrito a uma área básica representativa da camada não homogênea. Por exemplo, uma parede de cavidade com quatro amarrações de parede por metro quadrado pode ser representada por uma área básica de 0,25 m² com uma amarração de parede.

7.3.3.3 Cálculos realizados para obter a temperatura da superfície interna ou a transmitância térmica linear, Ψ , ou o ponto de transmitância térmica, χ

Consultar a Seção 11 para os cálculos utilizando valores de transmitâncias térmicas lineares e pontuais de cálculos 3D.

A condutividade térmica equivalente da camada quase homogênea, λ' , pode ser obtida conforme dado na Equação (4):

$$\lambda' = \frac{(A_1 \cdot \lambda_1 + \dots + A_n \cdot \lambda_n)}{(A_1 + \dots + A_n)} \quad (4)$$

onde

$\lambda_1, \dots, \lambda_n$ são as condutividades térmicas dos materiais constituintes;

$A_1, \dots, A_n$ são as áreas dos materiais constituintes medidas no plano da camada, desde que:

- as pontes térmicas na camada em consideração estejam em, ou quase em, ângulos retos com a superfície interna ou externa do elemento de construção e penetrem na camada em toda a sua espessura;
- a resistência térmica (superfície a superfície) do elemento de construção após a simplificação seja de pelo menos 1,5 (m²·K)/W;
- as condições de pelo menos um dos grupos indicados na Tabela 6 sejam atendidas (ver a Figura 13).

Tabela 6 — Condições específicas para incorporar pontes térmicas lineares ou pontuais em uma camada quase homogênea

Grupo ^a	λ_{tb} ^b W/(m·K)	A_{tb} ^c m ²	R_0 ^e m ² ·K/W	$R_{t,i}$ ^f m ² ·K/W	λ_i ^g W/(m·K)	d_i ^h m
1	≤1,5	≤0,05 × l_{tb} ^d	≤0,5	—	—	—
2	>3	≤30 × 10 ⁻⁶	≤0,5	—	—	—
3	>3	≤30 × 10 ⁻⁶	>0,5	≥0,5	—	—
4	>3	≤30 × 10 ⁻⁶	>0,5	<0,5	≥0,5	≥0,1

NOTA 1 O Grupo 1 inclui pontes térmicas lineares. Exemplos são juntas em alvenaria, sarrafos de madeira em cavidades de ar ou em cavidades isoladas de menor espessura.

NOTA 2 O Grupo 2 inclui itens como as amarrações parede, na medida em que sejam fixadas em alvenaria ou concreto ou estejam localizadas em uma cavidade de ar, bem como pregos e parafusos em camadas de material ou tiras com a resistência térmica máxima indicada.

NOTA 3 Os Grupos 3 e 4 incluem itens como as amarrações de cavidade, na medida em que penetram em uma camada de isolamento com maior resistência térmica do que a indicada para o Grupo 2. A folha interna, portanto, precisa ter propriedades térmicas que limitam a influência da ponte térmica sobre a temperatura da superfície interna, por exemplo se a folha interna tem uma resistência térmica suficiente (grupo 3) ou a condutividade térmica da folha interna é tal que o fluxo de calor através das amarrações da cavidade é adequadamente distribuído sobre a superfície interna; a maioria das folhas internas de alvenaria ou concreto são exemplos do grupo 4.

^a Ver a Figura 12.

^b λ_{tb} é a condutividade térmica da ponte térmica a ser incorporada na camada quase homogênea.

^c A_{tb} é a área da seção transversal da ponte térmica.

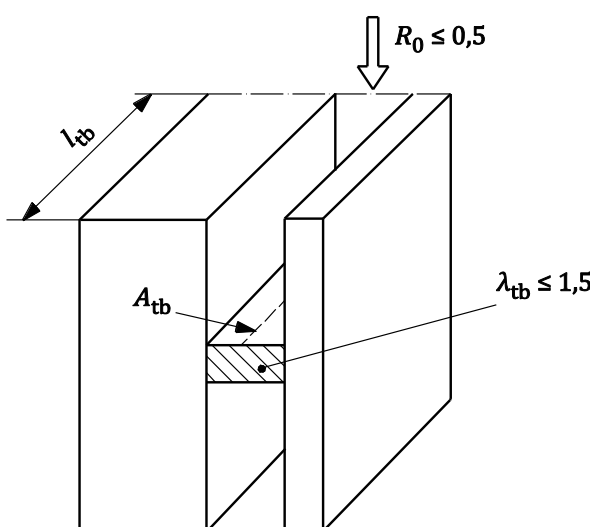
^d l_{tb} é o comprimento de uma ponte térmica linear.

^e R_0 é a resistência térmica da camada sem a presença da ponte térmica pontual.

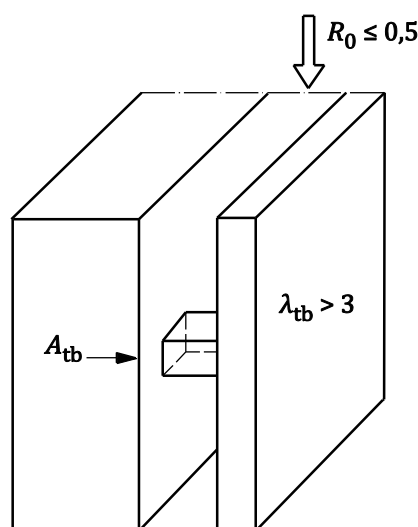
^f R_{ti} é a resistência térmica total das camadas entre a camada quase homogênea considerada e a superfície interna.

^g λ_i é a condutividade térmica da camada de material entre a camada quase homogênea considerada e a superfície interna com o maior valor de $\lambda_i d_i$.

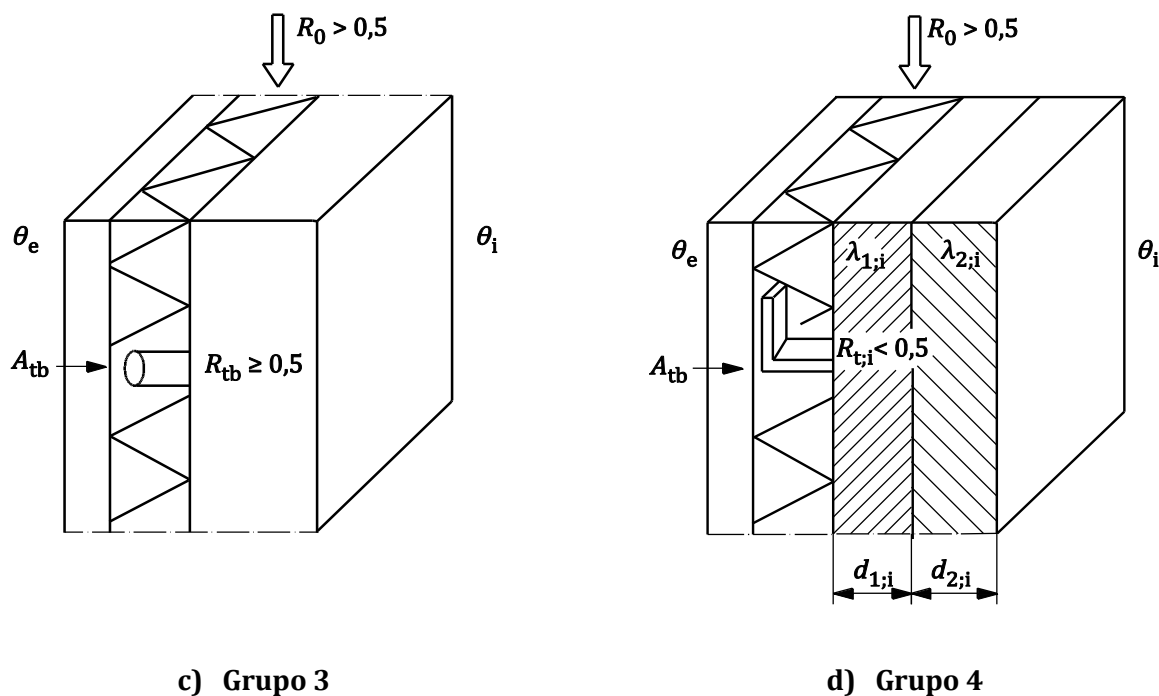
^h d_i é a espessura da mesma camada.



a) Grupo 1



b) Grupo 2



NOTA Para a legenda de símbolos e subscritos, consultar a Seção 4.

Figura 13 — Condições específicas para incorporar as pontes térmicas lineares e pontuais em uma camada quase homogênea para grupos dados na Tabela 6

8 Especificações de dados de entrada

8.1 Generalidades

Usar os valores conforme descrito nesta Seção, a menos que valores fora do padrão sejam justificados para uma situação particular.

NOTA Valores fora do padrão podem ser justificados por condições locais (ou seja, distribuições de temperatura estabelecidas no solo) ou por propriedades específicas do material (ou seja, o efeito de um revestimento de baixa emissividade na resistência da superfície).

8.2 Condutividade térmica dos materiais

Os valores da condutividade térmica de projeto devem ser calculados de acordo com a ISO 10456, se baseados em dados medidos fornecidos pelo fabricante.

Em outros casos, a condutividade térmica é obtida a partir de valores tabulados. Um modelo para os valores-padrão tabulados é fornecido na Tabela A.3, com uma lista-padrão informativa na Tabela B.3.

A condutividade térmica do solo deve ser de 2,0 W/(m·K), a menos que outro(s) valor(es) seja(m) dado(s) na Tabela A.3.

8.3 Resistência superficial

Para o cálculo das taxas de fluxo de calor, as resistências de superfície devem estar de acordo com a ISO 6946, dependendo da direção do fluxo de calor. No entanto, o valor de R_{si} correspondente ao fluxo de calor horizontal pode ser usado para todas as superfícies quando

- a direção do fluxo de calor é incerta ou pode variar, ou
- um edifício inteiro está sendo modelado em um único cálculo.

Para o cálculo das temperaturas da superfície interna para fins de avaliação do risco de condensação, as resistências da superfície devem estar de acordo com a ISO 13788.

8.4 Temperaturas da condição de contorno

A Tabela 7 fornece os valores de temperaturas da condição de contorno s que devem ser utilizados.

Tabela 7 — Temperaturas da condição de contorno

Local	Temperatura da condição de contorno
Interno	Temperatura da condição de contorno interna
Interno, em salas não condicionadas	Ver 8.7
Externo	Temperatura da condição de contorno externa
Solo (plano de corte horizontal)	À distância abaixo do nível do solo dada na Tabela 5: condição de contorno adiabática

8.5 Condutividade térmica de camadas quase homogêneas

A condutividade térmica de camadas quase homogêneas deve ser calculada de acordo com a Equação (2), Equação (3) e Equação (4).

8.6 Condutividade térmica equivalente de cavidades de ar

Uma cavidade de ar deve ser considerada como um material condutor homogêneo com uma condutividade térmica, λ_g .

Se a resistência térmica de uma camada de ar ou cavidade for conhecida, sua condutividade térmica equivalente, λ_g , é obtida a partir da Equação (5):

$$\lambda_g = \frac{d_g}{R_g} \quad (5)$$

onde

d_g é a espessura da camada de ar;

R_g é a resistência térmica na direção principal do fluxo de calor.

As resistências térmicas de camadas de ar e cavidades delimitadas por materiais opacos devem ser obtidas pelo procedimento da ISO 6946.

Para a resistência térmica das camadas de ar em vidros múltiplos, ver a EN 673. Informações sobre o tratamento de cavidades em caixilhos de janelas são fornecidas na ISO 10077-2.

Cavidades de ar com dimensões superiores a 0,5 m ao longo de cada um dos eixos ortogonais devem ser tratadas como salas (ver 8.7).

8.7 Determinação da temperatura em uma sala adjacente não condicionada

Se houver informações suficientes disponíveis, a temperatura em uma sala adjacente não condicionada deve ser calculada de acordo com a ISO 13789.

Se a temperatura em uma sala adjacente não condicionada for desconhecida e não puder ser calculada de acordo com a ISO 13789 porque as informações necessárias não estão disponíveis, os fluxos de calor e as temperaturas da superfície interna não podem ser calculados. No entanto, todos os coeficientes de acoplamento e fatores de ponderação de temperatura necessários podem ser calculados e apresentados de acordo com o Anexo E.

9 Método de cálculo

9.1 Técnica de solução

O modelo geométrico é dividido em várias células, cada uma com um ponto característico (chamado de nó). Aplicando as leis de conservação de energia ($\text{div } q = 0$) e Fourier ($q = -\lambda \text{ grad } \theta$) e considerando as condições de contorno, um sistema de equações é obtido em função das temperaturas nos nós. A solução desse sistema, seja por uma técnica de solução direta ou por um método iterativo, fornece as temperaturas dos nós a partir das quais o campo de temperatura pode ser determinado. A partir da distribuição de temperatura, os fluxos de calor podem ser calculados aplicando a lei de Fourier.

Os métodos de cálculo devem ser verificados de acordo com os requisitos do Anexo C.

9.2 Regras de cálculo

9.2.1 Fluxos de calor entre as células materiais e o ambiente adjacente

A densidade da taxa de fluxo de calor, q , perpendicular à interface entre uma célula material e o ambiente adjacente deve satisfazer a Equação (6):

$$q = \frac{(\theta - \theta_s)}{R_s} \quad (6)$$

onde

θ é a temperatura de referência interna ou externa;

θ_s é a temperatura na superfície interna ou externa;

R_s é a resistência da superfície interna ou externa.

9.2.2 Fluxos de calor em planos de corte

Os planos de corte devem ser adiabáticos (ou seja, fluxo de calor zero).

9.2.3 Solução das equações

As equações devem ser resolvidas de acordo com os requisitos dados em C.2.

9.2.4 Cálculo da distribuição de temperatura

A distribuição de temperatura dentro de cada célula de material deve ser calculada por interpolação entre as temperaturas do nó.

NOTA A interpolação linear é suficiente.

10 Determinação dos coeficientes de acoplamento térmico e taxa de fluxo de calor a partir de cálculos 3D

10.1 Duas temperaturas da condição de contorno, modelo não particionado

Se houver apenas dois ambientes com duas temperaturas diferentes (por exemplo, uma temperatura interna e outra externa), e se o cômodo ou edifício total for calculado tridimensionalmente a partir de um único modelo, então o coeficiente de acoplamento térmico total, $L_{3D,1,2}$, é obtido a partir da taxa de fluxo de calor total, Φ , da sala ou edifício, conforme indicado na Equação (7):

$$\Phi = L_{3D,1,2} \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad (7)$$

10.2 Duas temperaturas da condição de contorno, modelo particionado

Se o ambiente ou edifício foi particionado (ver a Figura 14), o valor total $L_{3D,i,j}$ é calculado a partir da Equação (8):

$$L_{3D,i,j} = \sum_{k=1}^{N_k} U_{k(i,j)} \cdot A_k + \sum_{m=1}^{N_m} L_{2D,m(i,j)} \cdot l_m + \sum_{n=1}^{N_n} L_{3D,n(i,j)} \quad (8)$$

onde

$L_{3D,n(i,j)}$	é o coeficiente de acoplamento térmico obtido a partir de um cálculo 3D para a parte n da sala ou edifício;
$L_{2D,m(i,j)}$	é o coeficiente de acoplamento térmico obtido a partir de um cálculo 2D para a parte m da sala ou edifício;
l_m	é o comprimento sobre o qual o valor $L_{2D,m(i,j)}$ se aplica;
$U_{k(i,j)}$	é a transmitância térmica obtida a partir de um cálculo 1-D para a parte k da sala ou edifício;
A_k	é a área sobre a qual o valor U_k se aplica;
N_n	é o número total de partes 3D;
N_m	é o número total de partes 2D;
N_k	é o número total de partes 1D.

NOTA Na Equação (8), $\sum A_k$ é menor do que a área de superfície total da envoltória porque parte da área de superfície está incluída nos termos 2D e 3D.

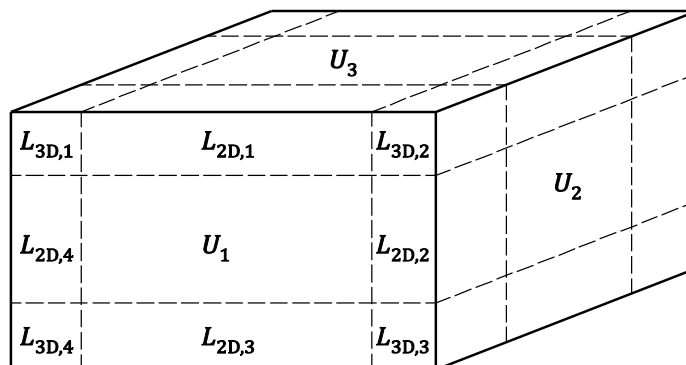


Figura 14 — Envoltória da edificação dividida em modelos geométricos 3D, 2D e 1D

10.3 Mais de duas temperaturas da condição de contorno

A taxa de fluxo de calor, Φ_{ij} , do ambiente i para um ambiente termicamente conectado j é dada pela Equação (9):

$$\Phi_{i,j} = L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j) \quad (9)$$

A taxa de fluxo de calor total de uma sala ou edifício pode ser calculada usando os princípios indicados na Seção 5. A taxa de fluxo de calor de/para uma sala à temperatura θ_i pode ser calculada a partir da Equação (10):

$$\Phi = \sum_j [L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)] \quad (10)$$

onde

$L_{3D,i,j}$ são os coeficientes de acoplamento entre a sala e salas adjacentes ou ambientes externos;

θ_j são as temperaturas de salas adjacentes ou ambientes externos.

A taxa de fluxo de calor total de/para um edifício pode ser calculada a partir da Equação (11):

$$\Phi = \sum_i \sum_j [L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)] \quad (11)$$

onde

θ_i são as temperaturas das salas internas;

θ_j são as temperaturas de ambientes externos;

$L_{3D,i,j}$ são os coeficientes de acoplamento correspondentes.

NOTA E.1 fornece um método para calcular os coeficientes de acoplamento térmico.

11 Cálculos utilizando as transmitâncias térmicas lineares e pontuais de cálculos 3D

11.1 Cálculo do coeficiente de acoplamento térmico

A relação entre $L_{3D,i,j}$ e as transmitâncias térmicas são dadas pela Equação (12):

$$L_{3D,i,j} = \sum_{k=1}^{N_k} U_{k(i,j)} \cdot A_k + \sum_{m=1}^{N_m} \Psi_{m(i,j)} \cdot l_m + \sum_{n=1}^{N_n} \chi_{n(i,j)} \quad (12)$$

onde

- $U_{k(i,j)}$ é a transmitância térmica da parte k da sala ou edifício;
- A_k é a área sobre a qual o valor $U_{k(i,j)}$ se aplica;
- $\Psi_{m(i,j)}$ é a transmitância térmica linear da parte m da sala ou edifício;
- l_m é o comprimento sobre o qual o valor $\Psi_{m(i,j)}$ se aplica;
- $\chi_{n(i,j)}$ é o ponto de transmitância térmica da parte n da sala ou edifício;
- N_k é o número de transmitâncias térmicas;
- N_m é o número de transmitâncias térmicas lineares;
- N_n é o número de transmitâncias térmicas pontuais.

NOTA 1 Na Equação (12), ΣA_k é igual à área total da superfície da envoltória.

NOTA 2 $L_{3D,i,j}$ é equivalente ao coeficiente de transferência de calor, H , usado em outras normas.

11.2 Cálculo de transmitâncias térmicas lineares e pontuais

Os valores de transmitância linear, Ψ , são determinados a partir da Equação (13):

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j \quad (13)$$

onde

- L_{2D} é o coeficiente de acoplamento térmico obtido a partir de um cálculo 2D do componente que separa os dois ambientes sendo considerados;
- U_j é a transmitância térmica do componente 1D, j , separando os dois ambientes sendo considerados;
- l_j é o comprimento sobre o qual o valor U_j se aplica.

Os valores de transmitância pontual, χ , são determinados a partir da Equação (14):

$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i \cdot A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \Psi_j \cdot l_j \quad (14)$$

onde

L_{3D} é o coeficiente de acoplamento térmico obtido a partir de um cálculo 3D do componente 3D que separa os dois ambientes sendo considerados;

U_i é a transmitância térmica do componente 1-D i separando os dois ambientes sendo considerados;

A_i é a área sobre a qual o valor U_i se aplica;

Ψ_j são transmitâncias térmicas lineares calculadas usando a Equação (18);

l_j é o comprimento sobre o qual o valor Ψ_j se aplica;

N_j é o número de componentes 2D;

N_i é o número de componentes 1D.

Ao determinar os valores Ψ e χ , é necessário informar quais dimensões (por exemplo, interna ou externa) estão sendo utilizadas, pois para vários tipos de pontes térmicas, os valores Ψ e χ dependem desta escolha.

NOTA O Anexo D fornece exemplos do cálculo dos valores de Ψ e χ .

12 Determinação do coeficiente de acoplamento térmico, taxa de fluxo de calor e transmitância térmica linear a partir de cálculos 2D

12.1 Duas temperaturas da condição de contorno

A taxa de fluxo de calor por metro de comprimento, Φ_l , da ponte térmica linear do ambiente interno, designada pelo subscrito "int", ao ambiente externo, designada pelo subscrito "e", é dada pela Equação (15):

$$\Phi_l = L_{2D} \cdot (\theta_{\text{int}} - \theta_e) \quad (15)$$

onde L_{2D} é o coeficiente de acoplamento térmico obtido a partir de um cálculo 2D do componente que separa os dois ambientes que estão sendo considerados.

12.2 Mais de duas temperaturas da condição de contorno

A taxa de fluxo de calor, $\Phi_{i,j}$, do ambiente i a um ambiente termicamente conectado j é dada pela Equação (16):

$$\Phi_{i,j} = L_{2D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j) \quad (16)$$

Para mais de dois ambientes com temperaturas diferentes (por exemplo, temperaturas internas diferentes ou temperaturas externas diferentes), a taxa total de fluxo de calor Φ para/da sala ou do edifício pode ser calculada a partir de Equação (17):

$$\Phi = \sum_{i < j} [L_{2D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)] \quad (17)$$

onde $L_{2D,i,j}$ são os coeficientes de acoplamento entre cada par de ambientes.

12.3 Determinação da transmitância térmica linear

A transmissão térmica linear considerada da ponte térmica linear que separa dois ambientes sendo, Ψ , é dada pela Equação (18):

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j \quad (18)$$

onde

U_j é a transmitância térmica do componente 1D j separando os dois ambientes que estão sendo considerados;

l_j é o comprimento dentro do modelo geométrico 2D sobre o qual o valor U_j se aplica;

N_j é o número de componentes 1D.

Ao determinar a transmitância térmica linear, é necessário afirmar quais dimensões (por exemplo, internas ou externas) estão sendo utilizadas, pois para vários tipos de pontes térmicas, o valor da transmitância térmica linear depende dessa escolha.

12.4 Determinação da transmitância térmica linear para junções de parede/piso

12.4.1 Todos os casos

Cálculos numéricos usando um modelo geométrico bidimensional podem ser usados para determinar valores de transmitância térmica linear para junções de parede/piso.

Modelar o detalhe completo, incluindo metade da largura do piso ou 4 m (o que for menor) e uma seção da parede para a altura h_w , e calcular L_{2D} como a taxa de fluxo de calor por diferença de temperatura e por comprimento do perímetro. h_w deve ser a distância mínima da junção a um plano de corte de acordo com os critérios em 7.2.3 e h_f deve ser a altura da parte superior da laje do piso acima do nível do solo (ver Figura 15). As dimensões do modelo fora do edifício e abaixo do solo estendem-se a 2,5 vezes a largura do piso ou 20 m (o que for menor). Ver também 7.2.5.

Se o cálculo for feito utilizando a largura de 4 m de piso (ou seja, $B = 8$ m), o resultado pode ser usado para qualquer piso de tamanho maior ($B > 8$ m).

O cálculo é então continuado usando a Opção A (ver 12.4.2) ou Opção B (ver 12.4.3).

Um modelo para especificação da escolha entre estas opções é dado na Tabela A.4, com uma lista informativa padrão na Tabela B.4.

12.4.2 Opção A

12.4.2.1 Nível interno do piso igual ou maior que o nível do solo externo

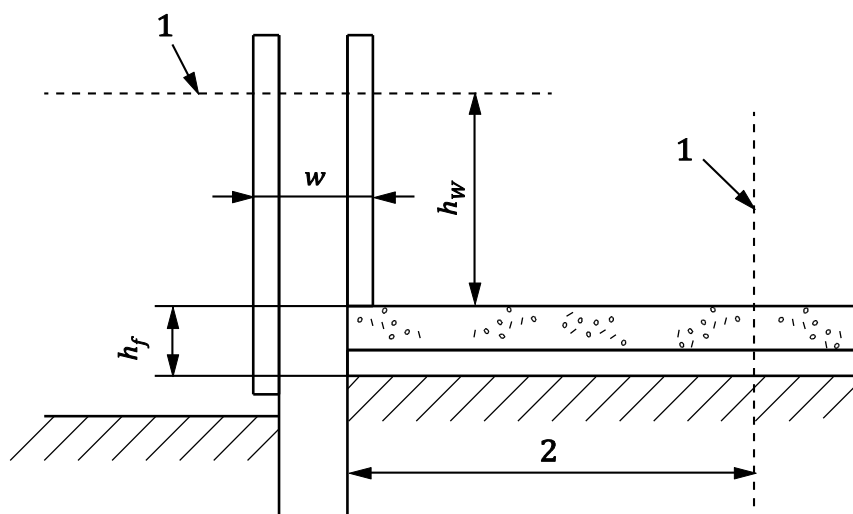
L_{2D} é obtido pelo cálculo numérico do detalhe completo (incluindo solo, isolamento das bordas, quando aplicável). U_w é calculado usando a ISO 6946, enquanto U_g é calculado usando o procedimento simplificado da ISO 13370, incluindo eventuais isolamentos da laje do piso e, quando aplicável, correção para o isolamento das bordas (ver a Figura 15).

Calcular Ψ_g pela Equação (19) utilizando dimensões internas e pela Equação (20) utilizando dimensões externas:

$$\Psi_g = L_{2D} - h_W \cdot U_W - 0,5 \times B \cdot U_g \quad (19)$$

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_W + h_f) \cdot U_W - (0,5 \times B + w) \cdot U_g \quad (20)$$

onde U_W é a transmitância térmica da parede acima do solo, como modelado no cálculo numérico.



Legenda

- 1 limite adiabático
- 2 $0,5 \times B$ ou 4 m
- h_f altura da parte superior da laje de piso acima do nível do solo
- h_W distância mínima da junção e do plano de corte (ver 7.2.3)
- w espessura da parede acima do solo

NOTA As dimensões do modelo se estendem para $0,5 \times B$ na parte interna da edificação e para $2,5 \times B$ externa a edificação e abaixo do solo.

Figura 15 — Modelo para cálculo da transmitância térmica linear da junção parede/piso (nível interno igual ou superior ao do nível do solo externo)

12.4.2.2 Nível interno do piso abaixo do nível do solo externo

L_{2D} é obtido pelo cálculo numérico do detalhe completo (incluindo solo, pavimentos no subsolo e isolamento das bordas, quando aplicável). U_W é calculado usando a ISO 6946, enquanto U_g e $U_{W,b}$ são calculados usando o procedimento simplificado da ISO 13370 para um pavimento no subsolo condicionado, incluindo eventuais isolamentos da laje do piso e transmitância através da parede do subsolo e, quando aplicável, a profundidade do subsolo e correção para isolamento de bordas (ver a Figura 16).

Calcular Ψ_g pela Equação (21) utilizando dimensões internas e pela Equação (22) utilizando as dimensões externas:

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_W - h_f) \cdot U_W - h_f \cdot U_{W,b} - 0,5 \times B U_g \quad (21)$$

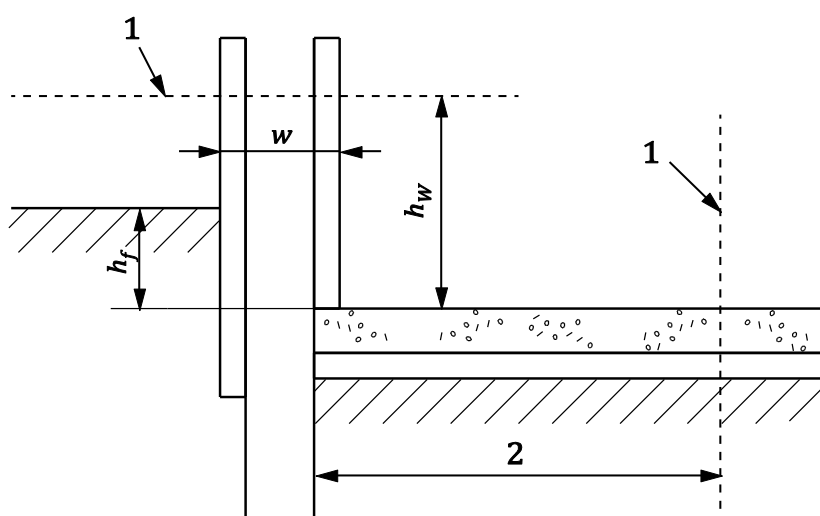
$$\Psi_g = L_{2D} - (h_W - h_f) \cdot U_W - h_f \cdot U_{W,b} - (0,5 \times B + w) \cdot U_g \quad (22)$$

onde

U_W é a transmitância térmica da parede acima do solo, conforme modelado no cálculo numérico;

$U_{W,b}$ é a transmitância térmica da parede do subsolo, calculada conforme a ISO 13370.

NOTA BRASILEIRA U_g é a transmitância térmica considerando o fluxo de calor através do solo, calculada conforme a ISO 13370.



Legenda

1 limite adiabático

2 $0,5 \times B$ ou 4 m

h_f altura da parte superior da laje de piso abaixo do nível do solo (parede do subsolo)

h_W distância mínima da junção e do plano de corte (ver 7.2.3)

w espessura da parede acima do solo

NOTA As dimensões do modelo se estendem para $0,5 \times B$ na parte interna da edificação e para $2,5 \times B$ externa a edificação e abaixo do solo.

Figura 16 — Modelo para cálculo da transmitância térmica linear da junção parede/piso (nível interno do piso abaixo do nível do solo externo)

12.4.3 Opção B

12.4.3.1 Nível interno do piso igual ou maior do que o nível do solo externo

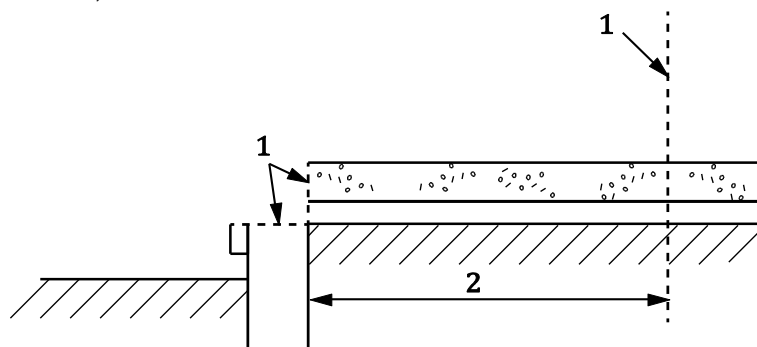
Remover a parede até o nível da parte inferior da laje do piso (ver a Figura 17). Usar limites adiabáticos onde a parede estava anteriormente em contato com a laje de piso ou com o solo. Obter $L_{2D,a}$ através de um segundo cálculo numérico com base no detalhe revisado.

Tanto L_{2D} como $L_{2D,a}$ são obtidos pelo cálculo numérico de acordo com o procedimento descrito em 12.4.

U_W é calculado usando a ISO 6946.

Assim,

$$\Psi_g = L_{2D} - h_W \cdot U_W - L_{2D,a} \quad (23)$$



Legenda

- 1 limite adiabático
- 2 $0,5 \times B$ ou 4 m

Figura 17 — Modelo para segundo cálculo numérico para a opção B (nível interno igual ou superior ao do nível do solo externo)

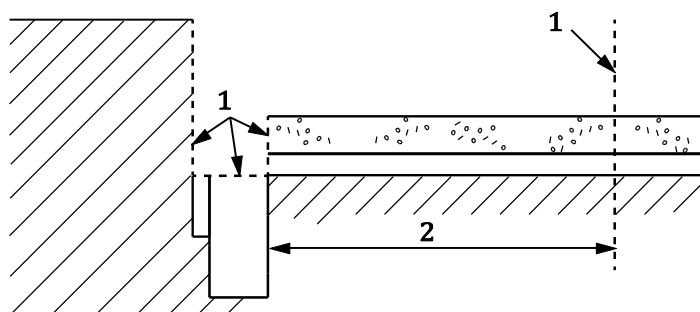
12.4.3.2 Nível interno do piso abaixo do nível do solo externo

Substituir todo o material abaixo do solo por terra (mas retendo qualquer isolamento de piso) e remover a parede até o nível da parte inferior da laje de piso (ver a Figura 18). Usar limites adiabáticos onde a parede estava anteriormente em contato com a laje de piso ou com o solo. Obter $L_{2D,a}$ através de um segundo cálculo numérico com base no detalhe revisado.

Tanto L_{2D} como $L_{2D,a}$ são obtidos pelo cálculo numérico de acordo com o procedimento descrito em 12.4. U_W é calculado conforme a ISO 6946.

Assim

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_W - h_f) \cdot U_W - L_{2D,a} \quad (24)$$



Legenda

- 1 limite adiabático
- 2 $0,5 \times B$ ou 4 m

Figura 18 — Modelo para segundo cálculo numérico para a opção B (nível interno do piso abaixo do nível do solo externo)

12.5 Determinação do coeficiente periódico de transferência de calor para pisos térreos

O modelo geométrico de 12.4 pode ser usado com um método de cálculo numérico dependente do tempo para determinar ambos Ψ_g e o coeficiente periódico de transferência de calor externo, H_{pe} . Convém que o tamanho do passo de tempo assegure um cálculo estável. Determinar o fluxo de calor total médio através das superfícies internas em W/m para cada mês do ano. O cálculo continua até que o fluxo de calor pelas superfícies internas para o mês de dezembro do último ano passado difira em menos de 1 % do fluxo de calor em dezembro do ano anterior. Isso normalmente pode ser obtido calculando pelo menos 10 anos.

A temperatura interna é mantida em um valor constante, $\bar{\theta}_i$, e a temperatura externa, no período t , em °C, $\theta_e(t)$, é representada pela Equação (25):

$$\theta_e(t) = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{t - \tau}{12}\right) \quad (25)$$

onde

$\bar{\theta}_e$ é a temperatura externa média anual, expressa em graus Celsius (°C);

$\hat{\theta}_e$ é a amplitude das variações na temperatura externa média mensal, em Kelvins (K);

t é o tempo, expresso em meses ($t = 0$ no início de janeiro);

τ é o tempo, expresso em meses, em que ocorre a temperatura externa mínima.

Para obter mais informações, incluindo propriedades do solo, ver a ISO 13370.

Para cada mês, obter o fluxo de calor, q_m , além do contabilizado pela U_w e U_g , conforme dado na Equação (26):

$$q_m = q_{c,m} - h_W \cdot U_W \cdot (\bar{\theta}_{int} - \theta_{e,m}) - 0,5 \times B \cdot U_g \cdot (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e) \quad (26)$$

onde $q_{c,m}$ é o fluxo médio de calor através das superfícies internas no mês m , como obtido a partir dos resultados numéricos. Assim, como dado na Equação (27):

$$\Psi_g = \frac{\sum_{m=1}^{12} q_m}{12 \times (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e)} \quad (27)$$

e Equação (28):

$$H_{pe} = P \cdot \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{2 \times \hat{\theta}_e} \right) \quad (28)$$

onde

P é o perímetro de piso exposto;

q_{max} é o valor máximo de q_m ;

q_{min} é o valor mínimo de q_m .

NOTA H_{pe} calculado usando a Equação (28) inclui Ψ_g .

13 Determinação da temperatura da superfície interna

13.1 Determinação da temperatura da superfície interna a partir de cálculos 3D

13.1.1 Duas temperaturas de contorno

Se houver apenas dois ambientes envolvidos e o subsolo não fizer parte do modelo geométrico, as temperaturas da superfície podem ser expressas de forma adimensional de acordo com a Equação (29):

$$f_{Rsi}(x, y, z) = \frac{\theta_{si}(x, y, z) - \theta_e}{\theta_{int} - \theta_e} \quad (29)$$

onde

$f_{Rsi}(x, y, z)$ é o fator de temperatura da superfície interna no ponto (x, y, z) ;

$\theta_{si}(x, y, z)$ é a temperatura da superfície interna no ponto (x, y, z) ;

θ_{int} é a temperatura interna;

θ_e é a temperatura externa.

O fator de temperatura deve ser calculado com um erro inferior a 0,005.

13.1.2 Mais de duas temperaturas de contorno

Se houver mais de duas temperaturas de contorno, deve ser utilizado o fator de ponderação da temperatura, g . Os fatores de ponderação da temperatura fornecem os meios para calcular a temperatura em qualquer local da superfície interna com coordenadas (x, y, z) como uma função linear de qualquer conjunto de temperaturas de contorno.

NOTA 1 Pelo menos três temperaturas de contorno estão envolvidas se o modelo geométrico incluir ambientes internos com temperaturas diferentes.

Usando os fatores de ponderação da temperatura, a temperatura da superfície no local (x, y, z) no ambiente j é dada pela Equação (30):

$$\theta_j(x, y, z) = g_{j,1}(x, y, z) \cdot \theta_1 + g_{j,2}(x, y, z) \cdot \theta_2 + \dots + g_{j,n}(x, y, z) \cdot \theta_n \quad (30)$$

com a Equação (31):

$$g_{j,1}(x, y, z) + g_{j,2}(x, y, z) + \dots + g_{j,n}(x, y, z) = 1 \quad (31)$$

NOTE 2 E.3 fornece um método para calcular os fatores de ponderação.

Calcular a temperatura da superfície interna, θ_{si} , no local de interesse, inserindo os valores calculados de $g_{j,i}$ e as temperaturas de contorno reais, θ_i , na Equação (30).

NOTA 3 A localização de interesse é normalmente o ponto com a menor temperatura da superfície interna. Este local pode variar se as temperaturas de contorno forem alteradas.

13.2 Determinação da temperatura da superfície interna a partir de cálculos 2D

13.2.1 Duas temperaturas de contorno

Quando há apenas dois ambientes envolvidos, as temperaturas da superfície podem ser expressas de forma adimensional de acordo com a Equação (32):

$$f_{Rsi}(x, y) = \frac{\theta_{si}(x, y) - \theta_e}{\theta_{int} - \theta_e} \quad (32)$$

onde

$f_{Rsi}(x, y)$ é o fator de temperatura da superfície interna no ponto (x, y) ;

$\theta_{si}(x, y)$ é a temperatura da superfície interna no ponto (x, y) ;

θ_{int} é a temperatura interna;

θ_e é a temperatura externa.

O fator de temperatura deve ser calculado com um erro inferior a 0,005.

13.2.2 Três temperaturas de contorno

Se houver três temperaturas de contorno envolvidas, deve ser utilizado o fator de ponderação da temperatura, g . Os fatores de ponderação da temperatura fornecem os meios para calcular a temperatura em qualquer local da superfície interna com coordenadas (x, y) como uma função linear de qualquer conjunto de temperaturas de contorno.

As temperaturas da superfície no local (x, y) no ambiente j são dadas pela Equação (33):

$$\theta_j(x, y) = g_{j,1}(x, y) \cdot \theta_1 + g_{j,2}(x, y) \cdot \theta_2 + g_{j,3}(x, y) \cdot \theta_3 \quad (33)$$

com a Equação (34):

$$g_{j,1}(x, y) + g_{j,2}(x, y) + g_{j,3}(x, y) = 1 \quad (34)$$

NOTA Os fatores de ponderação na localização de interesse podem ser calculados de acordo com o Anexo E. A localização de interesse é normalmente o ponto com a menor temperatura da superfície interna. Este local pode variar se as temperaturas de contorno forem alteradas.

14 Relatório

14.1 Dados de entrada

O relatório do cálculo deve conter as seguintes informações:

a) descrição da estrutura:

— projeto de edificação, incluindo dimensões e materiais;

— para uma edificação construída, quaisquer alterações conhecidas na construção e/ou medidas físicas e detalhes da inspeção;

— outras observações pertinentes;

b) descrição do modelo geométrico:

- modelo geométrico 2D ou 3D com dimensões;
- dados de entrada mostrando a localização dos planos de construção e quaisquer planos auxiliares, juntamente com as condutividades térmicas dos diversos materiais;
- as temperaturas de contorno aplicadas;
- o cálculo da temperatura de contorno em uma área adjacente, quando apropriado;
- as resistências superficiais e as áreas a que se aplicam;
- quaisquer ajustes dimensionais de acordo com 7.3.2;
- quaisquer camadas quase homogêneas e as condutividades térmicas calculadas de acordo com 7.3.3;
- quaisquer valores não padronizados utilizados com justificativa do desvio dos valores-padrão (ver 8.1).

14.2 Dados de saída

14.2.1 Generalidades

Os seguintes resultados de cálculo devem ser relatados como valores independentes das temperaturas de contorno:

- coeficiente de acoplamento térmico L_{3D} ou L_{2D} entre salas adjacentes envolvidas na transferência de calor através dos componentes do edifício;

NOTA 1 Um exemplo é dado na Tabela E.2.

- se apropriado, a transmitância térmica linear, Ψ , da ponte térmica linear, indicando se foram utilizadas dimensões internas ou externas;

- fator de temperatura, f_{Rsi} , para os pontos de temperaturas mais baixas da superfície em cada sala envolvida (incluindo a localização desses pontos); se forem utilizadas mais de duas temperaturas de contorno, os fatores de ponderação da temperatura devem ser relatados.

NOTA 2 Um exemplo de como relatar fatores de ponderação da temperatura é dado na Tabela E.4.

Todos os valores de saída devem ser dados com pelo menos três dígitos significativos.

14.2.2 Cálculo da transmissão de calor usando coeficiente de acoplamento térmico

A transmissão de calor do ambiente i para o ambiente j é dada pela Equação (10), se houver mais de duas temperaturas de contorno, pela Equação (9), se houver duas temperaturas de contorno, ou pela Equação (15), para um modelo geométrico 2D.

14.2.3 Cálculo das temperaturas da superfície usando fatores de ponderação

A menor temperatura interna da superfície exposta ao ambiente j é dada pela Equação (30) para um modelo geométrico 3D ou pela Equação (33) para um modelo geométrico 2D.



14.2.4 Dados de saída adicionais

Para um conjunto específico de temperaturas de contorno, devem ser apresentados os seguintes valores adicionais:

- taxas de fluxo de calor, em watts por metro (para casos 2D) ou em watts (para casos 3D), para cada par de ambientes de interesse;
- temperaturas mínimas da superfície, em graus Celsius, e a localização dos pontos com temperatura mínima da superfície em cada ambiente de interesse.

14.2.5 Estimativa de erro

Procedimentos numéricos fornecem soluções aproximadas que convergem para soluções analíticas, caso existam. Para avaliar a confiabilidade dos resultados, convém que o erro residual seja estimado, conforme descrito abaixo.

— A fim de estimar erros devido ao número insuficiente de células, o cálculo adicional deve ser feito de acordo com C.2. A diferença de resultados para ambos os cálculos deve ser declarada.

— A fim de estimar os erros decorrentes da solução numérica do sistema de equações, deve ser indicada a soma de fluxos de calor (positivos e negativos) sobre todos as condições de contorno do componente construtivo dividido pelo fluxo de calor total.

NOTA C.2 especifica que este quociente seja inferior a 0,000 1.

Um modelo para especificar o erro máximo permitido é dado na Tabela A.5, com um padrão informativo na Tabela B.5.

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 assegurar 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 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 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 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 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.

A.2 Referências

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

Tabela A.1 — Referências

Referência	Documento de referência ^a	
	Número	Título
Mx-y ^b	...	...
	...	...
^a Se uma referência compreende mais de um documento, estas 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 opções de métodos. O A.3 é mantido para preservar a uniformidade entre todas as normas DEE.

A.4 Dados de entrada e definições

Tabela A.2 — Restrições às simplificações do modelo geométrico (ver 7.3.1)

Item	Restrições
Restrições às simplificações do modelo geométrico	Fornecer a lista de restrições

Tabela A.3 — Valores de condutividade térmica predefinidos (ver 8.2)

Material ^a	Condutividade térmica λ W/(m·K)
^a Linhas podem ser excluídas ou adicionadas, e os materiais podem ser posteriormente especificados ou agrupados.	

Tabela A.4 — Base de cálculo para junções parede/piso (ver 12.4.1)

Item	Definição
Opção A ou B como definido em 12.4	A ou B

Tabela A.5 — Requisito para estimar o erro máximo do método numérico (ver 14.2.5)

Item	Definição
Erro máximo no método numérico?	Sim/Não
Se sim, valor máximo do erro	 %

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 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 NA.3a, Tabela NA.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 NA, Anexo NB, 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 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 código do módulo DEE, 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, estas 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 opções de métodos. O B.3 é mantido para preservar a uniformidade entre todas as normas DEE.

B.4 Dados de entrada e definições

Tabela B.2 — Restrições às simplificações do modelo geométrico (ver 7.3.1)

Item	Restrição
Restrições às simplificações do modelo geométrico	Conforme em 7.3

Tabela B.3 — Valores de condutividade térmica predefinidos (ver 8.2)

Material ^a	Condutividade térmica λ W/(m·K)
Materiais com propriedades em norma de produto ISO ou EN ou listadas na ISO 10456	Valores de acordo com a norma de produto, se disponível; caso contrário da ISO 10456
^a Linhas podem ser excluídas ou adicionadas e os materiais podem ser posteriormente especificados ou agrupados.	

Tabela B.4 — Base de cálculo para junções de parede/piso (ver 12.4.1)

Item	Definição
Opção A ou B como definido em 12.4	B

Tabela B.5 — Requisito para estimar o erro máximo do método numérico (ver 14.2.5)

Item	Definição
Erro máximo no método numérico?	Não
Se Sim, valor máximo do erro	—

Anexo C (normativo) Validação dos métodos de cálculo

C.1 Casos de ensaio de referência

C.1.1 Generalidades

Para ser classificado como um método tridimensional de alta precisão em regime estacionário, um método de cálculo deve fornecer resultados correspondentes aos dos casos de ensaio de referência 1, 2, 3 e 4, representados respectivamente na Figura C.1, na Figura C.2, na Figura C.3 e na Figura C.4.

Para ser classificado como um método bidimensional de alta precisão em regime estacionário, o método deve fornecer resultados correspondentes aos dos casos de ensaio de referência 1 e 2, representados, respectivamente, na Figura C.1 e na Figura C.2.

C.1.2 Caso 1

A transferência de calor através de meia coluna quadrada, com temperaturas de superfície conhecidas, pode ser calculada analiticamente, como mostra a Figura C.1. A solução analítica a 28 pontos de uma grade equidistante é dada na mesma figura. A diferença entre as temperaturas calculadas pelo método que está sendo validado e as temperaturas listadas não pode exceder 0,1 °C.

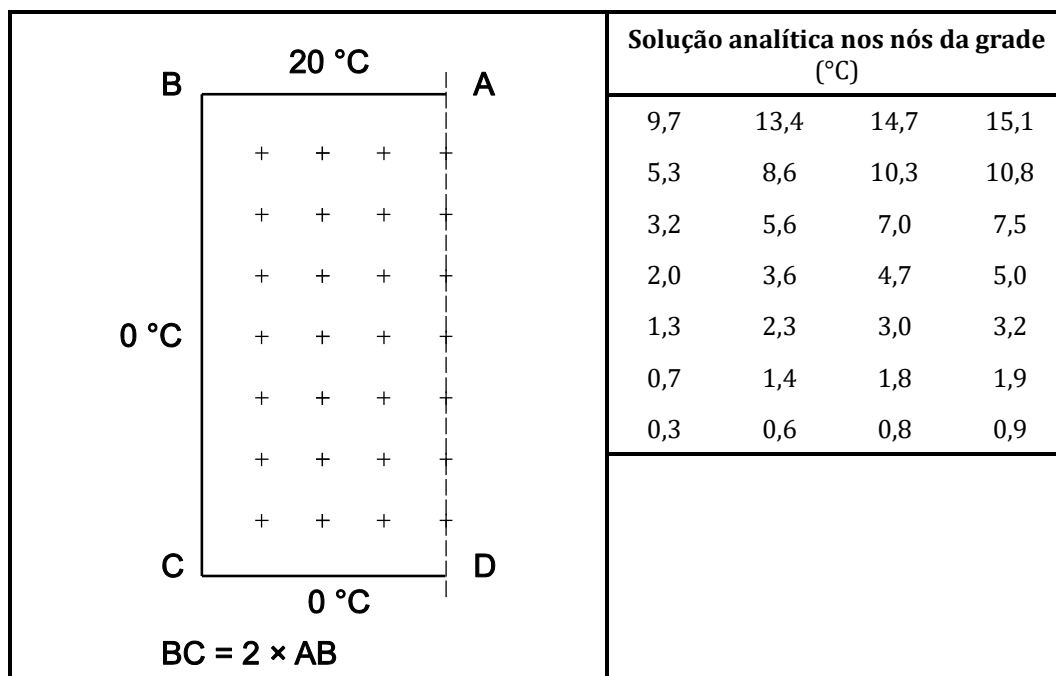
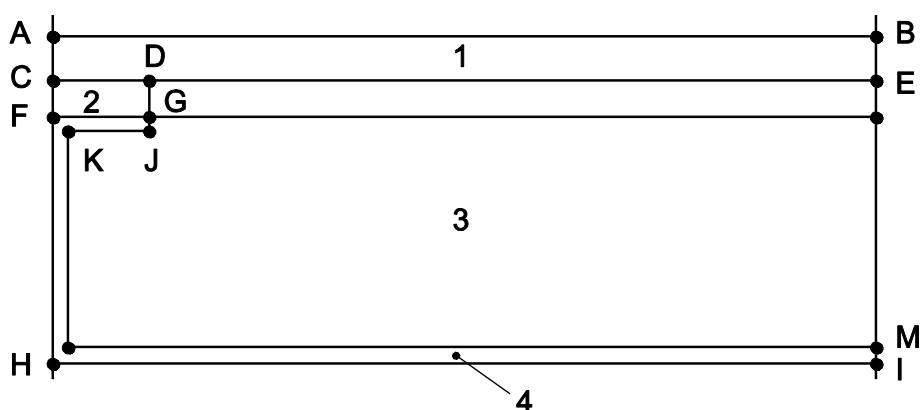


Figura C.1 — Caso de ensaio de referência 1: comparação com a solução analítica

C.1.3 Caso 2

C.1.3.1 Descrição do modelo para o caso 2

Um exemplo de transferência de calor bidimensional é dado na Figura C.2, na Tabela C.1 e na Tabela C.2.



Legenda

- 1 concreto
- 2 madeira
- 3 isolamento
- 4 alumínio

Figura C.2 — Caso de ensaio de referência 2: Transferência de calor bidimensional

Tabela C.1 — Descrição do modelo para o caso 2

Dimensões mm	Condutividade térmica $W/(m \cdot K)$	Condições de contorno
AB = 500	1: 1,15	AB: 0 °C com $R_{se} = 0,06 m^2 \cdot K/W$
AC = 6	2: 0,12	HI: 20 °C com $R_{si} = 0,11 m^2 \cdot K/W$
CD = 15	3: 0,029	—
CF = 5	4: 230	—
EM = 40	—	—
GJ = 1,5	—	—
IM = 1,5	—	—
FG – KJ = 1,5	—	—

C.1.3.2 Solução numérica para o caso 2

Tabela C.2 — Resultados de temperatura para o caso 2

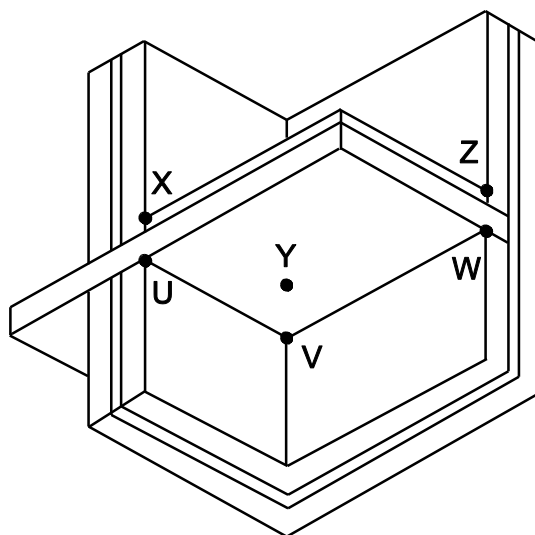
Temperaturas °C		
A: 7,1		B: 0,8
C: 7,9	D: 6,3	E: 0,8
F: 16,4	G: 16,3	
H: 16,8		I: 18,3
Taxa total de fluxo de calor: 9,5 W/m		

A diferença entre as temperaturas calculadas pelo método que está sendo validado e as temperaturas listadas não pode exceder 0,1 °C. A diferença entre o fluxo de calor calculado pelo método que está sendo validado e o fluxo de calor listado não pode exceder 0,1 W/m.

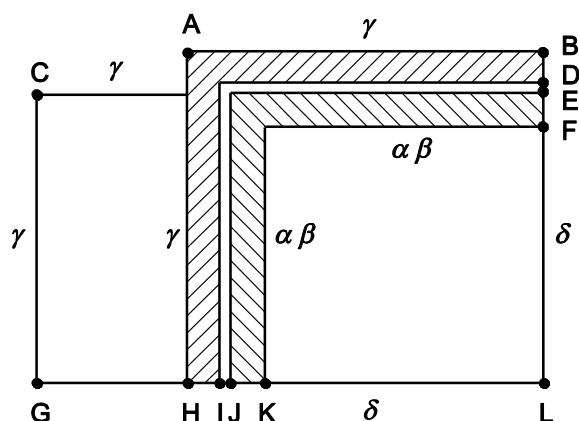
C.1.4 Caso 3

C.1.4.1 Descrição do modelo para o caso 3

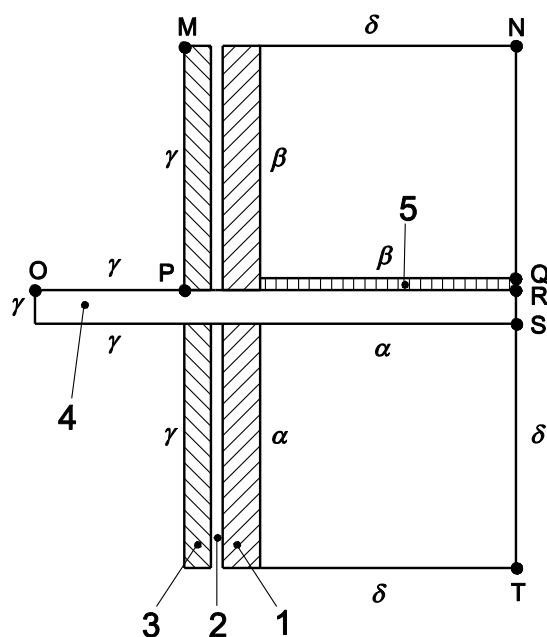
Um exemplo de transferência de calor tridimensional é fornecido na Figura C.3, na Tabela C.3, na Tabela C.4 e na Tabela C.5.



a) Visão em perspectiva



b) Seção horizontal



c) Seção vertical

NOTA Y e V são cantos tridimensionais.

Figura C.3 — Caso de ensaio de referência 3: Modelo geométrico tridimensional

Tabela C.3 — Descrição do modelo para o caso 3

Dimensões mm	Condutividade térmica W/(m·K)	Condições de contorno
AB = 1 300	1: 0,7	α : 20 °C com $R_{Si} = 0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
BD = HI = 100	2: 0,04	β : 15 °C com $R_{Si} = 0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
DE = IJ = 50	3: 1,0	γ : 0 °C com $R_{Se} = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
EF = JK = 150	4: 2,5	δ : adiabático
FL = KL = 1 000	5: 1,0	
CG = 1150		
GH = 600		
MP = ST = 1 000		
QR = 50		
RS = 150		
NQ = 950		
OP = 600		

C.1.4.2 Solução numérica para o caso 3: Fatores de temperatura da superfície

Tabela C.4 — Resultados de temperatura para o caso 3

Ambiente	Fatores de temperatura		
	g_γ	g_α	g_β
γ	1,000	0,000	0,000
α	0,378	0,399	0,223
β	0,331	0,214	0,455

As temperaturas superficiais mais baixas nos ambientes α e β estão nos cantos de ambos os ambientes internos:

$$\theta_{\min} = g_\gamma \cdot \theta_\gamma + g_\alpha \cdot \theta_\alpha + g_\beta \cdot \theta_\beta \quad (\text{C.1})$$

$$\theta_{\alpha, \min} = 0,378 \times 0 + 0,223 \times 15 + 0,399 \times 20 = 11,32 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{C.2})$$

$$\theta_{\beta, \min} = 0,331 \times 0 + 0,455 \times 15 + 0,214 \times 20 = 11,11 \text{ }^\circ\text{C} \quad (\text{C.3})$$

A diferença entre a menor temperatura da superfície interna de ambos os ambientes, calculada pelo método que está sendo validado, e a temperatura listada não pode exceder 0,1 °C.

C.1.4.3 Solução numérica para o caso 3: Fluxos de calor

Tabela C.5 — Coeficientes de acoplamento térmico para o caso 3

Ambiente	Coeficientes de acoplamento térmico W/K		
	γ	A	β
γ	—	1,781	1,624
α	1,781	—	2,094
β	1,624	2,094	—

O fluxo de calor entre dois ambientes é calculado da seguinte forma:

— para β e γ :

$$\Phi_{\beta, \gamma} = L_{\beta, \gamma} \cdot \Delta\theta_{\beta, \gamma} = 1,624 \times (15 - 0) = 24,36 \text{ W} \quad (\text{C.4})$$

— para β e α :

$$\Phi_{\beta, \alpha} = L_{\beta, \alpha} \cdot \Delta\theta_{\beta, \alpha} = 2,094 \times (15 - 20) = -10,47 \text{ W} \quad (\text{C.5})$$

— para α e γ :

$$\Phi_{\alpha, \gamma} = L_{\alpha, \gamma} \cdot \Delta\theta_{\alpha, \gamma} = 1,781 \times (20 - 0) = 35,62 \text{ W} \quad (\text{C.6})$$

O fluxo de calor do ambiente interno para o externo é calculado da seguinte forma:

$$\Phi_{\beta,\gamma} + \Phi_{\alpha,\gamma} = 24,36 + 35,62 = 59,98 \text{ W} \quad (\text{C.7})$$

O balanço do fluxo de calor para os ambientes β e α é calculado da seguinte forma:

$$\Phi_{\beta,\gamma} + \Phi_{\beta,\alpha} = 24,36 - 10,47 = 13,89 \text{ W} \quad (\text{C.8})$$

$$\Phi_{\alpha,\gamma} + \Phi_{\alpha,\beta} = 35,62 + 10,47 = 46,09 \text{ W} \quad (\text{C.9})$$

A diferença entre os fluxos de calor calculados pelo método que está sendo validado e os fluxos de calor listados não pode exceder 1 %.

C.1.5 Caso 4

O caso 4 representa uma ponte térmica tridimensional que consiste em uma barra de ferro penetrando em uma camada de isolamento, como mostrado na Figura C.4 e nas Tabelas C.6 e C.7.

A diferença entre a temperatura mais alta da superfície no lado externo, calculada pelo método que está sendo validado, e a temperatura listada não pode exceder 0,005 °C. A diferença entre o fluxo de calor calculado pelo método que está sendo validado e o fluxo de calor listado não pode exceder 1 %.

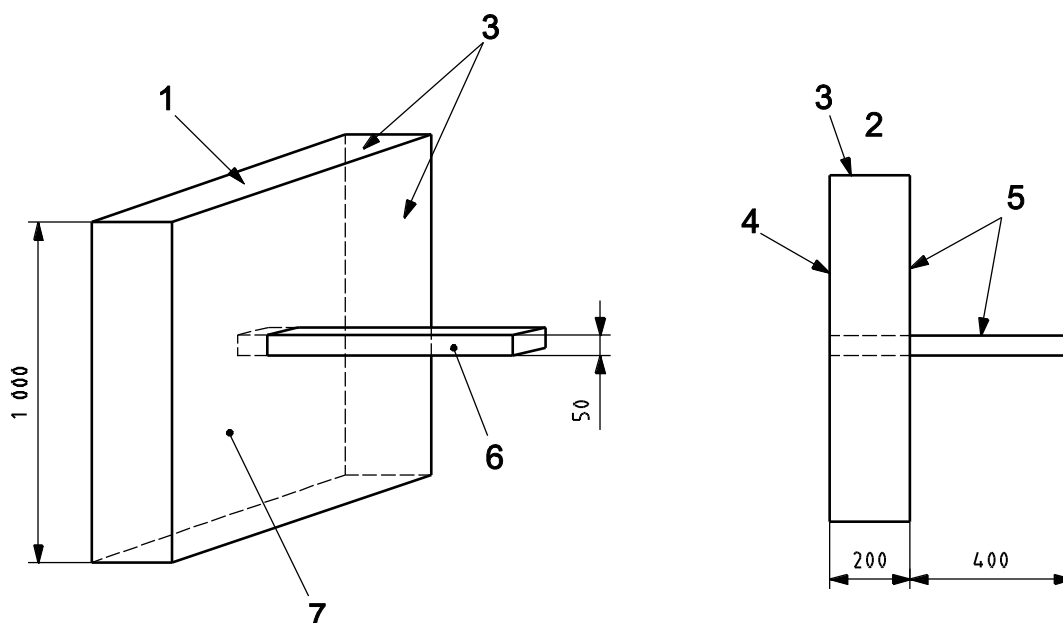
Tabela C.6 — Descrição do modelo para o caso 4

Dimensões mm	Condutividade térmica W/(m·K)	Condições de contorno
Isolamento: 1 000 × 1 000 × 200	Isolamento: 0,1 W/(m·K)	Interno: 1 °C com $R_{si} = 0,10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
Barra de ferro: 600 × 100 × 50	Barra de ferro: 50 W/(m·K)	Externo: 0 °C com $R_{se} = 0,10 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$
		Planos de corte: adiabático

Tabela C.7 — Solução numérica para o caso 4

Fluxo de calor	0,540 W
Maior temperatura da superfície no lado externo	0,805 °C

Dimensões em milímetros



Legenda

- 1 parte superior
- 2 vista superior
- 3 planos de corte adiabáticos
- 4 superfície externa
- 5 superfície interna
- 6 barra de ferro
- 7 Isolamento

Figura C.4 — Caso de referência de teste 4: Barra de ferro penetrando uma camada de isolamento

C.2 Considerações gerais e requisitos para validação de métodos de cálculo

Métodos de cálculo de alta precisão são conhecidos como métodos numéricos (por exemplo, método de elementos finitos, método de diferenças finitas, método de balanço térmico). Estes métodos numéricos requerem uma subdivisão do objeto considerado. O método é um conjunto de regras para formar um sistema de equações, cujo número é proporcional ao número de subdivisões. O sistema é resolvido usando um método de solução direta ou um método iterativo. A solução do sistema é normalmente as temperaturas em pontos específicos, a partir das quais as temperaturas em qualquer ponto do objeto considerado podem ser derivadas (por interpolação); os fluxos de calor através de superfícies específicas também podem ser derivados.

O método numérico a ser validado deve atender aos requisitos listados a seguir.

- a) O método deve fornecer temperaturas e fluxos de calor.
- b) A extensão da subdivisão do objeto (ou seja, o número de células, nós) não é "definida pelo método", mas "definida pelo usuário", embora na prática o grau de subdivisão seja "limitado pela máquina computacional". Portanto, nos casos de ensaio de referência, o método que está sendo validado deve ser capaz de calcular temperaturas e fluxos de calor em locais diferentes dos listados.



c) Para um número crescente de subdivisões, a solução do método a ser validado deve convergir para a solução analítica, se tal solução existir (por exemplo, caso ensaio de referência 1).

NOTA Para um número crescente de subdivisões, a solução converge. O número de subdivisões necessárias para obter uma boa precisão depende do problema considerado e da técnica de solução. Espera-se que o erro tome a forma $\alpha/N^{\beta/3}$, onde α e β são constantes para um determinado problema e N é o número total de nós no modelo.

d) O número de subdivisões deve ser determinado da seguinte forma: a soma dos valores absolutos de todos os fluxos de calor que entram no objeto é calculada duas vezes, para n nós (ou células) e para de 2n nós (ou células). A diferença entre esses dois resultados não pode exceder 1 %. Caso contrário, novas subdivisões devem ser feitas até que este critério seja atendido.

e) Se a técnica de solução do sistema for iterativa, a iteração deve continuar até que a soma de todos os fluxos de calor (positivos e negativos) que entram no objeto, dividida pela metade da soma dos valores absolutos de todos esses fluxos de calor, seja inferior a 0.000 1.

Anexo D (normativo)

Exemplos de determinação das transmitâncias térmicas lineares e pontuais

D.1 Generalidades

Neste Anexo, são apresentados dois arranjos típicos de componentes construtivos:

- Caso 1 com dois ambientes separados;
- Caso 2 com três ambientes separados.

Para cada caso, são fornecidas as equações específicas para serem utilizadas na determinação dos valores de Ψ e χ .

As Figuras D.1 e D.2 ilustram os valores relativos ao comprimento das dimensões internas. Se dimensões externas estiverem sendo utilizadas, as mesmas Equações se aplicam aos comprimentos medidos nas superfícies externas dos componentes.

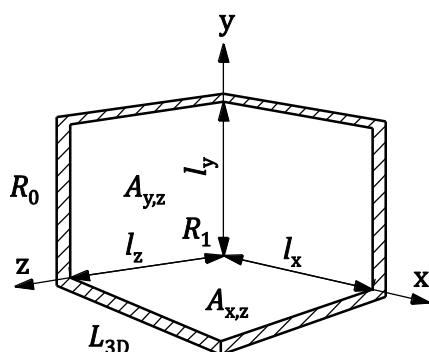
D.2 Caso 1

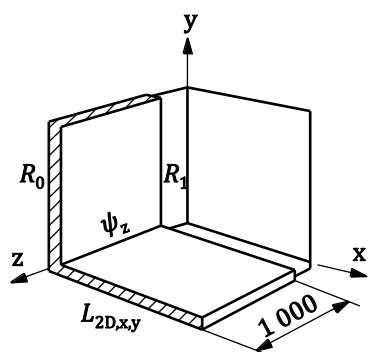
Um componente construtivo 3D separando dois ambientes, R_1 e R_0 . As equações da Figura D.1 são utilizadas para determinar os valores de Ψ e χ .

D.3 Caso 2

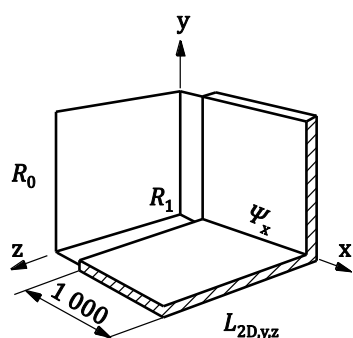
Um componente construtivo 3D separando três ambientes. Considerar os dois ambientes, R_1 e R_0 . As equações da Figura D.2 são utilizadas para determinar os valores de Ψ e χ .

Dimensões em milímetros

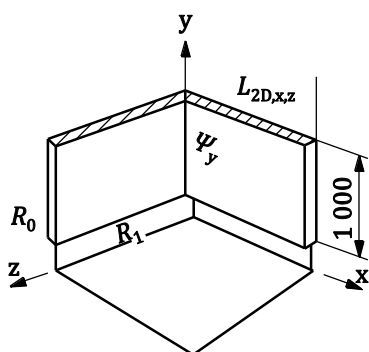




$$\Psi_z = L_{2D,x,y} - U_{x,z} \cdot l_x - U_{y,z} \cdot l_y$$



$$\Psi_x = L_{2D,y,z} - U_{x,y} \cdot l_y - U_{x,z} \cdot l_z$$

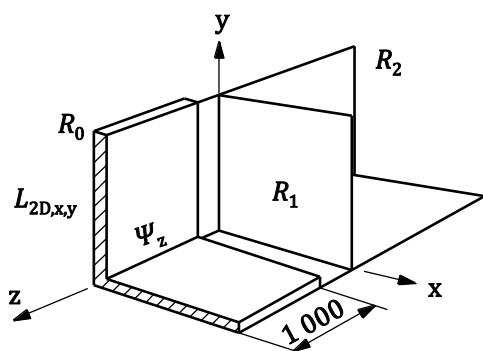
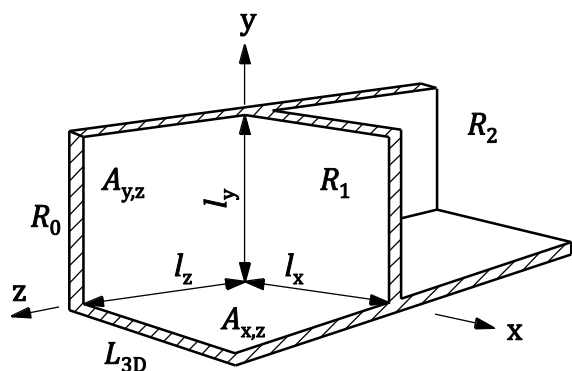


$$\Psi_y = L_{2D,x,z} - U_{x,y} \cdot l_y - U_{y,z} \cdot l_z$$

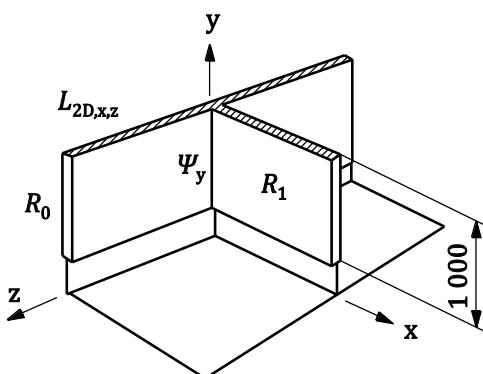
$$\chi = L_{3D} - L_{2D,x,y} \cdot l_z - L_{2D,y,z} \cdot l_x - L_{2D,x,z} \cdot l_y + U_{x,y} \cdot A_{x,y} + U_{x,z} \cdot A_{x,z} + U_{y,z} \cdot A_{y,z}$$

NOTA Para a descrição dos símbolos, ver 3.2.

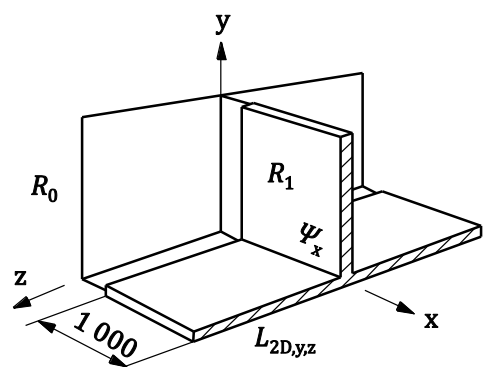
Figura D.1 — Caso 1: Componente construtivo 3D separando dois ambientes



$$\Psi_z = L_{2D,x,y} - U_{x,z} \cdot l_x - U_{y,z} \cdot l_y$$



$$\Psi_y = L_{2D,x,z} - U_{y,z} \cdot l_z$$



$$\Psi_x = L_{2D,y,z} - U_{x,z} \cdot l_z$$

$$\chi = L_{3D} - L_{2D,x,y} \cdot l_z - L_{2D,y,z} \cdot l_x - L_{2D,x,z} \cdot l_y + U_{y,z} \cdot A_{y,z} + U_{x,z} \cdot A_{x,z} + U_{x,y} \cdot A_{x,y}$$

NOTA Para a descrição dos símbolos, ver 3.2.

Figura D.2 — Caso 2: Componente construtivo 3D separando três ambientes

Anexo E (normativo)

Determinação dos valores de coeficiente de acoplamento térmico e fator de ponderação da temperatura para mais de duas temperaturas da condição de contorno

E.1 Determinação do coeficiente de acoplamento, L

Para um modelo com n temperaturas da condição de contorno, existem até $n(n-1)/2$ coeficientes de acoplamento separados. Os coeficientes derivam de cálculos, atribuindo valores de temperatura da condição de contorno para cada ambiente, conforme pode ser observado na Tabela E.1. O número total de cálculos necessários é igual ao número de ambientes diretamente conectados entre si, que na prática pode ser menor do que $n(n-1)/2$. O resultado de cada cálculo é uma soma de L valores, que a partir de um sistema de equações simultâneas resolvidas resultam nos coeficientes de acoplamento térmico individuais.

NOTA Diferenças de temperaturas de 1 K são mostradas na Tabela E.1 para ilustrar o esquema de cálculo. Qualquer valor adequado, e diferente de zero, pode ser usado para o cálculo real. É aconselhável que as propriedades dependentes da temperatura sejam avaliadas em relação às temperaturas internas e externas esperadas na prática.

Tabela E.1 — Esquema de cálculo dos valores de L no caso de n temperaturas da condição de contorno

Número de cálculo	Temperaturas da condição de contorno, °C				Resultado do cálculo
	θ_1	θ_2	θ_i	θ_n	
1	1	0	0	0	$\sum_{k \neq 1} L_{1,k}$
2	0	1	0	0	$\sum_{k \neq 2} L_{2,k}$
i	0	0	1	0	$\sum_{k \neq i} L_{i,k}$
n	0	0	0	1	$\sum_{k \neq n} L_{n,k}$
$n+1$	1	1	0	0	$\sum_{k \neq 1,2} L_{1,k} + \sum_{k \neq 1,2} L_{2,k}$
$n+2$	1	0	1	0	$\sum_{k \neq 1,i} L_{1,k} + \sum_{k \neq 1,i} L_{i,k}$

E.2 Relatório dos coeficientes de acoplamento térmico, L

No caso de pontes térmicas, apenas os coeficientes de acoplamento térmico, L_{ij} , para cada par de ambientes termicamente conectados ao componente de construção em consideração são de interesse. Isso reduz o número de ambientes envolvidos. Convém que os coeficientes de acoplamento térmico, L_{ij} , sejam dados no formato da Tabela E.2. Para quaisquer dois ambientes que não estejam termicamente conectados um ao outro, L convém ser relatado como 0.

NOTA 1 Mais do que três ambientes são incomuns.

Tabela E.2 — Esquema de apresentação dos valores de L para n temperaturas da condição de contorno

Número de ambientes	1	2	i	n
1	—	$L_{1,2}$	$L_{1,i}$	$L_{1,n}$
2	$L_{2,1}$	—	$L_{2,i}$	$L_{2,n}$
i	$L_{i,1}$	$L_{i,2}$	—	$L_{i,n}$
n	$L_{n,1}$	$L_{n,2}$	$L_{n,i}$	—

NOTA 2 O esquema é simétrico, com $L_{ij} = L_{ji}$.

Convém que o conjunto de valores de R_{si} utilizados no cálculo dos valores de L seja relatado, juntamente com um esboço que mostra a qual área de superfície interna cada valor de R_{si} se aplica.

E.3 Determinação dos fatores de ponderação da temperatura, g

Para um modelo com n temperaturas de contorno, os fatores de ponderação podem ser calculados repetindo $(n-1)$ vezes o cálculo da temperatura no ponto selecionado; em cada cálculo sucessivo, cada temperatura da condição de contorno é tomada como 0 °C, exceto uma temperatura da condição de contorno, que é considerada como 1 °C, como mostrado na Tabela E.3.

Tabela E.3 — Esquema para o cálculo dos valores de g no caso de n temperaturas da condição de contorno

Número de cálculo	Temperaturas-limite, °C				Fatores de ponderação
	θ_1	θ_2	θ_i	θ_n	
1	1	0	0	0	g_1
2	0	1	0	0	g_2
i	0	0	1	0	g_i
$n-1$	0	0	0	1	g_{n-1}

Depois de $(n-1)$ cálculos, o g_n segue a Equação (31).

E.4 Relatório dos fatores de ponderação de temperatura, g

Os fatores de ponderação de temperatura dos pontos de temperatura mais baixas para um componente

de construção com n ambientes envolvidos, convém que sejam fornecidos de acordo com a Tabela E.4.

Tabela E.4 — Esquema de apresentação dos valores g para n temperaturas da condição de contorno

Número de ambientes	1	2	i	n
1	$g_{1,1}$	$g_{1,2}$	$g_{1,i}$	$g_{1,n}$
2	$g_{2,1}$	$g_{2,2}$	$g_{2,i}$	$g_{2,n}$
i	$g_{i,1}$	$g_{i,2}$	$g_{i,i}$	$g_{i,n}$
n	$g_{n,1}$	$g_{n,2}$	$g_{n,i}$	$g_{n,n}$

NOTA No caso de três ambientes termicamente diferentes, a temperatura mínima da superfície em duas salas normalmente é de interesse. Isso significa que o esquema da Tabela E.3 é aplicado duas vezes, com um total de quatro cálculos, a fim de derivar os valores da Tabela E.4.

Convém que o conjunto de valores de R_{si} utilizado no cálculo dos valores de g , seja relatado junto com um esboço mostrando a qual área de superfície interna cada R_{si} se aplica.

E.5 Exemplo

E.5.1 Cálculo do modelo geométrico

O exemplo ilustra um cálculo 2-D para um piso suspenso. Existem três temperaturas da condição de contorno: do ambiente interno, θ_i , do ambiente externo, θ_e , e do espaço abaixo do piso, θ_u (ver a Figura E.1).

A temperatura abaixo do piso depende das temperaturas interna e externa, e também das propriedades térmicas construtivas. Por causa deste último, não é conhecido *a priori*. Os coeficientes de acoplamento térmico são:

- L_{ie} : coeficiente de acoplamento térmico entre ambientes internos e externos;
- L_{iu} : coeficiente de acoplamento térmico entre o ambiente interno e o espaço subterrâneo;
- L_{ue} : coeficiente de acoplamento térmico entre o espaço sob o piso e o ambiente externo.

NOTA 1 L_{ue} inclui o fluxo de calor pelo solo. Para dimensões do solo, ver 7.2.4.

O espaço sob o piso é ventilado pelo exterior. Se a ventilação não estiver incluída no modelo numérico, o L_{ue} é dividido em dois componentes:

$$L_{ue} = L_{ue,c} + L_{ue,ve} \quad (\text{E.1})$$

onde

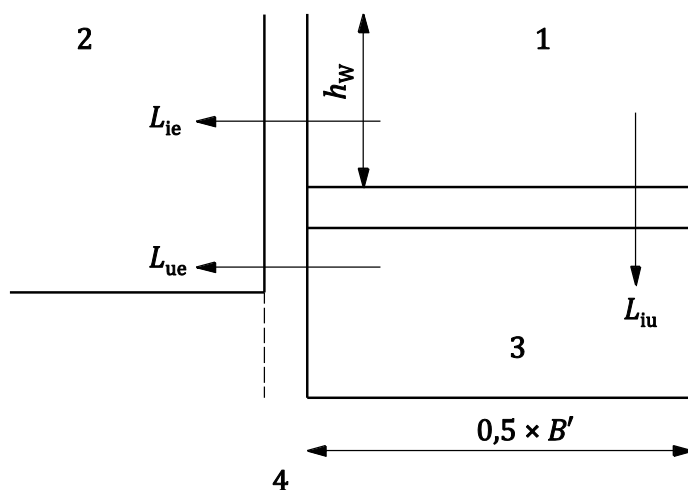
$L_{ue,c}$ é o coeficiente de acoplamento térmico para condução de calor pelas paredes do espaço abaixo do piso e pelo solo;

$L_{ue,ve}$ é a transferência de calor atribuível à troca de ar entre o piso e o ambiente externo.

NOTA 2 Quaisquer espaços de ar não ventilados são incluídos no modelo numérico (usando uma condutividade térmica equivalente).

Os coeficientes de acoplamento térmico separados são obtidos seguindo o esquema em E.1. O mesmo modelo geométrico é calculado três vezes com diferentes condições de contorno, conforme mostrado na Tabela E.5. Φ é o fluxo de calor total. Existem duas possibilidades, conforme descrito a seguir:

- a) os cálculos de modelagem não permitem a troca de ar. O *software* é executado apenas para condução de calor e a ventilação é permitida separadamente;
- b) cálculos de modelagem permitem a troca de ar. O *software* é executado incluindo a ventilação do espaço abaixo do piso, definida a uma taxa apropriada para os arranjos de ventilação (ver a ISO 13370). Neste caso, não há necessidade de considerar os componentes de transmissão e ventilação de L_{ue} separadamente.



Legenda

- 1 ambiente interno, θ_i
- 2 ambiente externo, θ_e
- 3 espaço abaixo do piso, θ_u
- 4 solo
- B' dimensão característica do piso
- h_w distância mínima da junção ao plano de corte
- L_{ie} coeficiente de acoplamento térmico entre ambientes internos e externos
- L_{iu} coeficiente de acoplamento térmico entre o ambiente interno e o espaço abaixo do piso
- L_{ue} coeficiente de acoplamento térmico entre o espaço sob o piso e o ambiente externo

Figura E.1 — Esquema do piso suspenso

Tabela E.5 — Condições de modelagem

Número de cálculo	θ_{int} °C	θ_e °C	θ_u °C	Resultado do cálculo	
				se os cálculos de modelagem não consideram a troca de ar	se os cálculos de modelagem consideram a troca de ar
1	1	0	0	$L_1 = L_{ie} + L_{iu}$	$L_1 = L_{ie} + L_{iu}$
2	0	1	0	$L_2 = L_{ie} + L_{ue,c}$	$L_2 = L_{ie} + L_{ue}$
3	0	0	1	$L_3 = L_{iu} + L_{ue,c}$	$L_3 = L_{iu} + L_{ue}$

A partir dos resultados dos cálculos de modelagem, os coeficientes de acoplamento térmico de interesse são obtidos resolvendo as equações simultâneas, levando a:

$$L_{iu} = 0,5 \times (L_1 - L_2 + L_3) \quad (E.2)$$

$$L_{ie} = 0,5 \times (L_1 + L_2 - L_3) \quad (E.3)$$

$$L_{ue,c} = 0,5 \times (L_2 + L_3 - L_1), \text{ se a modelagem não inclui troca de ar} \quad (E.4)$$

$$L_{ue} = 0,5 \times (L_2 + L_3 - L_1), \text{ se a modelagem inclui troca de ar} \quad (E.5)$$

E.5.2 Troca de ar de ventilação não incluída no modelo

Se a troca de ar de ventilação entre o espaço sob o piso e o exterior não estiver incluída no modelo, o termo ventilação $L_{ue,ve}$ é calculado usando a Equação (E.6):

$$L_{ue,ve} = \rho \cdot c_p \cdot \dot{V} \quad (E.6)$$

onde

ρ é a densidade do ar;

c_p é o calor específico do ar a pressão constante;

$\dot{V}$ é a taxa de fluxo volumétrico por comprimento do perímetro (ver a ISO 13370).

L_{ue} é então obtido usando a Equação (E.1).

O fluxo total de calor de dentro para fora é dado pela Equação (E.7):

$$\Phi = L_{iu} \cdot (\theta_{int} - \theta_u) + L_{ie} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (E.7)$$

levando à Equação (E.8)

$$\Phi = \left(\frac{L_{iu} L_{ue}}{L_{iu} + L_{ue}} + L_{ie} \right) \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (E.8)$$

No geral,

$$\Phi = L_{2D} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad (E.9)$$

onde L_{2D} é o coeficiente de acoplamento térmico de dentro para fora, de modo que

$$L_{2D} = \left(\frac{L_{iu} L_{ue}}{L_{iu} + L_{ue}} + L_{ie} \right) \quad (E.10)$$

A transmitância térmica linear para a junção parede/piso é obtida de acordo com 12.4:

$$\Psi_g = L_{2D} - h_w \cdot U_w - 0,5 \times B U \quad (E.11)$$

E.5.3 Troca de ar de ventilação incluída no modelo

Neste caso, o θ_u não é atribuído. O cálculo numérico é executado uma vez com os valores de temperaturas da condição de contorno, θ_{int} e θ_e resultando em L_{2D} , e o Ψ_g é obtido pela Equação (E.11).

NOTA Podem ser obtidos resultados ligeiramente diferentes, pois o espaço sob o piso é modelado como um sólido com condutividade térmica equivalente, em vez de um único nó.



Bibliografia

- [1] ISO 14683, *Thermal bridges in building construction — Linear thermal transmittance — Simplified methods and default values*
- [2] ISO 10077-2, *Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 2: Numerical method for frames*
- [3] ISO/TR 52000-2, *Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 2: Explanation and justification of ISO 52000-1*
- [4] ISO/TR 52019-2, *Energy performance of buildings (EPB) — Hygrothermal performance of building components and building elements — Part 2: Explanation and justification*
- [5] CEN/TS 16628, *Energy Performance of Buildings — Basic principles for the set of EPB standards*
- [6] CEN/TS 16629, *Energy Performance of Buildings — Detailed technical rules for the set of EPB standards*
- [7] EN 673, *Glass in building — Determination of thermal transmittance (U value) — Calculation method*