

Primeira edição  
04.08.2008

Válida a partir de  
04.09.2008

---

**Instalações de ar-condicionado – Sistemas  
centrais e unitários  
Parte 2: Parâmetros de conforto térmico**

*Central and unitary air conditioning systems  
Part 2: Thermal comfort*

Palavras-chave: Ar-condicionado. Conforto térmico. Temperatura operativa.  
*Descriptors: Air conditioning. Thermal comfort. Operative temperature.*

ICS 91.140.30

**ISBN 978-85-07-00890-3**



Número de referência  
ABNT NBR 16401-2:2008  
7 páginas

© ABNT 2008

Todos os direitos reservados. A menos que especificado de outro modo, nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida ou utilizada por qualquer meio, eletrônico ou mecânico, incluindo fotocópia e microfilme, sem permissão por escrito pela ABNT.

ABNT

Av.Treze de Maio, 13 - 28º andar

20031-901 - Rio de Janeiro - RJ

Tel.: + 55 21 3974-2300

Fax: + 55 21 2220-1762

[abnt@abnt.org.br](mailto:abnt@abnt.org.br)

[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)

Impresso no Brasil

## Sumário

Página

<b>Prefácio .....</b>	<b>iv</b>
<b>1 Escopo .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Termos e definições .....</b>	<b>1</b>
<b>3 Fatores que afetam o conforto térmico .....</b>	<b>2</b>
<b>4 Avaliação das condições de conforto térmico .....</b>	<b>3</b>
<b>5 Parâmetros de conforto .....</b>	<b>3</b>
<b>5.1 Verão (roupa típica 0,5 clo) .....</b>	<b>3</b>
<b>5.2 Inverno (roupa típica 0,9 clo) .....</b>	<b>3</b>
<b>5.3 Limitações .....</b>	<b>4</b>
<b>5.4 Outras condições operacionais .....</b>	<b>4</b>
<b>5.4.1 Maior velocidade do ar .....</b>	<b>4</b>
<b>5.4.2 Maior nível de atividade e outros tipos de roupa .....</b>	<b>4</b>
<b>6 Avaliação e controle .....</b>	<b>4</b>
<b>6.1 Avaliação .....</b>	<b>4</b>
<b>6.2 Localização dos pontos de medição .....</b>	<b>5</b>
<b>6.3 Instrumentação .....</b>	<b>5</b>
<b>Bibliografia .....</b>	<b>7</b>

## Prefácio

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB), dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS) e das Comissões de Estudo Especiais (ABNT/CEE), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidade, laboratório e outros).

Os Documentos Técnicos ABNT são elaborados conforme as regras das Diretivas ABNT, Parte 2.

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

A ABNT NBR 16401-2 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Refrigeração, Ar-condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABNT/CB-55), pela Comissão de Estudo de Sistemas Centrais, Condicionamento de Ar e Ventilação Comercial (CE-55:002.03). O Projeto circulou em Consulta Nacional conforme Edital nº 03, de 21.02.2008 a 22.04.2008, com o número de Projeto 55:002.03-001-2.

Esta Norma cancela e substitui a ABNT NBR 6401:1980.

A ABNT NBR 16401, sob o título geral “Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários”, tem previsão de conter as seguintes partes:

- Parte 1: Projeto das instalações;
- Parte 2: Parâmetros de conforto térmico;
- Parte 3: Qualidade do ar interior.

O Escopo desta Norma Brasileira em inglês é o seguinte:

### **Scope**

*This part of ABNT NBR 16401 specifies the conditions of the internal environment for thermal comfort in air conditioned spaces.*

*NOTE The feeling of thermal comfort is essentially subjective. Due to the large individual variations, physiological and psychological, it is not possible to establish thermal environmental conditions to provide comfort for 100 % of persons.*

*The conditions specified in this part of ABNT NBR 16401 define the thermal environment in which a majority of 80%, from a group of people homogeneous as to physical activity and type of clothing, are likely to express satisfaction about thermal comfort.*

*This part of ABNT NBR 16401 applies to healthy adults, in the conditioned space for more than 15 min.*

# Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários

## Parte 2: Parâmetros de conforto térmico

### 1 Escopo

1.1 Esta parte da ABNT NBR 16401 especifica os parâmetros do ambiente interno que proporcionem conforto térmico aos ocupantes de recintos providos de ar-condicionado.

NOTA A sensação de conforto térmico é essencialmente subjetiva. Devido às grandes variações individuais, fisiológicas e psicológicas, não é possível determinar condições que possam proporcionar conforto para 100 % das pessoas.

1.2 Os parâmetros estipulados nesta parte da ABNT NBR 16401 definem o ambiente térmico em que uma maioria de 80 % ou mais das pessoas, de um grupo homogêneo em termos de atividade física e tipo de roupa usada, é suscetível de expressar satisfação em relação ao conforto térmico.

1.3 Esta parte da ABNT NBR 16401 se aplica a pessoas adultas, em boa saúde, que estejam no recinto há mais de 15 min.

### 2 Termos e definições

Para os efeitos desta parte da ABNT NBR 16401, aplicam-se os seguintes termos e definições.

2.1

**assimetria da temperatura radiante**

diferença entre a temperatura radiante plana dos lados opostos de um pequeno elemento plano

2.2

**isolamento de roupa**

resistência à troca de calor entre o corpo humano e o ambiente térmico devido à vestimenta

2.3

**metabolismo**

taxa de transformação de energia química em calor e trabalho mecânico por atividades metabólicas no organismo. Normalmente expresso em termos de taxa de transferência de calor (Watts) por área de troca de calor do corpo humano (metros quadrados)

2.4

**parâmetros ambientais**

parâmetros do ambiente térmico que afetam a sensação de conforto

2.5

**temperatura do ar**

temperatura de bulbo seco do ar no entorno dos ocupantes

2.6

**temperatura de globo**

temperatura medida no interior de um globo metálico de 150 mm de diâmetro, pintado de preto (emissividade igual a 0,95), parede fina

**2.7**

**temperatura operativa**

temperatura uniforme de um ambiente imaginário, no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor por radiação e convecção que no ambiente não uniforme real

**2.8**

**temperatura radiante média**

temperatura uniforme da superfície de um ambiente imaginário no qual uma pessoa trocaria a mesma quantidade de calor radiante que no recinto real não uniforme

**2.9**

**temperatura radiante plana**

temperatura uniforme de um ambiente no qual o fluxo radiante incidente sobre um lado de um pequeno elemento plano é o mesmo que no ambiente considerado

**2.10**

**turbulência do ar**

relação do desvio-padrão da velocidade para a velocidade média do ar. O fator de turbulência é geralmente expresso em porcentagem

**2.11**

**velocidade do ar**

taxa de movimentação do ar em um determinado ponto, sem considerar a direção

**2.12**

**zona ocupada**

região do recinto normalmente ocupada por pessoas, compreendida entre o piso e 1,8 m, e afastada mais de 0,3 m das paredes internas, e mais de 1,0 m das paredes e janelas externas e de componentes dos sistemas de ar condicionado

### **3 Fatores que afetam o conforto térmico**

**3.1** Os parâmetros ambientais que afetam o conforto térmico são:

- a temperatura operativa;
- a velocidade do ar;
- a umidade relativa do ar.

**3.2** Os valores destes parâmetros que definem condições de conforto térmico dependem dos seguintes fatores pessoais:

- o tipo de roupa usado pelas pessoas, que determina a resistência térmica média à troca de calor do corpo com o ambiente, expressa em "clo" ( $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ );
- o nível de atividade física das pessoas, que determina sua taxa de metabolismo, geralmente expressa em "met" ( $1 \text{ met} = 58,2 \text{ W/m}^2$ ). Admitindo uma superfície média de  $1,8 \text{ m}^2$  para o corpo de um adulto, 1 met é equivalente a aproximadamente 105 W.

A resistência térmica de diversos tipos de roupa e as taxas de metabolismo para diversos tipos de atividade estão indicadas na Referência Bibliográfica [1].

## 4 Avaliação das condições de conforto térmico

**4.1** As sensações térmicas são avaliadas numericamente pela escala ASHRAE, em que 0 indica sensação neutra, + 1, + 2 e + 3 sensação de levemente quente a muito quente, e - 1, - 2 e - 3, sensação de levemente frio a muito frio. Avaliação entre - 0,5 e + 0,5 é considerada indicação aceitável de conforto térmico.

**4.2** Estudos teóricos e pesquisas de laboratório permitem prever, em grupos homogêneos em termos de atividade física e tipo de roupa usada, a porcentagem das pessoas que expressaria determinada avaliação da sensação térmica em determinadas condições ambientais.

## 5 Parâmetros de conforto

Esta parte da ABNT NBR 16401 estipula os parâmetros ambientais suscetíveis de produzir sensação aceitável de conforto térmico em 80 % ou mais das pessoas.

Os parâmetros estipulados em 6.1 e 6.2 são válidos para grupos homogêneos de pessoas, usando roupa típica da estação e em atividade sedentária ou leve (1,0 met a 1,2 met).

Estes parâmetros se enquadram nas zonas de conforto estipuladas pela ASHRAE para estes mesmos fatores pessoais, conforme Referência Bibliográfica [2].

### 5.1 Verão (roupa típica 0,5 clo)

Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por:

- 22,5 °C a 25,5 °C e umidade relativa de 65 %;
- 23,0 °C a 26,0 °C e umidade relativa de 35 %.

A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:

- 0,20 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30 % a 50 %);
- 0,25 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10 %).

### 5.2 Inverno (roupa típica 0,9 clo)

Temperatura operativa e umidade relativa dentro da zona delimitada por:

- 21,0 °C a 23,5 °C e umidade relativa de 60 %;
- 21,5 °C a 24,0 °C e umidade relativa de 30 %.

A velocidade média do ar (não direcional) na zona de ocupação não deve ultrapassar:

- 0,15 m/s para distribuição de ar convencional (grau de turbulência 30 % a 50 %);
- 0,20 m/s para distribuição de ar por sistema de fluxo de deslocamento (grau de turbulência inferior a 10 %).

### **5.3 Limitações**

A diferença entre as temperaturas num plano vertical entre 0,1 m e 1,1 m do solo (entre tornozelos e cabeça de pessoas sentadas) deve ser inferior a 3 K.

A variação gradual e contínua da temperatura (passiva ou intencional) não deve ultrapassar a taxa de 0,5 K por hora, sendo que a temperatura final resultante não deve se distanciar dos limites de temperatura estipulados em 6.1 e 6.2 em mais de 0,5 K, nem permanecer neste nível por mais de 1 h.

A assimetria da temperatura radiante admissível deve ser inferior a:

- 5 K para forro quente;
- 14 K para forro frio;
- 23 K para parede quente;
- 10 K para parede fria.

Não pode haver correntes de ar localizadas, em direção à nuca ou aos tornozelos das pessoas, com velocidade superior à velocidade média estipulada em 6.1 ou 6.2.

### **5.4 Outras condições operacionais**

#### **5.4.1 Maior velocidade do ar**

Uma elevação da velocidade do ar acima dos parâmetros estipulados nesta parte da ABNT NBR 16401 pode ser utilizada para compensar uma elevação do limite superior admissível da temperatura do ar.

A elevação do limite superior da temperatura não pode ultrapassar 3 K e a velocidade do ar não deve ser elevada acima de 0,8 m/s. É recomendável nestes casos que a velocidade do ar possa ser controlada diretamente pelas pessoas afetadas.

#### **5.4.2 Maior nível de atividade e outros tipos de roupa**

Os limites das zonas de conforto estipulados em 6.1 e 6.2 podem ser reduzidos em 1,4 K por met acima de 1,2 met.

Podem ser elevados em 0,6 K para cada redução na resistência térmica da roupa de 0,1 clo, ou reduzidos em 0,6 K para cada elevação de 0,1 clo.

## **6 Avaliação e controle**

### **6.1 Avaliação**

A conformidade dos parâmetros ambientais com os recomendados nesta parte da ABNT NBR16401 deve ser avaliada:

- quando da colocação em serviço das instalações novas e após a execução de reformas ou modificações dos locais ou do sistema, como parte das providências de ensaio, ajustes e balanceamento (TAB);
- sempre que houver suspeita de desvio, queixa ou contestação.

## 6.2 Localização dos pontos de medição

**6.2.1** As medições de temperaturas e velocidades devem ser feitas no centro da zona ocupada e nos pontos da zona ocupada onde os valores mais desfavoráveis dos parâmetros são suscetíveis de ocorrer, tais como na proximidade de janelas, bocas de ar, portas de acesso.

**6.2.2** As medições de temperatura de globo e de assimetria da temperatura radiante devem ser feitas a 0,6 m do piso para pessoas sentadas e a 1,1 m do piso para pessoas de pé.

**6.2.3** As medições de temperatura e de velocidade média devem ser feitas a 0,1 m e 1,1 m do piso para pessoas sentadas e a 1,7 m do piso para pessoas em movimento.

**6.2.4** As medições de umidade relativa devem ser feitas em quatro medições sucessivas com intervalo de 5 min. em um ponto representativo de cada zona ocupada.

## 6.3 Instrumentação

**6.3.1** Os instrumentos devem ser calibrados segundo a recomendação dos fabricantes, em estabelecimentos pertencentes à Rede Brasileira de Calibração (RBC).

**6.3.2** A temperatura do ar deve ser medida por termômetro com faixa até 0 °C a 70 °C e resolução de  $\pm 0,5$  °C, ou preferivelmente de  $\pm 0,2$  °C.

O sensor deve ser protegido da influência da radiação solar, superfícies frias ou quentes, e outras fontes de radiação.

**6.3.3** A temperatura operativa é determinada pela equação:

$$t_o = C t_{ar} + (1 - C) \bar{t}_r \quad (1)$$

onde:

$t_o$  é a temperatura operativa;

$t_{ar}$  é a temperatura do ar;

$\bar{t}_r$  é a temperatura radiante média;

$C$  é o parâmetro extraído da Tabela 1, em função da velocidade relativa do ar, expresso em metros por segundo (m/s).

**Tabela 1 – Parâmetro C em função da velocidade**

$V_{ar}$	< 0,2	0,2 a 0,6	0,6 a 1,0
C	0,5	0,6	0,7

No caso de ambientes com velocidades do ar baixas ( $V_{ar} < 0,2$  m/s), ou onde a diferença entre a temperatura radiante média e a temperatura do ar é  $< 4$  °C, a temperatura operativa pode ser calculada com suficiente aproximação como a média aritmética da temperatura do ar e a temperatura radiante média:

$$t_o = \frac{t_{ar} + \bar{t}_r}{2} \quad (2)$$

**6.3.4** A temperatura radiante média ( $\bar{t}_r$ ) é calculada a partir de medições de temperatura de globo ( $t_g$ ), temperatura do ar ( $t_{ar}$ ) e velocidade do ar ( $V_{ar}$ ). Com a combinação destas medidas, pode-se estimar o valor da temperatura radiante média, usando-se as equações (3) e (4), que se baseiam no balanço das trocas térmicas entre o globo e o ambiente.

Para  $h_1 > h_2$ :

$$\bar{t}_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 |t_g - t_{ar}|^{\frac{1}{4}} (t_g - t_{ar}) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (3)$$

Para  $h_1 \leq h_2$ :

$$\bar{t}_r = \left[ (t_g + 273)^4 + 2,5 \cdot 10^8 V_{ar}^{0,6} \cdot (t_g - t_{ar}) \right]^{\frac{1}{4}} - 273 \quad (4)$$

onde  $t_{ar}$  e  $t_g$  são dados em graus Celsius (°C). Os coeficientes de convecção  $h_1$  e  $h_2$  são calculados por:

$$h_1 = 1,4 \left( \frac{t_g - t_{ar}}{D} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

$$h_2 = 6,3 \frac{V_{ar}^{0,6}}{D^{0,4}} \quad (6)$$

onde D é o diâmetro do globo, expresso em metros (m) (D = 0,15 m).

**6.3.5** A umidade relativa do ar pode ser medida:

- por higrômetro de leitura direta com faixa de 5 % a 95 % e resolução de  $\pm 5\%$ ;
- indiretamente, por psicrômetro com termômetros de bulbo seco e úmido, de faixa e resolução como definidas em 6.3.2, sendo a umidade relativa lida em carta psicrométrica para a altitude do local.

**6.3.6** Velocidade do ar deve ser medida por termoanemômetro com faixa de 0,1 m/s a 0,5 m/s e resolução de  $\pm 0,05$  m/s.

NOTA Anemômetros de pás não são apropriados para medir as baixas velocidades das correntes de ar ambiente.

## Bibliografia

[1] ASHRAE Handbook Fundamentals 2005 – Cap. 8 – Thermal comfort

- Table 4 – Typical Metabolic Rates for Various Activities.
- Table 8 – Garment Insulation Values.

American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc. – 1791 Tullie Circle, N.E. Atlanta GA 30329

[2] ASHRAE Handbook Fundamentals 2005 – Cap. 8 – Thermal comfort

- Figure 5 – ASHRAE Summer and Winter Comfort Zones

American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc. – 1791 – Tullie Circle, N.E. Atlanta GA 30329