



Desempenho energético de edificações — Cargas térmicas de calor sensível e latente e temperatura interna — Parte 1: Procedimentos de cálculo genérico

Energy performance of buildings — Sensible and latent heat loads and internal temperatures — Part 1: Generic calculation procedures

Prefácio nacional

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

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras da ABNT Diretiva 2.

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

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

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

A ABNT NBR ISO 52017-1 não se aplica aos projetos de construção que tenham sido protocolados para aprovação no órgão competente pelo licenciamento anteriormente à data de sua publicação como Norma Brasileira, vem como àqueles que venham a ser protocolados no prazo de 180 dias após esta data.

O Escopo em inglês da ABNT NBR ISO 52017-1 é o seguinte:

Scope

This document specifies the general assumptions, boundary conditions and equations for the calculation, under transient hourly or subhourly conditions, of the internal temperatures (air and operative) and/or the heating, cooling and humidification and dehumidification loads to hold a specific (temperature, moisture) set point, in a single building zone. No specific numerical techniques are imposed by this document.

Specific calculation procedures based on the generic calculation procedures of this document are given in ISO 52016-1. The specific simplifications, assumptions and boundary conditions in ISO 52016-1 are tailored to the respective application areas, such as the energy need for heating and cooling and for humidification and dehumidification, hourly internal temperature, design heating and cooling and humidification and dehumidification load.

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



Introdução

Este documento faz parte de uma série destinada à harmonização internacional da metodologia de avaliação do desempenho energético das edificações. Essa série denomina-se “conjunto de normas DEE”.

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

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 abrange 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 referir-se aos textos jurídicos em que as definições nacionais tenham sido estabelecidas pelas autoridades públicas. Diferentes anexos nacionais ou fichas de dados nacionais são possíveis, para diferentes aplicações.

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

- 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 considere a possibilidade de adicionar ou incluir um anexo nacional conforme o modelo do Anexo A, de acordo com os documentos legais que determinem 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 52016-2[3]), 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 resfriamento do ambiente);
- indicadores para requisitos de DEE parciais relacionados ao balanço termoenergético e às características da construção;
- métodos de cálculo que abrangem o desempenho e as características térmicas, higrotérmicas, solares e visuais de partes específicas da edificação, assim como de elementos e de componentes específicos do edifício, 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 TC para o detalhamento de, por exemplo, equipamentos, sistemas técnicos da edificação e ambiente interno.

Este documento destina-se a ser utilizado por especialistas para desenvolver métodos para o cálculo horário ou sub-horário das temperaturas internas e/ou das cargas de aquecimento, resfriamento e/ou umidificação de uma zona térmica em um edifício.

Exemplos de aplicação de tais métodos incluem o seguinte:

- a) avaliar o risco de sobreaquecimento interno;
- b) otimizar aspectos do projeto do edifício (massa térmica do edifício, proteção solar, taxa de ventilação etc.) de forma a proporcionar condições de conforto térmico;
- c) avaliar se um edifício requer resfriamento mecânico;
- d) avaliar as demandas de energia para aquecimento e resfriamento, e para umidificação e desumidificação;
- e) avaliar as cargas sensíveis de aquecimento e resfriamento, e de umidificação e desumidificação, sob condições de projeto do sistema.

Não estão incluídos critérios para o desempenho do edifício. Eles podem ser considerados em nível nacional. Este documento também pode ser utilizado como referência para desenvolver métodos mais simplificados para as aplicações acima e similares

Procedimentos de cálculo específicos baseados nos procedimentos de cálculo genéricos deste documento são fornecidos na ISO 52016-1. As simplificações específicas, suposições e condições de contorno da ISO 52016-1 são adaptadas às respectivas áreas de aplicação.

As principais diferenças em relação à ISO 13791 são as seguintes:

- suposições ou procedimentos que não são pertinentes para os procedimentos de cálculo genéricos foram movidos para a norma com aplicação específica e combinados com outras suposições e procedimentos específicos, por exemplo, a especificação dos coeficientes de transferência de calor

por convecção;

- o cálculo da temperatura operativa foi adicionado. As soluções técnicas para o cálculo da temperatura operativa não são fornecidas neste Documento, mas direcionadas para as normas de aplicações específicas (por exemplo, ISO 52016-1);
- as taxas de fluxos de calor que representam as cargas sensíveis de aquecimento e resfriamento e as cargas de umidificação e desumidificação para manter um *setpoint* específico (temperatura, umidade) são adicionadas às equações. Isso amplia o campo de aplicação dos procedimentos genéricos de cálculo sem aumentar a complexidade. As soluções técnicas para o cálculo dessas cargas não são fornecidas neste Documento, mas direcionadas para as normas de aplicações específicas (por exemplo, ISO 52016-1), pois são altamente dependentes da aplicação;
- os casos de validação foram removidos, pois não há necessidade de validar a implementação do método de cálculo genérico em si. Critérios de conformidade e tolerâncias de desvio dependem muito da área de aplicação. Além disso, os resultados de referência dos principais casos de validação da ISO 13791 [1] foram questionados e não puderam ser reproduzidos. Em vez disso, o conjunto de testes “BESTEST”, padronizado como ANSI/ASHRAE 140 [9], compreende vários casos de teste que são apropriados para validação (opcional) dos métodos de cálculo descritos neste documento. O subconjunto pertinente de casos BESTEST é semelhante aos casos de teste da ISO 13791. Os casos BESTEST mais pertinentes foram adotados na ISO 52016-1 para verificação dos procedimentos de cálculo específicos deste Documento.

Alterações editoriais pertinentes foram feitas, com base nas regras técnicas detalhadas para todas as normas DEE, incluindo a mudança de todos os anexos informativos (ainda pertinentes) para um relatório técnico separado (ISO/TR 52016-2 [3]).

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 A mesma tabela pode ser encontrada no ISO/TR 52000-2 [6], com os números das normas DEE pertinentes e dos relatórios técnicos que estão publicados ou em preparação para cada módulo.

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



Tabela 1 — Relação deste Documento (no caso M2–2, M2–3, M3–3, M4–3, M6–3, M7–3) com a estrutura modular do conjunto de normas DEE

Submódulo	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas técnicos da edificação									
	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Resfriamento	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	ABNT NBR ISO 52017-1	Demanda								a	
3	Aplicações		(Livre) Condições internas sem sistemas	ABNT NBR ISO 52017-1	Carga máxima e potência	ABNT NBR ISO 52017-1	ABNT NBR ISO 52017-1		ABNT NBR ISO 52017-1	ABNT NBR ISO 52017-1				
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		Insuflação e controle									
6	Ocupação do edifício e condições de operação		Transferência térmica por infiltração e ventilação		Distribuição e controle									
7	Agrupamento de serviços de energia		Ganhos de calor interno		Armazenamento e controle									



ABNT/CB-002
PROJETO 002:135.007-006/1 (ISO 52017-1)
SET 2022

Submódulo	Geral		Edificação (propriamente dita)		Sistemas técnicos da edificação									
	Descrição		Descrição		Descrição	Aquecimento	Resfriamento	Ventilação	Umidificação	Desumidificação	Água quente	Iluminação	Automação e controle predial	Fotovoltaico, eólica, ...
sub1		M1		M2		M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11
	e operadoras de energia													
8	Zoneamento da edificação		Ganhos de calor solar		Geração e controle									
9	Desempenho energético calculado		Dinâmicas da edificação (massa térmica)		Despacho de carga e condições de operação									
10	Desempenho energético medido		Desempenho energético medido		Desempenho energético medido									
11	Inspeção		Inspeção		Inspeção									
12	Formas de expressar conforto térmico no ambiente interno				BMS (Automação)									
13	Condições ambientais externas													
14	Cálculo de economia													

^a Os módulos sombreados não são aplicáveis.



ABNT/CB-002
PROJETO 002:135.007-006/1 (ISO 52017-1)
SET 2022

Desempenho energético de edificações — Cargas térmicas de calor sensível e latente e temperaturas internas — Parte 1: Procedimentos de cálculo genérico

1 Escopo

Este documento especifica as premissas gerais, as condições de contorno e as equações para o cálculo, sob condições transientes horárias ou sub-horárias, das temperaturas internas (do ar e operativa) e/ou das cargas de aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação, de forma a manter um *setpoint* específico (temperatura e umidade) em uma única zona do edifício. Nenhuma técnica numérica específica é imposta por este documento.

Procedimentos de cálculo específicos, baseados nos procedimentos de cálculo genéricos deste documento, são fornecidos na ISO 52016-1. As simplificações específicas, as premissas e as condições de contorno da ISO 52016-1 são adaptadas às respectivas áreas de aplicação, como a demanda de energia para aquecimento e resfriamento, e para umidificação e desumidificação, temperatura interna horária, cargas de projeto para aquecimento, resfriamento, umidificação e desumidificação.

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 7345, *Thermal insulation — Physical quantities and definitions*

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

ISO 52000-1:2017, *Energy performance of building — Overarching EPB assessment — Part 1: General framework and procedures*

ABNT NBR ISO 52010-1, *Desempenho energético de edifícios — Condições climáticas externas - Parte 1: Conversão de dados climáticos para cálculos de energia*

ISO 52016-1, *Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation 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 no Anexo B (modelo informativo na Tabela B.1).

EXEMPLO Código do módulo DEE: M5–5, ou M5–5,1 (caso o módulo M5-5 seja subdividido), ou M5–5/1 (caso este módulo 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 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 das ISO 7345 e ISO 52000-1, e os seguintes.

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

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

NOTA Os termos da ISO 52000-1 que são indispensáveis para a compreensão deste Documento são repetidos aqui.

3.1

elemento do edifício

parede, telhado, teto, piso, porta ou janela que separa o ambiente interno do ambiente externo ou de um espaço adjacente

Nota de entrada 1: Na definição da ISO 52000-1, lê-se: “componente integral dos sistemas técnicos da edificação ou do sistema de vedações do edifício”.

3.2

zona térmica do edifício

zona térmica

ambiente interno onde são assumidas condições térmicas suficientemente uniformes que permitam o cálculo de balanço térmico, de acordo com os procedimentos deste Documento

3.3

carga de projeto

valor máximo entre as médias horárias da carga que ocorrem durante um período climático de projeto, sob condições de uso de projeto

3.4

norma DEE

norma em conformidade com os requisitos das ISO 52000-1, CEN/TS 16628 ^[5] e CEN/TS 16629 ^[6]

Nota de entrada 1: Estes três documentos básicos DEE foram desenvolvidos sob um mandato dado ao CEN pela Comissão Europeia e pela Associação Europeia de Livre Comércio (ver Referência [7]), e fornecem suporte aos requisitos essenciais da Diretiva da UE 2010/31/EU sobre o desempenho energético dos edifícios (ver Referência [8]). Várias normas DEE e documentos relacionados são desenvolvidos ou revisados sob o mesmo mandato.

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

3.5

carga de umidificação ou desumidificação

valor médio horário do fluxo de massa de vapor de água a ser fornecido ou extraído do ambiente interno, de forma a manter uma umidade mínima ou máxima especificada dentro do espaço

3.6

ar interno

ar do ambiente interno



3.7

temperatura do ar interno

temperatura do ar no ambiente interno

NOTA BRASILEIRA Entende-se como temperatura de bulbo seco.

3.8

ambiente interno

espaço fechado delimitado do ambiente externo ou de espaços adjacentes por elementos do edifício

3.9

temperatura da superfície interna

temperatura da superfície interna de um elemento do edifício

3.10

temperatura radiante média

temperatura da superfície uniforme do ambiente interno em que um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor radiante que no recinto não uniforme real

3.11

temperatura operativa

temperatura uniforme do ambiente interno em que um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e por convecção que no ambiente não uniforme real

3.12

carga (sensível) de aquecimento ou resfriamento

valor médio horário do fluxo de calor para aquecimento ou resfriamento fornecido ou extraído do ambiente interno para manter as condições de temperatura pretendidas

4 Símbolos e subscritos

4.1 Símbolos

Para os efeitos deste Documento, aplicam-se os símbolos fornecidos na ISO 52000-1, Seção 4 e Anexo C, e os seguintes.

Símbolo	Grandeza	Unidade
A	área	m ²
a	difusividade térmica	m ² /s
C	capacidade térmica	J/K
c	calor específico	J/(kg·K)
c	coeficiente	vários
d	espessura	m
E_r	parâmetro de ventilação	—
F	fator de forma	—
f	fator	—
f	fração	—



Símbolo	Grandeza	Unidade
G	fluxo de umidade	kg/s
g_s	taxa de fluxo de calor por volume	W/m ³
g	aceleração devido à gravidade	m/s ²
H	coeficiente de transferência de calor	W/K
h	coeficiente superficial de transferência de calor	W/(m ² ·K)
h	calor latente	J/kg
I	irradiância	W/m ²
J	radiosidade	W/m ²
l	comprimento	m
m	vazão mássica	kg/s
p	pressão	Pa
q	densidade do fluxo de calor	W/m ²
q_V	vazão volumétrica de ar	m ³ /h
R	resistência térmica	m ² ·K/W
T	temperatura termodinâmica	K
t	tempo	s
U	transmitância térmica	W/(m ² ·K)
V	volume	m ³
v	velocidade	m/s
x	teor de umidade ou razão de umidade	kg/kg (ar seco)
x, y, z	coordenadas	m
Λ	condutância térmica	W/(m ² ·K)
Φ	fluxo de calor	W
α	absortância	—
ε	emissividade	—
θ	temperatura em graus Celsius	°C
λ	condutividade térmica	W/(m·K)
μ	viscosidade	kg/(m·s)
v	umidade por volume	kg/m ³
σ	constante de Stefan-Boltzmann, $5,670 \times 10^{-8}$	W/(m ² ·K ⁴)
ρ	refletância	—
ρ	densidade	kg/m ³
χ	transmitância térmica pontual	W/K
ψ	transmitância térmica linear	W/(m·K)



4.2 Subscritos

Para os efeitos deste Documento, aplicam-se os subscritos fornecidos na ISO 52000-1, Seção 4 e Anexo C, e os seguintes.

Subscrito	Termo	Subscrito	Termo	Subscrito	Termo
a	ar	i	interna	s	ensolarado, insolação
b	edifício	i	fontes internas	sens	sensível
c	convecção, convectivo	<i>i,j,k</i>	índices	sol	solar
c	contato com a camada de ar	in	entrando, entrada	sa	sol-ar
C	resfriamento ^a	int	interna	sh	sombreada
cd	condução	lat	latente	sk	céu
DHU	desumidificação ^a	ld	carga	sl	perda solar
dif	difusa	lr	radiação de onda longa	sup	fornecimento
dir	direta	m	ventilação mecânica	th	térmica
d	distribuição	me	meio	t	tempo
d	descarga	mr	radiante média	tb	ponte térmica
e	externa	n	normal à superfície	T	térmica ^a
eq	equivalente	nd	demanda	V	ventilação
f	piso	op	operativa	v	velocidade
g	solo	p	projetado	w	vento
H	aquecimento ^a	r	radiação	we	evaporação da água
HU	umidificação ^a	s	superfície	X	umidificação e desumidificação ^a

^a Tipo de uso da energia.

5 Breve descrição do método

5.1 Resultados do método

Este método abrange a metodologia genérica para o cálculo transiente do balanço térmico interno de um edifício. Este método pode ser usado para calcular a série temporal da temperatura interna e as cargas de calor sensível e latente.

O intervalo de tempo dos resultados é horário ou sub-horário.

5.2 Descrição geral do método

A avaliação das séries temporais de temperatura interna, cargas térmicas de calor sensível e/ou latente

de um edifício ou zona térmica do edifício envolve a solução de um sistema de equações para as transferências transientes de calor e massa entre os ambientes externo e interno por meio dos elementos opacos e transparentes que delimitam o envelope do edifício ou da zona térmica, em função do fluxo de calor interno e externo, das condições de temperatura e umidade.

6 Método de cálculo

6.1 Resultados

Os resultados deste método são listados na Tabela 2. Os resultados dependem da aplicação, de quais são os dados de entrada e de quais são as saídas esperadas.

Tabela 2 — Resultados deste método; série temporal, quantidades calculadas

Descrição	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Módulo de destino pretendido ^b	Valor variável ^c
Caso a carga sensível de aquecimento e resfriamento seja fornecida como dado de entrada, ou seja, igual a zero:					
Temperatura do ar interior	$\theta_{int;a}$	°C	0 a 50	N.A. ^d	SIM
Temperatura da superfície interna de cada elemento do edifício	θ_s	°C	0 a 50	N.A. ^d	SIM
Temperatura radiante média	$\theta_{int;mr}$	°C	0 a 50	N.A. ^d	SIM
Temperatura operativa	$\theta_{int;op}$	°C	0 a 50	N.A. ^d	SIM
Caso a produção de umidade interna e a geração de umidade sejam fornecidas como dados de entrada ou sejam iguais a zero:					
Teor de umidade	$x_{int;a}$	kg _{H2O} /kg (ar seco)	0 a ∞	N.A. ^d	SIM
Caso sejam fornecidos os <i>setpoints</i> de temperatura interna:					
(Sensível) carga de aquecimento e resfriamento	$\Phi_{HC;ld}$	W	-∞ a ∞	N.A. ^d	SIM
Caso sejam fornecidos os <i>setpoints</i> de umidade interna:					
Carga de umidificação e desumidificação	$G_{(D)HU;ld}$	kg _{H2O} /s	-∞ a ∞	N.A. ^d	SIM
<p>NOTA Por exemplo, as normas DEE nos módulos DEE M2-2 e M2-3 são baseados neste procedimento de cálculo de referência e produzem resultados para outros módulos DEE.</p> <p>^a Faixa de intervalo prático, informativo.</p> <p>^b Informativo.</p> <p>^c “Valor variável”: o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo, valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).</p> <p>^d Módulo DEE. Não aplicável neste Documento, porque este é um procedimento de cálculo de referência.</p>					

6.2 Intervalo de tempo de cálculo e período de cálculo

O método neste Documento é adequado para um intervalo de tempo horário ou sub-horário.

A duração do período de cálculo depende da aplicação.

6.3 Dados de entrada

O método neste Documento é um método genérico destinado a ser utilizado por especialistas para desenvolver e/ou validar métodos para o cálculo horário ou sub-horário da temperatura interna.

Os dados de entrada para este método estão listados na Tabela 3. Eles dependem da aplicação, de quais são os dados de entrada e quais são os dados de resultados.

Tabela 3 — Dados de entrada para este método; série temporal

Nome	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Origem ^b	Valor variável ^c
Caso as cargas sejam o resultado:					
Temperatura operativa (por exemplo, <i>setpoints</i>)	$\theta_{int;op}$	°C	0 a 50	N.A. ^d	SIM
Teor de umidade (por exemplo, <i>setpoints</i>)	$x_{int;a}$	kgH ₂ O/kg (ar seco)	0 a ∞	N.A. ^d	SIM
Caso a temperatura interna e o respectivo teor de umidade sejam os resultados:					
Carga (sensível) de aquecimento e resfriamento	$\Phi_{HC;ld}$	W	-∞ a ∞	N.A. ^d	SIM
Carga de umidificação e desumidificação	$G_{(D)HU;ld}$	kgH ₂ O/s	-∞ a ∞	N.A. ^d	SIM
Geral:					
Dados geométricos	Ver 6.4. Como os procedimentos de cálculo são genéricos, esses dados de entrada não podem ser especificados em detalhes ^d .				
Parâmetros termofísicos do edifício e de elementos do edifício	Ver 6.4. Como os procedimentos de cálculo são genéricos, esses dados de entrada não podem ser especificados em detalhes ^d .				
Condições operacionais e de contorno	Ver 6.4. Como os procedimentos de cálculo são genéricos, esses dados de entrada não podem ser especificados em detalhes ^d .				
Constantes e dados físicos	Ver 6.4. Como os procedimentos de cálculo são genéricos, esses dados de entrada não podem ser especificados em detalhes ^d .				
^a Faixa de intervalo prático, informativo. ^b Por exemplo, módulo DEE, ou norma (por exemplo, de produto), ou "local" (tipo, geometria). ^c "Valor variável": o valor pode variar ao longo do tempo: valores diferentes por intervalo de tempo, por exemplo, valores horários ou valores mensais (valores não constantes ao longo do ano).					



Nome	Símbolo	Unidade	Intervalo de validade ^a	Origem ^b	Valor variável ^c
^d Os detalhes são fornecidos nas normas de aplicação, como a ISO 52016-1.					

Os dados climáticos horários devem ser obtidos da ABNT NBR ISO 52010-1.

6.4 Procedimento de cálculo

6.4.1 Intervalo de tempo aplicável

Este procedimento pode ser utilizado com um intervalo de tempo de horário ou sub-horário.

6.4.2 Premissas

As premissas gerais para o cálculo das temperaturas internas são as seguintes:

- a temperatura do ar é uniforme em toda a zona do edifício;
- as várias superfícies dos elementos do edifício são isotérmicas;
- a condução de calor pelos elementos do edifício (excluindo o solo) é assumida como unidimensional;
- a condução de calor para o solo pelos elementos do edifício é tratada por uma taxa equivalente de fluxo de calor unidimensional, de acordo com a ISO 13370;
- a contribuição de armazenamento de calor de pontes térmicas (lineares ou pontuais) é desprezada;
- as pontes térmicas (lineares ou pontuais) são diretamente acopladas termicamente às temperaturas do ar interno e externo;
- as câmaras de ar são tratadas como camadas de ar limitadas por duas superfícies isotérmicas e paralelas;
- os efeitos de armazenamento de calor nos vários planos de um elemento envidraçado são negligenciados;
- a densidade da taxa de fluxo de calor devido à radiação de onda curta, absorvida por cada plano de um elemento envidraçado, é tratada como um termofonte.

6.4.3 Cálculo de temperaturas pertinentes

6.4.3.1 Temperatura operativa

A temperatura operativa interna é calculada de acordo com a Equação (1):

$$\theta_{int;op} = f_a \cdot \theta_{int;a} + (1 - f_a) \cdot \theta_{int;mr} \quad (1)$$

onde

$\theta_{int;op}$ é a temperatura operativa interna, expressa em graus Celsius (°C);

f_a é a fração que a temperatura do ar contribui para a temperatura operativa;

$\theta_{int;a}$ é a temperatura do ar interno, calculada de acordo com 6.4.3.2, expressa em graus Celsius (°C);

$\theta_{int;mr}$ é a temperatura radiante média interna, a média ponderada das temperaturas da superfície interna, expressa em graus Celsius (°C), calculada de acordo com a Equação (2):

$$\theta_{int;mr} = \frac{\sum_j (A_j \cdot \theta_{s,j})}{\sum_j A_j} \quad (2)$$

onde

$\theta_{s,j}$ é a temperatura da superfície interna do elemento j do edifício, calculada de acordo com 6.4.3.3, expressa em graus Celsius (°C);

A_j é a área do elemento j do edifício, expressa em metros quadrados (m²).

6.4.3.2 Equação de balanço de calor sensível e temperatura do ar interno

A temperatura do ar interno em um edifício ou zona do edifício, em um determinado momento, é obtida resolvendo a Equação (3), sendo os fluxos de calor para o ar interno tomados como positivos:

$$\sum_{j=1}^N (A \cdot q_{c;i})_j + \Phi_V + \Phi_{int;c} + \Phi_{HC;ld;c} + \Phi_{sa} + \Phi_{va} + \Phi_{tb} = c_a \cdot \rho_{int;a} \cdot V_{int;a} \cdot \frac{d\theta_{int;a}}{dt} \quad (3)$$

onde

N é o número de superfícies internas que delimitam o ar interno;

A_j é a área do elemento j do edifício, expressa em metros quadrados (m²);

$q_{c;i}$ é a densidade de fluxo de calor por convecção na superfície interna, obtida de acordo com 6.4.5.2.2, expressa em watts por metro quadrado (W/m²);

Φ_V é fluxo de calor por ventilação, obtido de acordo com 6.4.5.7, expresso em watts (W);

$\Phi_{int;c}$ é a fração convectiva de fluxo de calor devido a fontes internas, obtida de acordo com 6.4.5.6, expressa em watts (W);

$\Phi_{HC;ld;c}$ é a parte convectiva de fluxo de calor devido a cargas sensíveis de aquecimento ou resfriamento do ambiente, obtida de acordo com 6.4.5.7, expressa em watts (W);

Φ_{sa} é o fluxo de calor solar para o ar, obtido de acordo com 6.4.5.4.4, expressa em watts (W);

Φ_{va} é o fluxo de calor devido ao ar que entra na zona do edifício pelas camadas de ar dentro dos elementos que delimitam a zona, obtida de acordo com 6.4.5.2.4, expressa em watts (W);

Φ_{tb} é o fluxo de calor devido às pontes térmicas de acordo com 6.4.5.3, expressa em watts (W);

c_a é o calor específico do ar, expresso em joules por quilograma e por Kelvin (J/(kg·K));

$\rho_{int;a}$ é a densidade do ar seco interno, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

- $V_{\text{int};a}$ é o volume do ar interno, expressa em metros cúbicos (m^3);
 $\theta_{\text{int};a}$ é a temperatura do ar interno, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$);
 t é o tempo, expresso em segundos (s).

NOTA Devido ao valor muito pequeno do termo ($\rho_a V_{\text{int};a}$), o lado direito da Equação (3) pode ser assumido como zero, a menos que, por aproximação, outros materiais sejam incluídos neste termo (por exemplo, móveis e/ou partições internas leves).

Alternativamente, soluções técnicas específicas podem ser aplicadas para calcular a carga (sensível) de aquecimento ou resfriamento sob determinadas condições de temperatura no ambiente (ver 6.4.4).

6.4.3.3 Temperatura da superfície interna

A temperatura da superfície interna do elemento j do edifício é obtida resolvendo a Equação (4), onde os fluxos de calor para a superfície interna, exceto $q_{c;j}$, são considerados positivos:

$$q_{\text{lr};j} + q_{\text{sol};j} + q_{c;j} + q_{\text{cd};j} + q_{\text{i};r} + q_{\text{HC;ld};r} = 0 \quad (4)$$

onde

- q_{r} é a densidade de fluxo de calor devido à radiação de onda longa trocada com outras superfícies internas, obtida de acordo com 6.4.5.5.2, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);
 q_{sol} é a densidade de fluxo de calor devido à radiação solar (onda curta) absorvida, obtida de acordo com 6.4.5.4, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);
 q_{c} é a densidade de fluxo de calor liberado por convecção para o ar da zona do edifício, obtida de acordo com 6.4.5.2.2, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);
 q_{cd} é a densidade de fluxo de calor por condução, obtida de acordo com 6.4.5.1, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);
 $q_{\text{i};r}$ é a densidade de fluxo de calor devido à componente radiante dos ganhos internos, calculada de acordo com a Equação (6), expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);
 $q_{\text{HC;ld};r}$ é a densidade de fluxo de calor devido à componente radiante da carga sensível de aquecimento ou resfriamento do ambiente, calculada de acordo com a Equação (6), expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

As densidades de fluxo de calor devido à componente radiante dos ganhos internos e da carga de aquecimento e resfriamento do ambiente são fornecidas pelas Equações (5) e (6), respectivamente:

$$q_{\text{i};r} = \frac{\Phi_{\text{int};r}}{\sum_{j=1}^N A_j} \quad (5)$$

$$q_{\text{HC;ld};r} = \frac{\Phi_{\text{HC;ld};r}}{\sum_{j=1}^N A_j} \quad (6)$$

onde

- $\Phi_{\text{int},r}$ é a fração radiante do fluxo de calor devido a fontes internas, obtida de acordo com 6.4.5.6, expressa em watts (W);
- N é o número de superfícies que delimitam o ar interno;
- A_j é a área do elemento j do edifício, expressa em metros quadrados (m²);
- $\Phi_{\text{HC};\text{ld},r}$ é o fluxo de calor devido à componente radiante das cargas sensíveis de aquecimento ou resfriamento do ambiente, obtida de acordo com 6.4.5.7, expressa em watts (W).

6.4.3.4 Temperatura da superfície delimitando duas camadas sólidas

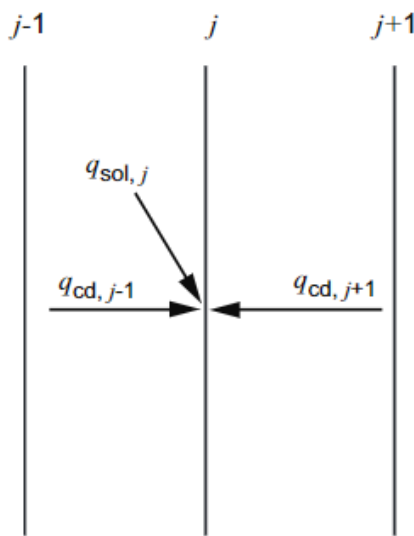


Figura 1 — Superfície delimitando duas camadas

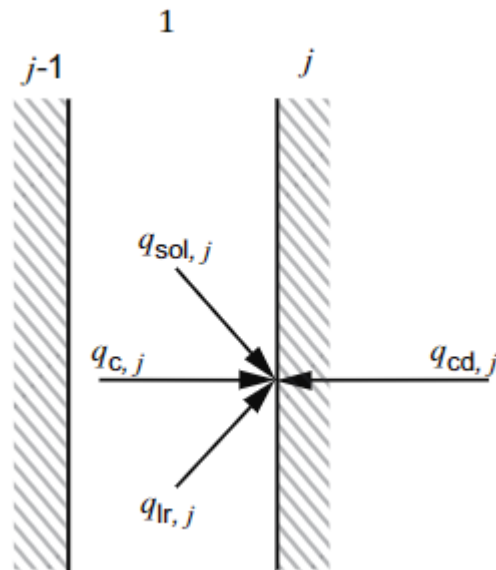
A temperatura na superfície j delimitando duas camadas em um elemento, ilustrada na Figura 1, é obtida resolvendo a Equação (7):

$$q_{\text{cd}, j-1} + q_{\text{cd}, j+1} + q_{\text{sr}, j} = 0 \tag{7}$$

onde

- $q_{\text{cd}, j-1}$ é a densidade de fluxo de calor por condução a partir da superfície $j-1$, obtida de acordo com 6.4.5.1, expressa em watts por metro quadrado (W/m²);
- $q_{\text{cd}, j+1}$ é a densidade de fluxo de calor por condução a partir da superfície $j+1$, obtida de acordo com 6.4.5.1, expressa em watts por metro quadrado (W/m²);
- $q_{\text{sol}, j}$ é a densidade de fluxo de calor devido à radiação solar (onda curta) absorvida pela superfície j , obtida de acordo com 6.4.5.4, expressa em watts por metro quadrado (W/m²).

6.4.3.5 Temperatura da superfície de uma camada de ar



Legenda

1 camada de ar

Figura 2 — Superfície delimitando uma camada de ar

A temperatura na superfície j de uma camada de ar, ilustrada na Figura 2, é obtida resolvendo a Equação (8):

$$q_{c,j} + q_{r,j} + q_{cd,j} + q_{sol,j} = 0 \quad (8)$$

onde

q_c é a densidade da taxa de fluxo total de calor liberado para a camada de ar, obtida de acordo com 6.4.5.2, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

q_r é a densidade de fluxo de calor recebido por radiação de onda longa pela camada de ar, obtida de acordo com 6.4.5.5, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

q_{cd} é a densidade de fluxo de calor por condução, obtida de acordo com 6.4.5.1, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

q_{sol} é a densidade de fluxo de calor absorvido devido à radiação solar (ou outra fonte externa de radiação de ondas curtas), obtida de acordo com 6.4.5.4, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

6.4.3.6 Temperatura da superfície externa de um elemento do edifício

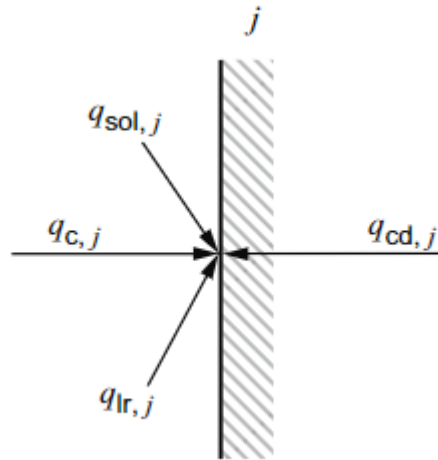


Figura 3 — Superfície externa de um elemento

A temperatura na superfície j de um elemento do edifício, ilustrada na Figura 3, é obtida resolvendo a Equação (9):

$$q_{lr,j} + q_{sol,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} = 0 \quad (9)$$

onde

q_{lr} é a densidade de fluxo de calor por radiação de onda longa na superfície, obtida de acordo com 6.4.5.5.1, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

q_{sol} é a densidade de fluxo de calor devido à radiação solar (onda curta) absorvida pela superfície, obtida de acordo com 6.4.5.4, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

q_c é a densidade de fluxo de calor por convecção com o ar, obtida de acordo com 6.4.5.2.2, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

q_{cd} é a densidade de fluxo de calor por condução, obtida de acordo com 6.4.5.1, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

6.4.4 Balanço térmico da zona do edifício (calor sensível)

Em cada equação de 6.4.3, os fluxos de calor dependentes do tempo devem ser expressos em termos de operadores que relacionam o fluxo de calor na superfície interna de cada elemento com as temperaturas nas superfícies interna e externa, e esta com a temperatura do ar interno, usando modelos matemáticos adequados dos processos de transferência de calor.

A temperatura do ar interno, juntamente com as temperaturas das diferentes superfícies, deve ser determinada resolvendo o sistema de equações globais em cada intervalo de tempo considerado.

Uma expressão geral do sistema de equações é fornecida na Equação (10):

$$\begin{pmatrix} \Pi_{1,1} & \Pi_{1,2} & \Pi_{1,N} & \Pi_{1,N+1} \\ \Pi_{2,1} & \Pi_{2,2} & \Pi_{2,N} & \Pi_{2,N+1} \\ \Pi_{N,1} & \Pi_{N,2} & \Pi_{N,N} & \Pi_{N,N+1} \\ \Pi_{N+1,1} & \Pi_{N+1,2} & \Pi_{N+1,N} & \Pi_{N+1,N+1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \theta_{is,1} \\ \theta_{is,2} \\ \theta_{is,N} \\ \theta_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \Gamma_N \\ \Gamma_{N+1} \end{pmatrix} \quad (10)$$

onde

- N é o número de elementos que delimitam a zona do edifício, correspondendo às superfícies internas que delimitam o ar interno;
- Π representa os coeficientes das temperaturas desconhecidas (θ) (de 1 a N , em relação às superfícies internas, $N + 1$ relacionado ao ar interno);
- Γ representa os coeficientes dos termos conhecidos (de 1 a N , em relação às superfícies internas, $N + 1$ relacionado ao ar interno);
- θ representa as temperaturas desconhecidas (de 1 a N , em relação às superfícies internas, $N + 1$ relacionado ao ar interno).

Os termos “ Π ” e “ Γ ” são obtidos reescrevendo as Equações (3), (4), (7) ou as Equações (8) e (9), para separar os parâmetros desconhecidos dos parâmetros conhecidos.

Os parâmetros desconhecidos são a temperatura do ar no instante t para a Equação (3) e as temperaturas das superfícies interna e externa, e da superfície interior, para cada componente no instante t para as outras equações. A forma dessas equações depende da técnica de solução adotada.

Alternativamente, outras técnicas de solução podem ser aplicadas para calcular a carga de aquecimento ou resfriamento (sensível) sob determinadas condições de temperatura ambiental.

6.4.5 Componentes de transferência de calor

6.4.5.1 Condução de calor através componentes

Para elementos com condutividade térmica e calor específico constantes, a densidade do fluxo de calor por condução é dada pelas Equações (11) e (12):

$$q_{cd;n} = -\lambda \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right) \quad (11)$$

$$\lambda \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + g = c_{me} \cdot \rho_{me} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (12)$$

onde

$q_{cd;n}$ é a densidade de fluxo de calor na direção n , expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

θ é a temperatura do componente (na direção do fluxo de calor) no instante t , expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$);

λ é a condutividade térmica do meio, expressa em watts por metro por Kelvin [$W/(m \cdot K)$];

c_{me} é o calor específico do meio, expresso em joules por quilograma por Kelvin [$J/(kg \cdot K)$];

ρ_{me} é a densidade do meio, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3);

g é o termofonte de calor (fluxo de calor por volume), expresso em watts por metro cúbico (W/m^3);

x, y, z são as coordenadas.

Essas equações podem ser resolvidas por qualquer procedimento apropriado que forneça resultados de acordo com o procedimento de validação fornecido em 7.2.

No caso de fluxo de calor unidimensional (assumido), perpendicular a cada elemento do edifício (coordenada x), as segundas derivadas das coordenadas y e z são omitidas na Equação (12).

6.4.5.2 Transferência de calor por convecção

6.4.5.2.1 Generalidades

A transferência de calor por convecção ocorre nas superfícies limítrofes de cada elemento do edifício e através das camadas de ar.

6.4.5.2.2 Taxa de fluxo de calor por convecção na superfície de um elemento

A densidade de fluxo de calor por convecção nas superfícies interna e externa de um elemento, q_c , é calculada pela Equação (13):

$$q_c = h_c \cdot (\theta_s - \theta_a) \quad (13)$$

onde

q_c é o fluxo de calor por convecção na superfície, expresso em watts por metro quadrado (W/m^2);

h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção da superfície, expresso em watts por metro quadrado por Kelvin [$W/(m^2 \cdot K)$];

θ_s é a temperatura da superfície, para superfícies internas obtidas de acordo com 6.4.3.3 e para superfícies externas obtidas de acordo com 6.4.3.6, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$);

θ_a é a temperatura do ar do ambiente interno ou externo, expressa em graus Celsius ($^{\circ}C$).

6.4.5.2.3 Transferência de calor por convecção através camadas de ar não ventiladas

A densidade de fluxo de calor por convecção por uma camada de ar não ventilada, q_c , é dada pela Equação (14):

$$q_c = \Lambda_a \cdot \Delta\theta \quad (14)$$

onde

q_c é a densidade de fluxo de calor por convecção, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

$\Delta\theta$ é a diferença de temperatura entre as superfícies que delimitam a camada, expressa em Kelvins (K);

Λ_a é a condutância térmica da camada de ar, expressa em watts por metro por Kelvin [$W/(m \cdot K)$].

6.4.5.2.4 Transferência de calor por convecção através camadas de ar ventiladas

O fluxo de calor por convecção por uma camada de ar ventilada, Φ_{va} , depende da taxa de fluxo de ar na camada de ar. Os fluxos de calor a serem considerados são:

- o fluxo de calor por convecção, Φ_{va} , devido ao ar que passa pela camada de ar e entra na zona, fornecida pela Equação (15):

$$\Phi_{Va} = m_{a;v} \cdot c_a \cdot (\theta - \theta_{int;a}) \quad (15)$$

onde

Φ_{Va} é o fluxo de calor por convecção, expresso em watts (W);

$m_{a;v}$ é o fluxo de massa de ar pela camada de ar, expresso em quilogramas por segundo (kg/s);

c_a é o calor específico do ar, expresso em joules por quilograma Kelvin [J/(kg·K)];

θ é a temperatura do ar que sai da camada, expressa em graus Celsius (°C);

b) a taxa de fluxo de calor por convecção, $\Phi_{c,j}$, entre superfícies e o ar, é dada pela Equação (16):

$$\Phi_{c,j} = h_a \cdot A_c \cdot (\theta_j - \theta_{eq})$$

$$\Phi_{c,j+1} = h_a \cdot A_c \cdot (\theta_{j+1} - \theta_{eq}) \quad (16)$$

onde

A_c é a área da superfície em contato com a camada de ar, expressa em metros quadrados (m²);

h_a é o coeficiente de transferência de calor por convecção para camadas ventiladas, expresso em watts por metro quadrado (W/m²);

θ_{eq} é a temperatura equivalente do ar na camada, expressa em graus Celsius (°C);

j e $j+1$ são as superfícies que delimitam a camada de ar.

6.4.5.3 Pontes térmicas

Assume-se que as pontes térmicas lineares e pontuais não possuam capacidade térmica. A densidade da taxa de fluxo de calor devido às pontes térmicas é obtida pela Equação (17):

$$\Phi_{tb} = H_{tb} \cdot (\theta - \theta_{e;a}) \quad (17)$$

com

$$H_{tb} = \sum_k (l_k \cdot \Psi_k) + \sum_j \chi_j \quad (18)$$

onde

l_k é o comprimento da ponte térmica linear k , expresso em metros (m);

Ψ_k é a transmitância térmica linear da ponte térmica k , expressa em watts por metro Kelvin [W/(m·K)];

χ_j é a transmitância térmica pontual da ponte térmica pontual j , expressa em watts por Kelvin (W/K).

6.4.5.4 Transferência de calor por radiação de ondas curtas

6.4.5.4.1 Transferência de calor por radiação de ondas curtas na superfície externa de elemento opaco

A densidade da taxa de fluxo de calor por radiação de ondas curtas na superfície externa de um elemento opaco é fornecida pela Equação (19):

$$q_{\text{sol};e} = \alpha_{\text{sol}} \cdot (f_s \cdot I_{\text{dir}} + I_{\text{dif}}) \quad (19)$$

onde

$q_{\text{sol};e}$ é a densidade de fluxo de calor por radiação (ondas curtas) solar (e/ou outras ondas curtas) na superfície externa de um elemento opaco, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

α_{sol} é a absorptância solar da superfície externa;

f_s é a fração ensolarada;

I_{dir} é a componente direta da radiação solar que atinge a superfície, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

I_{dif} é a componente difusa da radiação solar que atinge a superfície, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

Os valores de absorptância solar de superfícies externas opacas, α_{sol} , dependem das características da superfície externa do elemento.

A fração ensolarada, f_s , é obtida pela Equação (20):

$$f_s = \frac{A_s}{A} \quad (20)$$

onde

A_s é a área ensolarada da parede (determinada em 6.4.5.4.5), expressa em metros quadrados (m^2);

A é a área total da parede, expressa em metros quadrados (m^2).

6.4.5.4.2 Transferência de calor por radiação de ondas curtas na superfície interna de elementos opacos

A densidade de fluxo de calor por radiação solar (de ondas curtas) absorvida na superfície interna de um elemento opaco é obtida pela Equação (21):

$$q_{\text{sol};\text{int}} = f_d \cdot \frac{(1 - f_{\text{sa}}) \cdot (1 - f_{\text{sl}}) \cdot (\Phi_{\text{sol};\text{dir}} + \Phi_{\text{sol};\text{dif}})}{A} \quad (21)$$

onde

$q_{\text{sol};\text{int}}$ é a densidade de fluxo de calor por radiação solar (de ondas curtas) na superfície interna de um elemento opaco, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

f_d é o fator de distribuição da radiação solar na superfície interna do elemento;

f_{sa} é a fração sol-ar da zona;

f_{sl} é o fator de perda solar da zona;

$\Phi_{\text{sol};\text{dir}}$ é o fluxo de calor devido à componente direta da radiação solar que entra na zona, calculada de acordo com a Equação (22), expresso em watts (W);

$\Phi_{\text{sol};\text{dif}}$ é o fluxo de calor devido à componente difusa da radiação solar que entra na zona, calculada de acordo com a Equação (23), expresso em watts (W);

A é a área do elemento opaco, expressa em metros quadrados (m²).

Os fluxos de calor devido às componentes diretas e difusas da radiação solar que entram na zona são fornecidas pelas Equações (22) e (23), respectivamente:

$$\Phi_{\text{sol};\text{dir}} = \sum_{j=1}^J (I_{\text{dir}} \cdot \tau_{\text{dir}} \cdot A_{\text{s}})_j \quad (22)$$

$$\Phi_{\text{sol};\text{dif}} = \sum_{j=1}^J (I_{\text{dif}} \cdot \tau_{\text{dif}} \cdot A)_j \quad (23)$$

onde

J é o número de sistemas envidraçados;

I_{dir} é a componente direta da radiação solar que atinge a superfície externa do sistema j , expressa em watts por metro quadrado (W/m²);

I_{dif} é a componente difusa da radiação solar que atinge a superfície externa do sistema envidraçado j , expressa em watts por metro quadrado (W/m²);

τ_{dir} é a transmissividade solar direta do sistema envidraçado;

τ_{dif} é a transmissividade solar difusa do sistema envidraçado;

A_{s} é a área ensolarada do vidro, expressa em metros quadrados (m²);

A é a área envidraçada, expressa em metros quadrados (m²).

Fração sol-ar

A fração sol-ar, f_{sa} , é a fração do calor solar que entra na zona pelo vidro e é imediatamente transferido para o ar interno. Essa fração depende da quantidade de itens internos com capacidades térmicas muito baixas, como tapetes e móveis. Assume-se que seja independente do tempo.

Fração de rejeição solar

A fração de rejeição solar, f_{sl} , é a fração da radiação solar que entra na zona e é refletida de volta para o ambiente externo. Ela depende das características geométricas e das propriedades solares do sistema envidraçado, da exposição do envidraçamento, dos ângulos solares, da geometria da zona e da cor das superfícies. Assume-se que seja independente do tempo.

Fatores de distribuição

Os fatores de distribuição, f_{d} , determinam a quantidade de radiação solar direta absorvida por área nas diferentes superfícies internas das paredes, teto, piso etc. Eles dependem dos ângulos solares, das dimensões geométricas do envidraçamento e da zona, da refletância de ondas curtas dos componentes e dos móveis. Assume-se que sejam independentes do tempo.

Uma aproximação simples do fator de distribuição é a área da superfície interna do elemento dividida pela

soma das áreas das superfícies internas de todos os elementos.

6.4.5.4.3 Fluxo de calor por radiação de ondas curtas para elementos transparentes (incluindo persianas e cortinas)

A densidade de fluxo de calor para o elemento j do sistema envidraçado, devido à radiação solar absorvida, deve ser calculada de acordo com a Equação (24):

$$q_{\text{sol},j} = \alpha'_{\text{sol},j} \cdot (I_{\text{dir}} \cdot f_s + I_{\text{dif}}) \quad (24)$$

onde

$q_{\text{sol},j}$ é a densidade de fluxo de calor por radiação solar (ondas curtas) para o elemento j do sistema envidraçado, expresso em watts por metro quadrado (W/m^2);

j é o elemento do sistema envidraçado;

α'_{sol} é a absorptância solar equivalente;

I_{dir} é a componente direta da radiação solar que atinge a superfície externa do sistema j , expresso em watts por metro quadrado (W/m^2);

f_s é a fração ensolarada;

I_{dif} é a componente difusa da radiação solar que atinge a superfície externa do sistema envidraçado j , expresso em watts por metro quadrado (W/m^2).

Se houver cortinas ou persianas, podem ocorrer as seguintes situações:

- cortina/persiana está totalmente fechada;
- cortina/persiana não está completamente fechada.

No caso a), o elemento envidraçado e a cortina/persiana são tratados como um único elemento da envoltória com coeficientes solares adequados.

No caso b), dois componentes diferentes devem ser considerados:

- a porção de área envidraçada não coberta pela cortina/persiana, compreendendo apenas o componente envidraçado;
- a parte da área envidraçada coberta pela cortina/persiana, tratada como no caso a).

6.4.5.4.4 Fluxo de calor solar para o ar

O fluxo de calor solar para o ar, Φ_{sa} , é o fluxo de calor devido à radiação solar que entra pelo sistema envidraçado, transferido diretamente para o ar interno. Ela é fornecida pela Equação (25):

$$\Phi_{\text{sa}} = f_{\text{sa}} \cdot (1 - f_{\text{sl}}) \cdot (\Phi_{\text{sol};\text{dir}} + \Phi_{\text{sol};\text{dif}}) \quad (25)$$

onde

Φ_{sa} é o fluxo de calor solar para o ar, expresso em watts (W);

f_{sa} é a fração sol-ar da zona;

f_{sl} é a fração de rejeição solar da zona;

$\Phi_{\text{sol};\text{dir}}$ é o fluxo de calor devido à componente direta da radiação solar que entra na zona, calculada de acordo com a Equação (22), expressa em watts (W);

$\Phi_{\text{sol};\text{dif}}$ é a o fluxo de calor devido à componente difusa da radiação solar que entra na zona, calculada de acordo com a Equação (23), expressa em watts (W).

Fração sol-ar

A fração sol-ar, f_{sa} , é a fração do calor solar que entra no ambiente pelo vidro e é imediatamente transferida para o ar interno. Essa fração depende da quantidade de itens internos com capacidades térmicas muito baixas, como tapetes e móveis. Assume-se que seja independente do tempo.

Fração de rejeição solar

A fração de rejeição solar, f_{sl} , é a fração da radiação solar que entra no ambiente e é refletida de volta para o ambiente externo. Ela depende das características geométricas e das propriedades solares do sistema envidraçado, da exposição do envidraçamento, dos ângulos solares, da geometria do ambiente e da cor das superfícies. Assume-se que seja independente do tempo.

NOTA Valores típicos são fornecidos no ISO/TR 52016-2 [3].

6.4.5.4.5 Área ensolarada do elemento do ambiente

Quando obstruções externas estão presentes, a área de um elemento pode ser parcialmente sombreada. As obstruções consideradas neste Documento são: elementos de sombreamento horizontal, elementos de sombreamento vertical, recuo da janela e construções do entorno. A fração ensolarada é determinada na Equação (20) e pode ser adicionada para a radiação difusa nas Equações (19) e (24).

6.4.5.5 Transferência de calor por radiação de onda longa

6.4.5.5.1 Fluxo de calor radiativo por radiação de onda longa na superfície externa

A densidade do fluxo de calor radiante de onda longa recebido por uma superfície externa, q_{ir} , é dada pela Equação (26):

$$q_{\text{ir}} = h_{\text{r}} \cdot (\theta_{\text{e};\text{a}} - \theta_{\text{s};\text{e}}) - q_{\text{sk}} \quad (26)$$

onde

q_{ir} é a densidade do fluxo de calor radiante de onda longa recebido por uma superfície externa, expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

h_{r} é o coeficiente de transferência de calor por radiação de onda longa, calculado de acordo com a Equação (27), expresso em watts por metro quadrado por Kelvin [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

$\theta_{\text{e};\text{a}}$ é a temperatura do ar externo, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

$\theta_{\text{s};\text{e}}$ é a temperatura da superfície externa, expressa em graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

q_{sk} é a correção para as trocas de radiação de onda longa da parede para o céu, calculada de acordo com a Equação (29), expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

Usando temperaturas em escala absoluta ($T = \theta + 273,15$), o valor de h_{r} é aproximado pela Equação (27):

$$h_r = 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T_{e;a} + T_{s;e}}{2} \right)^3 \quad (27)$$

onde

- ε é a emissividade de onda longa da superfície;
- σ é a constante de Stefan-Boltzmann: $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$;
- $T_{e;a}$ é a temperatura do ar externo, expressa em Kelvin (K);
- $T_{s;e}$ é a temperatura da superfície, expressa em Kelvin (K).

Os cálculos devem ser feitos com um valor fixo de h_r .

EXEMPLO Os termos da Equação (27) podem ser calculados com as seguintes condições:

- emissividade da superfície externa $\varepsilon = 0,93$;
- temperatura de referência 283 (293) K.

Nestas condições, o valor de h_r para superfícies externas é de $4,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

A correção para a radiação de onda longa emitida do elemento para o céu, q_{sk} , é obtida pela Equação (28):

$$q_{sk} = F_{sk} \cdot 4 \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot \left(\frac{T_{e;a} + T_{sk}}{2} \right)^3 \cdot (T_{e;a} - T_{sk}) \quad (28)$$

onde

- F_{sk} é o fator de forma do elemento construtivo j para o céu (ângulo sólido dividido por 2π);
- $T_{e;a}$ é a temperatura do ar externo, expressa em Kelvin (K);
- T_{sk} é a temperatura do céu, expressa em Kelvin (K).

A temperatura do céu depende das características da atmosfera e do seu teor de vapor.

NOTA Valores típicos são fornecidos no ISO/TR 52016-2^[3].

6.4.5.5.2 Fluxo de calor radiante de onda longa na superfície interna

A densidade do fluxo de calor radiante de onda longa, q_{lr} , recebido pela superfície interna j , é obtida pela Equação (29):

$$q_{lr,j} = \sum_{k=1}^N (F_{j,k} \cdot J_{lr,k}) - J_{lr,j} \quad (29)$$

onde

- q_{lr} é a densidade do fluxo de calor radiante de onda longa recebido pela superfície interna j , expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);
- N é o número de superfícies internas que delimitam o ar interno;
- $F_{j,k}$ é o fator de forma da superfície j para a superfície k ;

$J_{r,j}$ é a radiosidade de onda longa da superfície j , calculada de acordo com a Equação (30), expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

$J_{r,k}$ é a radiosidade de onda longa da superfície k , calculada de acordo com a Equação (30) expressa em watts por metro quadrado (W/m^2).

A radiosidade de onda longa de uma superfície é a densidade total de fluxo de calor emitida e refletida por esta superfície, sendo todas as superfícies aqui consideradas corpos cinzas. Assim, a radiosidade de onda longa da superfície j é mostrada na Equação (30):

$$J_{r,j} = \rho_j \cdot \sum_{k=1}^N (F_{j,k} \cdot J_{r,k}) + \varepsilon_j \cdot \sigma \cdot T_j^4 \quad (30)$$

onde

$J_{r,j}$ é a radiosidade de onda longa da superfície j , expressa em watts por metro quadrado (W/m^2);

ρ é a refletância radiante de onda longa;

ε é a emitância radiante de onda longa;

σ é a constante de Stefan-Boltzmann: $5,670 \times 10^{-8} W/(m^2 \cdot K^4)$.

A fim de calcular o fluxo de calor radiante de onda longa trocado pelas N diferentes superfícies internas, convém que a radiosidade para cada superfície, J_r , seja primeiro determinada resolvendo as N equações simultâneas. Convém que a solução da Equação (30) seja realizada para as várias superfícies que delimitam a zona do edifício.

A Equação (30) pode ser resolvida por qualquer procedimento apropriado que forneça resultados de acordo com o procedimento de validação fornecido na Seção 8.

NOTA Um procedimento adequado é descrito no ISO/TR 52016-2 [3].

6.4.5.5.3 Transferência de calor radiante de onda longa pelas camadas de ar

A densidade da transferência de calor radiante de onda longa pelas camadas de ar é obtida pela Equação (31):

$$q_{lr} = \Lambda_{lr} \cdot \Delta\theta \quad (31)$$

onde

q_{lr} é a densidade do fluxo de calor radiante de onda longa pela camada de ar, expressa em Watts por metro quadrado (W/m^2);

$\Delta\theta$ é a diferença de temperatura entre as superfícies que delimitam a camada de ar, expressa em Kelvin (K);

Λ_{lr} é a condutância radiante de onda longa do ar, expressa em Watts por metro quadrado Kelvin [$W/(m^2 \cdot K)$].

6.4.5.6 Fluxo de calor devido a fontes internas

Os ganhos internos geralmente derivam da iluminação, equipamentos e ocupantes. O fluxo de calor consiste em um componente convectivo, $\Phi_{int,c}$, e em um componente radiante de onda longa, $\Phi_{int,r}$, que estão incluídos, respectivamente, nas Equações (3) e (4). Supõe-se que a componente radiante de onda

longa, $\Phi_{\text{int},r}$, seja uniformemente distribuída em todas as superfícies internas que limitam a zona, incluindo janelas.

6.4.5.7 Cargas sensíveis de aquecimento ou resfriamento dos ambientes

O fluxo de calor devido a cargas sensíveis de aquecimento e/ou resfriamento do ambiente consiste em um componente convectivo, $\Phi_{\text{HC};ld;c}$, e em um componente radiante de onda longa, $\Phi_{\text{HC};ld;r}$, que estão, respectivamente, incluídos nas Equações (3) e (4). Supõe-se que a componente radiante de onda longa, $\Phi_{\text{HC};ld;r}$, seja uniformemente distribuída em todas as superfícies internas que delimitam a zona, incluindo janelas.

NOTA A carga sensível de aquecimento ou resfriamento do ambiente depende do tipo e do tamanho do(s) sistema(s) de aquecimento ou resfriamento e dos controles de temperatura. Os detalhes são fornecidos nas normas que descrevem uma aplicação específica dos procedimentos de cálculo subjacentes, como a ISO 52016-1.

6.4.5.8 Fluxo de calor devido à ventilação

A taxa líquida de fluxo de calor sensível para o ar da zona devido à ventilação natural e mecânica deve ser calculada de acordo com a Equação (32):

$$\Phi_V = c_a \cdot \rho_a \cdot q_{V;\text{in}} \cdot (\theta_{\text{sup};a} - \theta_{\text{int};a}) \quad (32)$$

onde

Φ_V é a taxa líquida de fluxo de calor para o ar da zona devido à ventilação natural e mecânica, expressa em watts (W);

c_a é o calor específico do ar insuflado, expressa em joules por quilograma por Kelvin [J/(kg·K)];

ρ_a é a densidade do ar seco, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

$q_{V;\text{in}}$ é a vazão volumétrica total de ar que entra na zona do edifício, expressa em metros cúbicos por segundo (m³/s);

$\theta_{\text{sup};a}$ é a temperatura do ar insuflado, expressa em graus Celsius (°C);

$\theta_{\text{int};a}$ é a temperatura do ar interno, expressa em graus Celsius (°C).

NOTA A vazão volumétrica de ar e a densidade do ar seco são função da temperatura e da pressão do ar. Convém que as suposições sejam consistentes, de modo a garantir que a vazão de massa de ar permaneça a mesma sob variações de temperatura e pressão. Por exemplo, assumindo uma temperatura de referência de 20 °C e pressão ao nível do mar.

A temperatura do ar insuflado depende da sua fonte (por exemplo, ar externo ou zona adjacente ou, por exemplo, unidade de tratamento de ar ou unidade de recuperação de calor). A vazão de ar resulta de infiltração, ventilação natural e/ou forçada.

O fluxo de calor latente devido à ventilação deve ser calculado de acordo com a Equação (33):

$$\Phi_{V;\text{lat}} = h_{\text{we}} \cdot \rho_a \cdot q_{V;\text{in}} \cdot (x_{\text{sup};a} - x_{\text{int};a}) \quad (33)$$

onde

h_{we} é o calor latente de vaporização da água, expresso em Joules por quilograma (J/kg);
 $h_{we} = 2\,466 \times 10^3$ J/kg;

m_a é a vazão mássica total de ar, expressa em quilograma por segundo (kg/s);

$x_{sup;a}$ é o teor de umidade do ar, expresso em quilogramas de vapor por quilograma de ar seco [kg/kg(ar seco)];

$x_{int;a}$ é o teor de umidade interno, expresso em quilogramas de vapor por quilograma de ar seco [kg/kg(ar seco)].

Para o cálculo, assume-se que a temperatura do ar seja uniforme em toda a zona do edifício (ver 6.4.2).

6.4.6 Balanço de umidade e de calor latente na zona do edifício

6.4.6.1 Equação de balanço de calor latente

O cálculo considera a entrada e a saída de umidade devido à produção de umidade interna, ventilação e absorção ou dessorção de umidade em paredes e outros itens internos, como móveis e livros.

No entanto, neste documento, não há equações ou referências normativas para tal absorção/dessorção. Esse cálculo pode ser mais complexo do que considerar apenas a temperatura, pois o calor e a umidade nas paredes, e outros, interagem entre si.

NOTA 1 Referências, por exemplo, sobre o cálculo, considerando absorção ou dessorção de umidade nas paredes, e outros, são fornecidas na Bibliografia do ISO/TR 52016-2 [3].

Considerando essas suposições, a vazão mássica para umidificação e desumidificação, ou o teor de umidade do ar interno, em um edifício ou zona do edifício, em um determinado momento, é obtido pela Equação (34):

$$\rho_{int;a} \, q_{V;in} \cdot (x_{sup;a} - x_{int;a}) + G_{int;a} - G_{abs;a} + G_{(D)HU;ld} = \rho_{int;a} \cdot V_{int;a} \cdot \frac{dx_{int;a}}{dt} \quad (34)$$

onde

$\rho_{int;a}$ é a densidade do ar seco interno, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

$q_{V;in}$ é a vazão volumétrica total de ar que entra na zona do edifício, expressa em quilogramas por segundo (kg/s);

$x_{sup;a}$ é o teor de umidade do ar insuflado, expresso em quilogramas de água por quilograma de ar seco [kgH₂O/kg (ar seco)];

$x_{int;a}$ é a razão de umidade ou teor de umidade por massa do ar interno, expressa em quilogramas de água por quilograma de ar seco [kgH₂O/kg (ar seco)];

$G_{int;a}$ é a produção de umidade na zona, expressa em quilogramas de água por segundo (kgH₂O/s);

$G_{abs;a}$ é a absorção de umidade (valor positivo) ou dessorção (valor negativo) em materiais na zona, expressa em quilogramas de água por segundo (kgH₂O/s);

$G_{(D)HU;ld}$ é a carga de umidificação (fornecida) (se positiva), ou carga de desumidificação (remoção) (se negativa), expressa em quilogramas de água por segundo (kgH₂O/s);

$\rho_{int;a}$ é a densidade do ar seco interno, expressa em quilogramas por metro cúbico (kg/m³);

$V_{\text{int};a}$ é o volume do ar interno, expresso em metros cúbicos (m^3);

t é o tempo, expresso em segundos (s).

NOTA 2 Uma aplicação específica, com os dados de entrada específicos, suposições e condições de contorno é fornecida na ISO 52016-1.

6.4.6.2 Cargas latentes de umidificação e desumidificação

O fluxo de calor para umidificação e desumidificação, $\Phi_{HU;ld}$, ou carga de energia latente, expressa a energia latente necessária para atingir um teor de umidade específico na zona térmica, dentro de um determinado intervalo de tempo. É igual à carga de umidificação e desumidificação, $G_{(D)HU;ld}$, multiplicada pelo calor latente de evaporação, h_{we} .

Nesse caso, a carga de umidificação e desumidificação, $G_{(D)HU;ld}$, é a vazão mássica de umidade específica que precisa ser fornecida ou extraída da zona térmica, dentro de determinado intervalo de tempo, para manter uma umidade mínima ou máxima especificada dentro do ambiente.

A carga de energia latente depende do *setpoint* de umidade. O valor é zero, se não houver umidificação ou desumidificação. A demanda de energia latente pode ser atendida por um sistema local ou um sistema central; neste último caso, o valor da demanda de energia latente pode ser zerado e a demanda é satisfeita pela umidade transferida pelo ar de ventilação fornecido à zona térmica. As normas que descrevem uma aplicação específica dos procedimentos de cálculo subjacentes podem fornecer mais detalhes.

6.4.7 Etapas de cálculo

6.4.7.1 Generalidades

O procedimento de cálculo envolve duas etapas consecutivas:

- a) especificação das condições iniciais;
- b) cálculo das condições internas.

6.4.7.2 Especificação das condições iniciais

O período de cálculo real deve ser precedido por um período de inicialização suficientemente longo para que a influência das temperaturas de cada nó no início do cálculo seja desprezível quando o período de cálculo real começar. O período de inicialização deve consistir no seguinte:

- no caso de um cálculo de (uma parte de) um ciclo anual: o período que precede o período real (dezembro anterior a janeiro);
- no caso de um ciclo curto: repetir o ciclo quantas vezes forem necessárias.

6.4.7.3 Cálculo das condições internas

As temperaturas internas são determinadas utilizando, como condições iniciais, as condições internas avaliadas em 6.4.7.2. As temperaturas internas são determinadas a cada hora, considerando os dados climáticos e as demais condições de contorno e dados de entrada, conforme requeridos para o cálculo, de acordo com as subseções anteriores, em 6.4. Os valores horários da temperatura interna devem ser calculados como a média de cada hora.

O fluxo de calor devido a cargas de aquecimento ou resfriamento é fornecido como entrada neste cálculo.

Dependendo da aplicação, esses valores são determinados por algoritmos específicos, que envolvem informações sobre o controle (*setpoints*). Tais cálculos normalmente requerem mais de um cálculo por intervalo de tempo (por exemplo, iteração ou extrapolação).

Alternativamente, outros algoritmos, ou algoritmos adicionais, podem ser aplicados para calcular a carga (sensível) de aquecimento ou resfriamento sob determinadas condições de temperatura ambiente (ver 6.4.4).

Da forma similar, a vazão mássica de umidade (carga de umidade) e o fluxo de calor latente relacionados à umidificação e desumidificação podem ser fornecidos como dado de entrada, envolvendo informações sobre o controle (*setpoints*). Alternativamente, essas quantidades podem ser produzidas como resultados, com base no balanço de massa e em *setpoints* de umidade (ver 6.4.6.2).

6.4.8 Condições de contorno

6.4.8.1 Zona única

Um modelo de zona única requer o conhecimento das condições das zonas adjacentes. São consideradas as seguintes situações:

- zona adjacente com as mesmas condições (zonas semelhantes); ver 6.4.8.2;
- zona adjacente com condições internas determinadas; ver 6.4.8.3;
- ambientes não condicionados termicamente; ver 6.4.8.4;
- piso térreo; ver 6.4.8.5.

Se as condições de contorno forem muito diferentes das acima, o modelo de zona única, especificado neste documento, não pode ser utilizado e é necessário calcular as condições de contorno reais por um modelo multizonas capaz de considerar a transferência de calor entre as diferentes zonas. Ver 6.4.8.6.

6.4.8.2 Zonas semelhantes

Se a zona no lado externo do elemento de partição do edifício for semelhante à zona analisada, o fluxo transiente de calor pela partição pode ser calculado usando as condições de contorno adequadas na superfície externa da partição.

Distinções podem ser feitas entre, por exemplo,

- parede divisória (vertical): mesmas condições de superfície que na superfície interna,
- teto/piso: condições da superfície no lado externo do teto iguais às condições da superfície no lado interno do piso e vice-versa, e
- zona adjacente com valor determinado da temperatura do ar: as hipóteses dependem da precisão pretendida do cálculo.

6.4.8.3 Zona adjacente com condições de temperatura interna determinadas

As condições de temperatura interna podem ser utilizadas em vez das condições de contorno do ambiente externo.

6.4.8.4 Ambientes não condicionados termicamente

As suposições dependem da precisão pretendida do cálculo.

6.4.8.5 Piso em contato com o solo

Para piso em contato com o solo, como porões: cálculo conforme especificado na ISO 13370.

A transferência de calor entre a zona e o ambiente externo pelo solo é calculada como a soma de um componente em regime estacionário e de um componente variável mensal. A componente variável mensal é tratada como unidimensional e perpendicular à superfície do piso. O procedimento de cálculo deve combinar este fluxo de calor com o armazenamento de calor no piso, juntamente com uma camada de solo de 0,5 m de espessura abaixo dele, conforme descrito na ISO 13370. As pontes térmicas das conexões parede/piso são contabilizadas separadamente na ISO 13370.

6.4.8.6 Cálculo multizonas com acoplamento térmico

Um cálculo multizonas com interações térmicas entre as zonas pode ser executado como um cálculo de zona única, calculando alternadamente uma zona e considerando a(s) outra(s) zona(s) como espaço(s) adjacente(s) em cada intervalo de tempo. Existe o risco de oscilação dos resultados do cálculo, se a troca de calor entre as zonas for grande em comparação com os outros termos do balanço térmico. Outra opção é resolver a matriz das equações combinadas para todas as zonas de uma só vez. Isso pode facilmente levar a um tempo de execução de cálculo excessivo.

Um cálculo multizonas com interações térmicas entre as zonas requer significativamente mais dados de entrada e, às vezes, dados arbitrários (sobre as propriedades de transmissão e a direção e proporção do fluxo de ar etc.). Uma complicação adicional pode ser o envolvimento de diferentes sistemas de aquecimento, resfriamento e ventilação para diferentes zonas, o que aumenta a complexidade e arbitrariedade dos dados de entrada e da modelagem.

7 Controle de qualidade

7.1 Relatório do cálculo

O relatório do cálculo deve incluir todos os dados de entrada, referência à documentação do procedimento aplicado e os resultados do cálculo.

7.2 Casos de validação

O conjunto de testes “BESTEST”, normalizado como ANSI/ASHRAE 140^[9], compreende vários casos de teste que são apropriados para validação dos métodos de cálculo descritos neste documento.

NOTA O subconjunto pertinente de casos BESTEST é semelhante aos casos de teste da ISO 13791^[1]. Os casos BESTEST são referidos em muitos países em todo o mundo, originários de décadas de pesquisa internacional, amplamente utilizados em todo o mundo, bem descritos (por exemplo, ANSI/ASHRAE 140^[9]) e regularmente estendidos com casos adicionais. A principal vantagem dos conjuntos de testes ANSI/ASHRAE 140 é seu poder de diagnóstico, permitindo a detecção sistemática da área de falha de um método. Institutos renomados participam da configuração dos casos de teste. Os resultados de cálculo de diversos *softwares* de renome estão disponíveis para comparação. Exemplos de dados de entrada para casos BESTEST estão disponíveis para várias ferramentas de simulação de edifícios e em diferentes *sites* de tecnologias da informação e comunicação (TIC).

A ausência de critérios de conformidade e tolerâncias de desvio é uma desvantagem do conjunto de testes ANSI/ASHRAE 140. Ao mesmo tempo, os resultados disponíveis de *softwares* de renome não são os melhores resultados por si, porque cada uma dessas ferramentas tem seu tipo específico de aplicação e escopo com limitações específicas. Essa desvantagem não é um problema importante para este documento, porque os critérios de conformidade e as tolerâncias de desvio dependem muito da área de aplicação. A ISO 52016-1 é uma Norma Internacional com procedimentos de cálculo adaptados a áreas



de aplicação específicas, com base nos procedimentos de cálculo genéricos deste Documento. Como consequência, os casos BESTEST mais pertinentes foram adotados na ISO 52016-1. Os resultados destinam-se à verificação e validação dos procedimentos de cálculo horário da ISO 52016-1.

8 Verificação de conformidade

Não aplicável.

NOTA Esta seção é incluída para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.



Anexo A (normativo)

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

A.1 Generalidades

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

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

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

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

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

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

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

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

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

A.2 Referências

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



Tabela A.1 — Referências

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

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

A.3 Seleção de métodos

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

A.4 Dados de entrada

Neste documento, não há necessidade de especificar os dados de entrada. A seção A.4 é incluída para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

Anexo B (informativo)

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

B.1 Generalidades

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

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

NOTA 2 As definições-padrão informativas são dadas no Anexo B. Valores e opções alternativos podem ser impostos por regulamentos nacionais/regionais. Se os valores-padrão e as definições do Anexo B não forem adotados devido aos regulamentos, políticas ou tradições nacionais/regionais, espera-se que:

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

NOTA 3 O modelo do Anexo A pode ser adotado em diferentes aplicações (por exemplo, projeto de um novo edifício, certificação de um novo edifício, renovação de um edifício existente e certificação de um edifício existente) e para diferentes tipos de edifícios ou edifícios simples e edifícios grandes ou complexos). Uma distinção de valores e definições para diferentes aplicações ou tipos de construção pode 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), numerada 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 anexos serão numerados consecutivamente (Anexo NA, Anexo NB, Anexo NC etc.).

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

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

Os campos sombreados nas tabelas fazem parte do modelo e, conseqüentemente, não são abertos para entrada.

B.2 Referências

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



Tabela B.1 — Referências

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

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

B.3 Seleção de métodos

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

B.4 Dados de entrada

Neste documento, não há necessidade de especificar os dados de entrada. B.4 é incluída para manter a uniformidade entre todas as normas DEE.

Bibliografia

- [1] ISO 13791:2012, *Thermal performance of buildings — Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling — General criteria and validation procedures*
- [2] ISO 13792:2012, *Thermal performance of buildings — Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling – Simplified methods*
- [3] ISO/TR 52016-2, *Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 2: Explanation and justification of ISO 52016-1 and ISO 52017-1*
- [4] CEN/TS 16628, *Energy Performance of Buildings — Basic principles for the set of EPB standards*
- [5] CEN/TS 16629, *Energy Performance of Buildings — Detailed technical rules for the set of EPB standards*
- [6] ISO/TR 52000-2, *Energy performance of buildings — Overarching EPB assessment — Part 2: Explanation and justification of ISO 52000-1*
- [7] Mandate M480, Mandate to CEN, CENELEC and ETSI for the elaboration and adoption of standards for a methodology calculating the integrated energy performance of buildings and promoting the energy efficiency of buildings, in accordance with the terms set in the recast of the Directive on the energy performance of buildings (2010/31/EU) of 14th December 2010
- [8] EPBD, Recast of the Directive on the energy performance of buildings (2010/31/EU) of 14th December 2010
- [9] ANSI/ASHRAE standard 140, *Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs*, 2014

NOTA Ver ISO/TR 52016-2 ^[3], que acompanha este documento, para outras referências informativas.