

## TEMPERATURA DE PROJETO PARA CONDICIONAMENTO DE AR – UMA NOVA PROPOSTA

**José R. Camargo** - [ru@engenh.mec.unitau.br](mailto:ru@engenh.mec.unitau.br)

Universidade de Taubaté - Departamento de Engenharia Mecânica  
Rua Daniel Danelli, s/n. - Jardim Morumbí  
12060-440 – Taubaté – SP

**Sebastião Cardoso** - [cardoso@prppg.unitau.br](mailto:cardoso@prppg.unitau.br)

Universidade de Taubaté - Departamento de Engenharia Mecânica  
Rua Daniel Danelli, s/n. - Jardim Morumbí  
12060-440 – Taubaté – SP

**Jerônimo S. Travelho** - [jeff@lac.inpe.br](mailto:jeff@lac.inpe.br)

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
Av. dos Astronautas, 1758  
12201-970 – São José dos Campos – SP

**Resumo.** A ABNT -Associação Brasileira de Normas Técnicas - apresenta, na NBR-6401 (Instalações Centrais de Ar Condicionado para Conforto – Parâmetros Básicos de Projeto), em sua tabela 1 (Condições internas para verão), a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa a serem utilizadas para projeto. Para instalações com a finalidade de conforto em residências, hotéis, escritórios e escolas esses valores são, respectivamente, 23°C a 25°C e 40% a 60%. Esses dados estão consistentes com os valores de projeto da ASHRAE, que foram estabelecidos de acordo com padrões americanos. Neste trabalho apresenta-se uma nova proposta de temperatura de projeto para condicionamento de ar, que leva em conta as condições climatológicas brasileiras. O método, denominado “distribuição da temperatura efetiva”, compara a máxima temperatura efetiva recomendada para cada localidade com a temperatura de bulbo seco e com as temperaturas efetivas plotadas em um gráfico. Ele pode ser utilizado para o planejamento energético, possibilitando a minimização do uso de energia elétrica para o condicionamento de ar. Conclui-se que o método permite uma análise bastante precisa tanto dos níveis de temperatura quanto dos períodos de utilização de sistemas de condicionamento de ar.

**Palavras-chave:** Ar condicionado, conforto térmico, temperatura efetiva.

### 1. INTRODUÇÃO

Analisando as referências bibliográficas relacionadas à projetos de condicionamento de ar constata-se que no Brasil, utilizam-se dados climatológicos de projeto da ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers), que foram estabelecidos de acordo com padrões americanos. Isso pode levar, como consequência, a um superdimensionamento ou subdimensionamento dos sistemas pois não se leva em conta o fato de que o Brasil é um país de clima equatorial/tropical com variação anual de temperatura não muito pronunciadas. No Brasil, o efeito da radiação solar é mais intenso que nos EUA na

maior parte do ano, e o período mais quente, em algumas regiões, não corresponde àquele definido como verão.

Ayode (1986, p.10-11) cita que “comparadas com as áreas temperadas, as áreas tropicais ressentem-se da cobertura insuficiente de dados, do parco desenvolvimento de modelos locais e de técnicas analíticas para estudar e analisar o tempo e o clima predominantes”.

## 2. ASPECTOS DE CONFORTO PARA CONDICIONAMENTO DE AR

Os principais parâmetros utilizados para avaliar os aspectos de conforto para condicionamento de ar são: temperatura efetiva, índice de desconforto, índice de resfriamento pela movimentação do ar, ano climático de referência e temperaturas de projeto.

### 2.1. Temperatura Efetiva

A condição de conforto, é em geral, função da temperatura, da umidade e da velocidade do ar, são propriedades que podem variar de forma independente, porém, é necessário considerar a contribuição simultânea de cada uma para avaliar a sensação de frio ou calor sentida pelas pessoas. A *Temperatura Efetiva* é uma composição desses fatores. Desenvolvida através de testes pelo ASHRAE Research Laboratory a temperatura efetiva tenta medir a temperatura na qual “a maioria das pessoas se sente bem”, levando em conta o tempo de exposição e os efeitos da umidade e da movimentação do ar. Ela resultou de testes realizados por Yaglou, em 1923, na cidade de Pittsburgh, EUA e o resultado desses testes foi a Carta de Conforto ASHRAE (Fig. 1). Apesar de ter sido feita em Pittsburgh, com trabalhadores homens usando roupas para residência ou escritório, ela resultou no mais conhecido índice sobre condições internas desejáveis, e é utilizada por toda a indústria de condicionamento de ar.

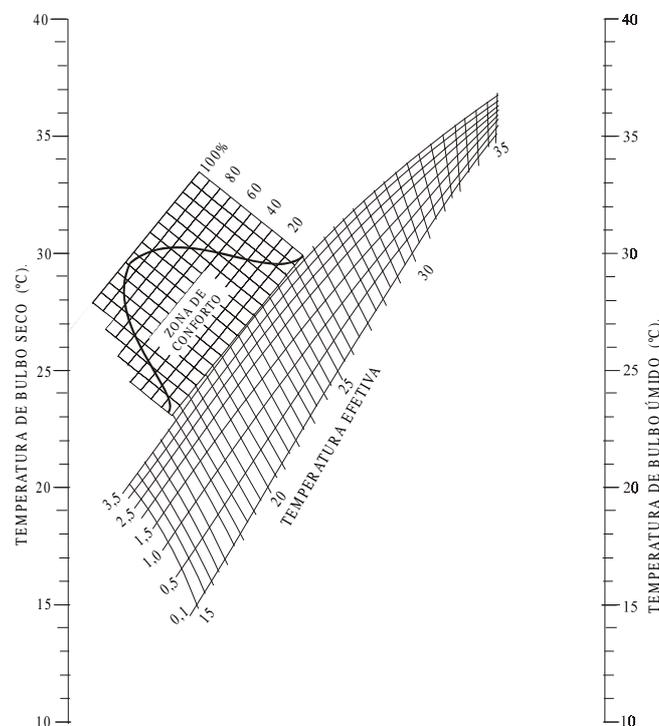


Figura 1 – Carta de conforto ASHRAE

Esta carta é apresentada como um nomograma de modo a facilitar a resolução de problemas de conforto. Os dois eixos à esquerda e à direita representam, respectivamente, as

temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido do ar. Entre elas, no meio do nomograma, aparecem as linhas que representam as velocidades do ar, variando desde 0,1 m/s até 3,5 m/s. Para determinar a temperatura efetiva liga-se a temperatura de bulbo seco à temperatura de bulbo úmido através de uma linha reta. Do ponto onde esta linha cruza a linha de velocidade do ar lê-se, na escala inferior, a temperatura efetiva.

Na parte superior das linhas de velocidades é mostrada uma zona de conforto e a pequena escala a direita dessa zona representa o percentual de pessoas que se sentem confortáveis naquela respectiva temperatura efetiva.

Como a carta de temperaturas efetivas da ASHRAE não leva em conta a quantidade de radiação solar incidente, um aumento de aproximadamente 0,5 °C deve ser feito na temperatura efetiva para cada 5 graus de redução na latitude norte a partir da latitude de 41° (Watt, 1963, p. 34 e Watt e Brown, 1997, p. 37), ou seja, a zona de conforto mostrada na Fig. 1 se move para a direita de aproximadamente 0,5 °C a cada redução de 5° na latitude.

A temperatura efetiva é sempre menor do que a lida no termômetro de bulbo seco; sendo iguais somente para a umidade relativa de 100% (ar saturado).

Landsberg (1972), Hentschel (1986) e Taesler (1987) concluíram que o conceito da temperatura efetiva, devido à sua simplicidade de aplicação, é o melhor índice disponível para avaliar as condições bioclimáticas humanas. Isso se deve à sua fácil aplicação em termos de dados necessários, à simplicidade de seu conceito, à sua capacidade de detectar variações geográficas de bioclima e porque é associada à fatores fisiológicos e patológicos que influenciam no conforto térmico humano e na saúde.

Watt e Brown (1997, p. 37) apresentam tabelas onde demonstram que as preferências de conforto variam com o sexo, a idade, a localização geográfica e a duração da exposição. Assim, as mulheres preferem ambientes aproximadamente 0,6 °C mais quentes que os homens. Pessoas expostas continuamente a um ambiente condicionado preferem uma temperatura 0,6 °C mais baixa que aquelas expostas por 30 minutos ou menos (Tabela 1). Habitantes de áreas desérticas, tropicais e sub-tropicais preferem temperaturas relativamente altas e moradores de áreas montanhosas preferem temperaturas mais baixas.

Tabela 1. Temperatura efetiva em função da idade e da ocupação

TEMPERATURAS EFETIVAS INTERNAS RECOMENDADAS PARA CONFORTO NO VERÃO EM ÁREAS TROPICAIS E SUB-TROPICAIS (°C)						
Homens		Mulheres		Ocupação contínua		Ocupação Ocasional
<40	>40	<40	>40	Todos	Todos	Todos
21,7	22,2	22,2	22,8	22,2	23,9	24,5

Creder (1996, p.90) apresenta uma indicação para as temperaturas e umidades relativas em função da permanência em um recinto com ar condicionado, buscando evitar o choque térmico que se verifica à entrada ou saída do mesmo (Tabela 2).

Tabela 2. Temperatura efetiva em função do tempo de permanência

PERMANÊNCIA	TBS °C	UR	TEMP.EFET. °C
Mais de 3 horas	25,5	55%	22,7
Entre 45 minutos e 3 horas	26,6	50%	23,3
Menos de 45 minutos	27,7	45%	23,8

## 2.2. Índice de desconforto de Thom:

Thom (1959) definiu um índice de desconforto (ID) dado pela expressão:

$$ID = 0,4(T_d + T_w) + 4,8$$

onde  $T_d$  e  $T_w$  são as temperaturas de bulbo seco e úmido em °C.

Quando os valores de ID são maiores que 26,7 todas as pessoas sentem-se desconfortáveis devido à alta temperatura e umidade. Quando ID está entre 23,9 e 26,7 aproximadamente metade das pessoas sente-se desconfortável e entre 18,4 e 23,9 as pessoas se sentem totalmente confortáveis. Entre 18,4 e 15,6 aproximadamente metade das pessoas se sente desconfortável devido à condição seca e fria e quando o índice de Thom está abaixo de 15,6 todos se sentem desconfortáveis (Lakshmanan, 1984).

## 2.3. Índice de resfriamento pelo vento (WCI)

O índice de resfriamento pelo vento (*wind chill index*) foi introduzido por Siple e Passel após uma série de medidas de resfriamento atmosférico realizadas na Antártica em 1941 (Brauner e Shacham, 1995). Foi medida a taxa de congelamento de 1 litro de água colocado em um cilindro plástico com 129,61 mm de diâmetro e 149,22 mm de comprimento suspenso no Polo Norte, ao nível do teto de uma residência. As medidas foram feitas em temperaturas ambientes entre -56 °C e -9 °C e com velocidades do vento de 1 a 15 m/s. Com base nessas medidas o índice de resfriamento pelo vento foi calculado pela seguinte equação:

$$WCF = \frac{\Delta H / t}{(T_f - T_a)}$$

onde  $\Delta H$  é o calor latente de fusão da água (333,5 kJ/kg),  $t$  é o tempo total de congelamento e  $T_f$  é a temperatura de congelamento da água (0 °C).

Siple e Passel relacionaram a WCF à velocidade do vento e encontraram a melhor correlação, dada por:

$$WCI = WCF(T_s - T_a) = (10,45 + 10\sqrt{V - V_0})(T_s - T_a)$$

onde  $V$  = velocidade do vento (m/s)

$T_s$  = temperatura da pele (°C)

$T_a$  = temperatura ambiente (°C)

WCI = índice de resfriamento pelo vento (kcal/h m<sup>2</sup>)

Para a temperatura da pele, Siple e Passel recomendam o uso de  $T_s = 33$  °C, considerada a temperatura da pele mais confortável. Da equação acima eles prepararam uma escala entre  $WCI = 100$  kcal/h m<sup>2</sup> (116 W/m<sup>2</sup>) o qual foi considerado quente, até  $WCI = 2300$  kcal/h m<sup>2</sup> (2674,4 W/m<sup>2</sup>) onde a pele de um indivíduo médio exposta congelará em menos de 0,5 min.

## 2.4 Zona de conforto

Uma carta psicrométrica modificada, incluindo a zona de conforto da ASHRAE é mostrada na Fig. 2 (ASHRAE Handbook Applications, 1995, p.47.7).

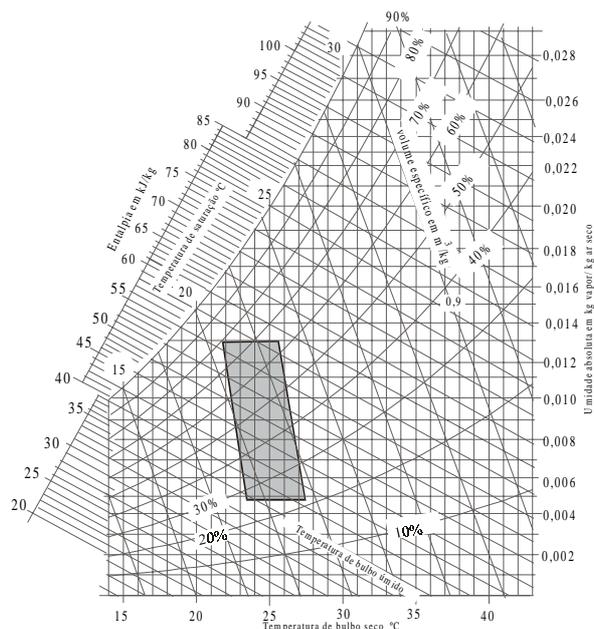


Figura 2 – Zona de conforto ASHRAE para inverno e verão de acordo com a temperatura efetiva.

## 2.5 Temperatura de projeto ASHRAE

Antigamente projetava-se sistemas de condicionamento de ar de acordo com “Temperaturas Externas de Projeto”, as quais eram baseadas na experiência e onde as temperaturas de bulbo seco e úmido utilizadas eram aproximadamente as mais altas registradas no local. Isto provocava uma tendência a especificar equipamentos superdimensionados. A ASHRAE possibilitou uma correção desse desvio apresentando tabelas que permitem uma escolha ao usuário de temperaturas de projeto (ASHRAE Handbook Fundamentals, 1993, cap.28). Este método de selecionar a temperatura de projeto baseia-se na suposição de que o nível de frequência de uma temperatura específica em um determinado período de tempo se repetirá no futuro. Os três níveis de frequência de ocorrência representam temperaturas de bulbo seco que são igualadas ou excedidas por 1%, 2,5% e 5% do número total de horas dos meses de verão, de dezembro a março no hemisfério Sul (121 dias, num total de 2904 horas), no ano climático de referência. O nível de 1%, por exemplo, representa o valor de temperatura que é igualada ou excedida somente por 1% do total de horas. Assim, no verão haverá, por exemplo, 29,04 horas com temperaturas iguais ou superiores ao valor correspondente a 1%. O método considera, portanto, somente os dias quentes de cada mês (Goulart et al., 1998). Para cada temperatura de bulbo seco de projeto de verão determina-se a média de todas as temperaturas de bulbo úmido ocorridas com as respectivas temperaturas de bulbo seco de cada hora para os três níveis de frequência calculados. Assim, também são encontradas e computadas as TBU que representam valores que são igualados ou excedidos por 1%, 2,5% e 5% das horas durante os meses de verão. Esses valores são utilizados como condições externas de projeto.

Para as condições internas a ABNT apresenta, na NBR-6401, em sua tabela 1, a temperatura de bulbo seco e a umidade relativa a serem utilizadas para projeto. Para instalações com a finalidade de conforto em residências, hotéis, escritórios e escolas esses valores são, respectivamente, 23° C a 25° C e 40% a 60%. Esses dados estão consistentes com

os valores de projeto apresentados pela ASHRAE, que foram estabelecidos levando em consideração padrões bioclimáticos americanos.

### 3. Distribuição horária da temperatura efetiva

Este método, desenvolvido e apresentado aqui, baseia-se nos trabalhos de Chowdhury e Ganesan (1983), Robinson (1989) e Jauregui (1991) e utiliza as informações climatológicas locais, plotadas em um gráfico, para determinar a temperatura efetiva que pode ser conseguida por um equipamento de resfriamento evaporativo particular para aquela localidade em cada hora do dia. A principal proposta desse método é ilustrar o padrão da distribuição da TE e identificar mais precisamente os períodos de conforto (ou de desconforto) ambiental em uma dada localidade. Em adição, como notado por Chowdhury e Ganesan (1983) ele também pode ser utilizado para o planejamento da utilização ótima e exploração das possibilidades de minimização do uso de energia elétrica para o condicionamento do ar, mantendo, no entanto, as pessoas em um estado de conforto fisiológico.

Para um país de dimensões continentais como o Brasil, as diferenças entre as estações não são muito pronunciadas e os meses de dezembro a março, definidos como verão, não correspondem necessariamente ao período mais quente do ano e assim, deve-se fazer um estudo climático para cada caso particular.

A Fig. 3 ilustra esse fato e mostra exemplos de variações sazonais da temperatura para algumas cidades situadas em latitudes altas e baixas. Pode-se notar que essas variações sazonais aumentam com a latitude. As curvas de temperatura para Belém (latitude  $01^{\circ}23'$ ) e São Luiz (latitude  $02^{\circ}35'$ ) são típicas da zona equatorial. Como o sol está alto durante o ano todo, as variações de temperatura são bastante pequenas (pequena amplitude térmica). O conforto humano é determinado mais pela umidade que pela temperatura. Com o aumento da latitude existem variações mais amplas na altitude do sol durante o ano e ocorrem maiores variações anuais de temperatura. Na região Sul pode-se notar a transição para o clima temperado, com uma variação um pouco mais nítida entre as quatro estações. A amplitude térmica anual é mais significativa (próxima de  $10^{\circ}\text{C}$ ).

Uma outra característica de climas equatoriais-tropicais é a maior variação diurna de temperatura comparada com a variação anual, ou seja, as variações diurnas podem igualar ou superar as variações anuais (McGregor, 1995).

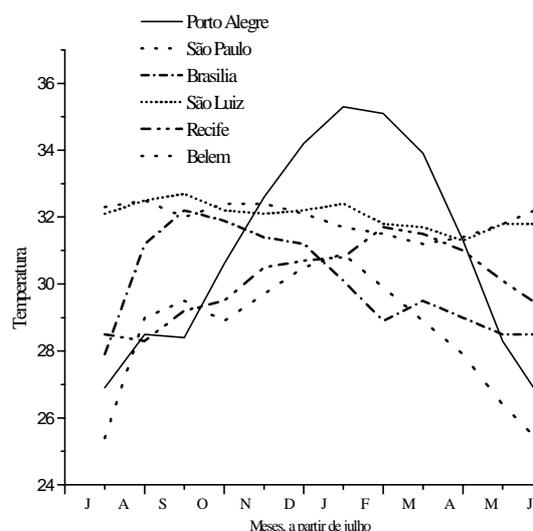
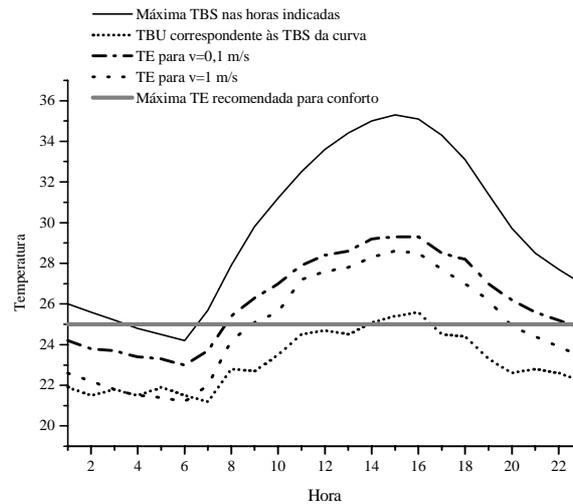


Figura 3 – Variação anual de temperatura

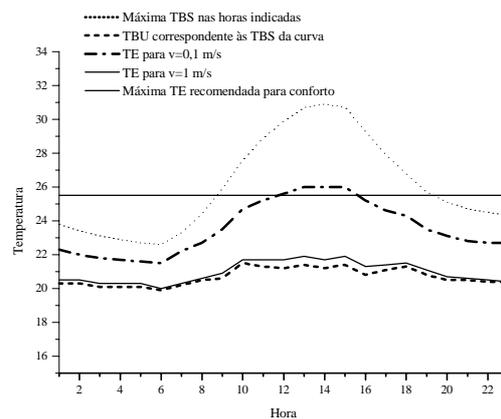
Pode-se notar, pela Fig. 3, que o período mais quente ocorre em janeiro para Porto Alegre (latitude 30°00') e São Paulo (latitude 23°37'), em setembro para Brasília (latitude 15°52') e São Luiz, em fevereiro para Recife (latitude 08°08') e em agosto para Belém.

Esse método, ilustrado pelas Figs. 4(a) e 4(b), consiste em plotar as temperaturas no eixo vertical e o tempo no eixo horizontal. Para exemplificar foram escolhidas aleatoriamente duas cidades, Porto Alegre e São Paulo. As temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido são as de um dia mensal típico para o mês mais quente do ano, nível 1%.

São plotadas as seguintes curvas: a) máxima temperatura de bulbo seco registrada nas horas indicadas, b) as correspondentes temperaturas de bulbo úmido, c) a temperatura efetiva quando o ar se move sobre as pessoas a 0,1 m/s com as mesmas TBS e TBU anteriores, d) a temperatura efetiva para o ar movendo-se a 1,0 m/s (ventilação pura), e) a máxima temperatura efetiva recomendada para conforto.



(a) Porto Alegre



(b) São Paulo

Figura 4 – Temperatura efetiva para um dia mensal típico ( mês mais quente)

Comparando a máxima temperatura efetiva recomendada para conforto para cada localidade com as demais temperaturas plotadas pode-se determinar os períodos em que algum tipo de condicionamento do ar é necessário. Esses períodos são aqueles em que a temperatura efetiva ultrapassa os valores recomendados. Através das curvas pode-se analisar

os valores da temperatura efetiva em cada período visando a economia de energia e/