

Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações

Tulio Cesar Pessotto Alves Siqueira

Engenharia de Controle e Automação/EM/UFOP

E-mail: tuliopessotto@yahoo.com.br

Maria Akutsu

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

E-mail: akutsu@ipt.br

Jarbas Ibraim Esperidião Lopes

Engenheiro Civil/UFOP

E-mail: jjarbasibraim@hotmail.com

Henor Artur de Souza

DECAT/EM/UFOP

E-mail: henor@em.ufop.br

Resumo

O desempenho térmico de edificações é um fator importante em habitações, notadamente naquelas destinadas a pessoas de baixa renda. Uma edificação projetada para o clima no qual está inserida torna-se confortável, além de economizar energia. A avaliação do desempenho térmico de uma edificação engloba a resposta global do projeto arquitetônico proposto em relação às trocas térmicas entre o ambiente construído e o ambiente externo, onde a caracterização das condições climáticas locais é uma das etapas mais importantes. As condições de exposição da edificação ao clima são caracterizadas pelos valores locais horários da radiação solar, da temperatura e umidade relativa do ar e também pela velocidade predominante do vento. Nos métodos de avaliação do desempenho térmico, os dados climáticos são caracterizados pelos dias típicos de projeto, para os períodos de inverno e verão. Esses dias são determinados em função de sua frequência de ocorrência e representam níveis de exigência na avaliação. Nesse trabalho, apresenta-se uma metodologia para se estimarem os dias típicos de projeto, por meio do tratamento estatístico dos dados climáticos.

Palavras-chave: dados climáticos, dias típicos de projeto, desempenho térmico de edificações.

Abstract

Building thermal performance is an important factor in habitations, especially for those destined for people of low income. Buildings properly projected for the climate surrounding them provide comfort and save energy. The evaluation of a building's thermal performance includes a global picture of the architectural project in relation to the thermal exchanges between the built atmosphere and the external atmosphere, where the characterization of the local climatic conditions is one of the most important stages. Local values such as solar radiation schedules, temperature, and relative humidity of the air as well as predominant wind speed characterize the conditions of building exposure to the climate. With respect to thermal performance evaluation, the climatic data are characterized by typical project days for winter and summer periods. Such days are determined in function of its frequency of occurrence that represents levels of requirements in the evaluation. In this article a methodology is presented to estimate the typical days of the project, through statistical treatment of climatic data.

Keywords: climatic data, typical days of project, building thermal performance.

1. Introdução

1.1 Zoneamento bioclimático brasileiro

O clima predominante no Brasil é o tropical. A influência da continentalidade, maritimidade, latitude, relevo e massas de ar faz com que, no Brasil, existam vários subtipos de clima tropical (continental, altitude e semi-árido), o subtropical e o equatorial. Mesmo dentro de uma mesma região geográfica do país, há uma diversidade climática.

Atualmente, para uma melhor padronização do clima brasileiro, em relação à análise térmica de ambientes, há um zoneamento bioclimático para o território nacional. Esse zoneamento bioclimático divide o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto aos tipos de clima existentes. (Figura 1). A ABNT (1998) apresenta uma metodologia aplicável na fase de projeto, para a avaliação do desempenho térmico de habitações unifamiliares de interesse social, ao mesmo tempo em que, estabelecendo um Zoneamento Bioclimático Brasileiro, traz recomendações de diretrizes construtivas e o detalhamento de estratégias de condicionamento térmico passivo, com base em parâmetros e condições de contorno fixados.

Para a avaliação do desempenho térmico, é necessário saber como variam a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a direção e a velocidade do vento e a radiação solar, não só ao longo das estações do ano, mas, também, seus valores horários. Nas estações meteorológicas, esses valores nem sempre estão disponíveis ou não são conhecidos para todas as regiões.

Os valores horários dos parâmetros climáticos, necessários para a avaliação do desempenho térmico de edificações, são agrupados nos chamados dias típicos de projeto, para os períodos de verão e de inverno (Akutsu, 1998). Um dia típico de projeto é caracterizado pela sua frequência de ocorrência e representa as condições mais significativas ao longo do período de verão e de inverno e permite quantificar os níveis de exigência

na avaliação de desempenho térmico a ser efetuada na edificação.

Nesse trabalho, apresenta-se uma metodologia para se estimarem os dias típicos de projeto através do tratamento adequado dos dados climáticos disponíveis para aquelas regiões onde será realizada a avaliação do desempenho térmico de edificações.

1.2 Condições típicas de exposição ao clima versus avaliação de desempenho térmico de edificações

Além da caracterização das condições típicas de exposição ao clima, a avaliação do comportamento térmico de edificações engloba, ainda, as seguintes etapas: caracterização das exigências humanas de conforto térmico; caracterização da edificação, que inclui a caracterização das condições de ocupação

e dos materiais e componentes da edificação, como elementos de fechamento e cobertura e também a caracterização do projeto arquitetônico, além do perfil de equipamentos existentes e também do perfil de iluminação (Pinto et al., 2001).

A Norma Brasileira NBR 6401:1980 apresenta valores das temperaturas recomendáveis do ar e temperaturas máximas de bulbo seco e úmido, para as condições de verão e inverno, de acordo com o tipo de ambiente (residência, comércio, etc.) e finalidade (lojas de curto tempo de ocupação, etc.). Em relação às exigências humanas de conforto em uma edificação, as normas ASHRAE 55:1992 e ISO 7730:1984 consideram a necessidade de que 80 % dos ocupantes expressem satisfação com as condições ambientais internas de conforto, limite este também aceito no Brasil.

As informações da edificação estão associadas aos recintos típicos, à

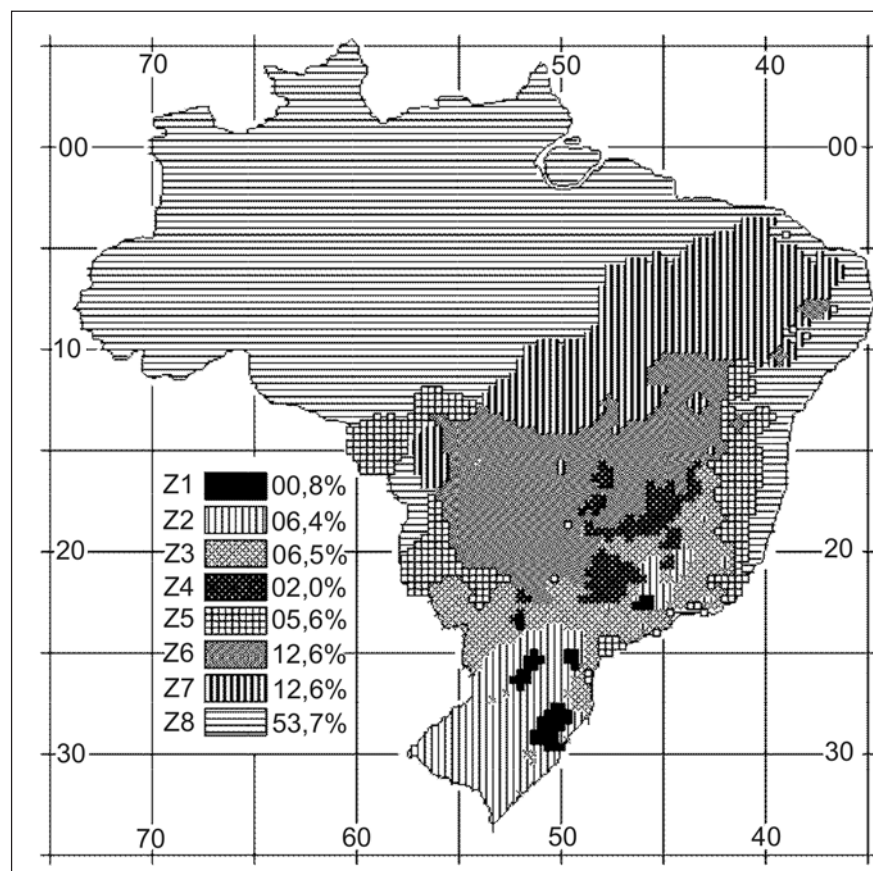


Figura 1 - Mapa do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. (Fonte: ABNT, 1998).

posição geográfica, à orientação solar e às dimensões da edificação. A forma arquitetônica influencia o conforto ambiental da edificação, bem como o seu consumo de energia. Isto se deve à interferência direta sobre os fluxos de ar para o interior e à quantidade de calor e luz recebidos pela edificação. A quantidade de radiação solar que incide em cada superfície externa de uma edificação é variável segundo a orientação e a época do ano. A variação da distribuição de janelas em um dado volume bem como a modificação da área de envidraçamento e o tipo do sistema de fechamento influencia em muito a temperatura do ambiente interno.

Como a análise térmica de uma edificação é obtida através da resposta global da mesma em relação às interações térmicas entre o ambiente externo e interno, é importante também se caracterizarem as fontes internas de calor, observando-se o perfil de ocupação, o perfil de iluminação e os equipamentos existentes.

Um fator determinante para a avaliação do desempenho térmico de edificações é a influência das condições climáticas. A avaliação do desempenho térmico da edificação sob condições dinâmicas de exposição ao clima requer dados horários referentes à radiação solar, à temperatura do ar e à umidade relativa do ar e estes dados muitas vezes não existem registrados. Em função disto há a necessidade da obtenção destes dados a partir dos valores disponíveis e o tratamento dos mesmos de forma adequada para a avaliação do desempenho térmico de edificações nos chamados dias típicos de projeto.

1.3 Importância da climatologia aplicada

Por diversas razões, a climatologia da construção vem adquirindo grande importância. Nas últimas décadas, observa-se a tendência de se projetar de forma a considerar adequadamente os fatores ambientais. Esse procedimento evita o desperdício de energia para cli-

matizar um ambiente construído mediante calefação e/ou refrigeração artificiais.

As diferentes funções do uso da terra podem ser afetadas pelos parâmetros climatológicos. Entretanto implantações de indústrias e edificações, localizadas indevidamente, podem afetar o clima local e, em alguns casos mais extremos, parte do clima regional.

O clima afeta a execução, a segurança, o conforto e desempenho energético de edificações. Portanto o estudo da climatologia aplicada à construção é imprescindível em todas as fases do projeto arquitetônico e, além disso, envolve um processo interativo, onde deve ser levadas em conta a influência do clima na edificação e a influência da edificação sobre o clima do entorno.

O objetivo básico de se apresentar dados meteorológicos para projetistas de edificações é possibilitar o entendimento físico dos vários processos climáticos relacionados à construção. Assim, melhores decisões poderão ser tomadas ainda na fase de projeto. Entretanto esses dados nem sempre estão direcionados para a solução dos projetos de edificações. Como resultado, os aspectos climáticos do projeto pouco têm sido levados em conta, mesmo em lugares onde os dados básicos estão disponíveis (Goulart, 1993). Daí vem a necessidade de se tratarem dados climáticos.

2. Metodologia para obtenção dos dias típicos de projeto

O dia típico de projeto é definido como um dia real, caracterizado pela velocidade média predominante do vento e pelos valores horários de cada uma das seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar incidente em superfície horizontal.

É recomendado, para a determinação dos dias típicos de projeto, um período de 10 a 15 anos de dados registrados (Akutsu, 1998). No planejamento regional, os elementos climáticos podem

influenciar na definição e implementação de determinadas áreas. Por exemplo, áreas de recreação, localização de parques industriais e determinação de tipos de indústrias a serem implantadas. Pelo conhecimento do clima da região, pode-se evitar, ou, ao menos, minimizar riscos ambientais, como fortes ventos, tempestades de terra, geadas e poluição do ar.

O tratamento em nível regional é feito a partir dos valores médios mensais das temperaturas máximas, média e mínima diária; das temperaturas máximas e mínimas absolutas do mês; da umidade relativa máxima, média e mínima diária; da insolação diária; da direção e velocidade média dos ventos predominantes (Akutsu, 1998).

A obtenção dos dias típicos de projeto é feita por meio de um tratamento estatístico dos valores das médias, máximas e mínimas diárias dos parâmetros climáticos locais, seguindo, segundo Akutsu e Vittorino (1998), as seguintes etapas:

a) 1ª Etapa: Para cada região de interesse, dentro do zoneamento bioclimático brasileiro (Figura 1), representada por uma cidade, serão identificados, inicialmente, o mês mais quente do ano e o mês mais frio do ano, utilizando-se as temperaturas máximas diárias para o período de verão e as temperaturas mínimas diárias para o período de inverno.

Isolam-se os dados correspondentes aos períodos de verão e de inverno. O período de verão é composto pelo mês mais quente e pelos meses que apresentarem, no máximo, uma diferença de $\alpha^\circ\text{C}$ para o mês mais quente, sendo o mês mais quente aquele que apresentar o maior valor para a média das temperaturas máximas diárias e o parâmetro α dado pela equação (1). Para o período de inverno, o processo é análogo, sendo o mês mais frio aquele que apresentar menor média das temperaturas mínimas diárias.

$$\alpha = 0,10 (T_{\text{máx}} - T_{\text{mín}}) \quad (1)$$

Para o período de verão, $T_{\text{máx}}$ é a média das temperaturas máximas diárias do mês mais quente; $T_{\text{mín}}$ é a média das temperaturas mínimas diárias do mês

mais quente e, para período de inverno, $T_{máx}$ é a média das temperaturas máximas diárias do mês mais frio; $T_{mín}$ é a média das temperaturas mínimas diárias do mês mais frio.

b) 2ª Etapa: Para cada período deve-se tratar os dados da seguinte forma:

- Para o período de verão, determinam-se os valores das temperaturas máximas diárias ($TBS_{máx}$), correspondentes aos níveis de frequência de ocorrência acumulados (FOA) estabelecidos. Tais valores são identificados por $TV_{N\%}$ (temperatura de verão) ($N = 1, 2, 5, 5$ e 10). Esses valores devem satisfazer o critério de que, para cada valor de N , $N\%$ dos dias considerados devem apresentar valores de $TBS_{máx}$ maiores ou iguais a $TV_{N\%}$.

- Para o período de inverno, determinam-se os valores das temperaturas mínimas diárias ($TBS_{mín}$), correspondentes aos níveis de frequência de ocorrência acumulados estabelecidos. Tais valores são identificados por $TI_{N\%}$ (temperatura de inverno) ($N = 1, 2, 5, 5$ e 10). Esses valores devem obedecer ao critério de que, para cada valor de N , $N\%$ dos dias considerados devem apresentar valores de $TBS_{mín}$ menores ou iguais a $TI_{N\%}$.

c) 3ª Etapa: Para cada valor de frequência de ocorrência definido, extraem-se os dias com temperaturas dentro dos intervalos dados, pela equação (2), para o período de verão, e, pela equação (3), para o período de inverno, e para esses dias, determinam-se os valores horários das seguintes grandezas: Temperatura de bulbo seco (TBS); Umidade Relativa do Ar (UR); Radiação Solar Incidente em Superfície Horizontal (RS); Direção do Vento (DV); Velocidade Média dos Ventos (VV).

$$TBS_{máx} = (TV_{N\%}) \pm \varepsilon \quad (2)$$

$$TBS_{mín} = (TI_{N\%}) \pm \varepsilon \quad (3)$$

Considera-se $\varepsilon = 0,5^\circ\text{C}$ como o valor máximo. O valor de ε define um intervalo em torno dos valores $TBS_{máx}$ e $TBS_{mín}$, que indica a precisão requerida para a análise.

d) 4ª Etapa: Para os dias listados dentro dos intervalos encontrados, calcula-se a média das seguintes características: Temperatura de Bulbo Seco (TBS); Umidade Relativa (UR); Radiação Solar (RS); Velocidade dos Ventos (VV); Direção do Vento Predominante (DV). Procura-se, nesse intervalo, um dia real com características mais próximas da média, e este dia será o dia típico de projeto.

e) 5ª Etapa: O dia típico de projeto é definido como um dia real, caracterizado pela velocidade média predominante do vento e pelos valores horários de cada uma das seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar incidente em superfície horizontal.

Para encontrar o dia real que mais se aproxima do valor médio encontrado na quarta etapa do tratamento dos dados climáticos, utilizou-se, para cada frequência de ocorrência, o seguinte método:

- Para cada dia real que estiver dentro do intervalo de dias listados, determina-se a diferença entre o valor real e a média, hora a hora. Esse valor será o erro entre o valor real e a média.
- Determina-se o quadrado desses valores.
- Faz-se a soma de todos os erros quadráticos.
- Analisa-se qual o dia que apresentou menor valor para o somatório dos

erros quadráticos. Esse será o dia típico de projeto.

3. Obtenção de um dia típico

3.1 Período de análise

Os dados disponíveis para o tratamento estão compreendidos entre os anos de 1990 e 2000, ou seja, um período de 11 anos. Aplicando-se os critérios da 1ª etapa, equação (1), fazem parte do período de verão os meses de janeiro, fevereiro e dezembro. Seguindo os mesmos critérios, o período de inverno é composto pelos meses de junho, julho e agosto.

3.2 Frequência de ocorrência acumulada

Através do tratamento dos dados climáticos descritos na 2ª etapa, foram, então, determinados os valores de temperaturas correspondentes às frequências de ocorrência que representam os níveis de exigência estabelecidos (1%, 2,5%, 5%, 10%), obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 1, onde F é o nível de frequência de ocorrência acumulada, TV é a temperatura máxima diária correspondente ao período de verão e TI é a temperatura mínima diária correspondente ao período de inverno.

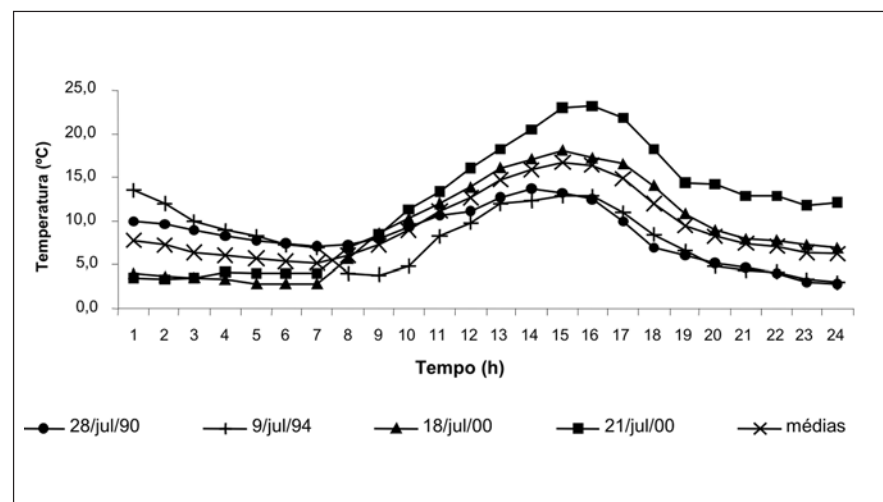


Figura 2 - Temperatura de bulbo seco dos dias que formam o intervalo de frequência de ocorrência de 1%.

3.3 Escolha dos dias típicos de projeto

Para a escolha dos dias típicos de projeto, segue-se o método descrito na 4ª etapa. Como exemplo, têm-se, a seguir, os cálculos feitos para obtenção do dia típico de inverno para frequência de 1%. Na Figura 2, mostram-se os valores de temperatura de bulbo seco dos dias reais que compõem o intervalo de 1% e também o valor médio. Observando os valores apresentados na Tabela 2, conclui-se que o dia típico de projeto para frequência de ocorrência de 1% é o dia 18 de julho de 2000. Na Figura 3, mostra-se uma comparação entre o dia típico de projeto e a média.

Para os outros níveis de frequência de ocorrência, utilizou-se o mesmo procedimento. Na Figura 4 e na Figura 5 mostra-se o comportamento da temperatura durante o dia típico de inverno e verão, respectivamente, para a frequência de 10%, que representa o nível de exigência utilizado para avaliação de desempenho térmico de edificações.

4. Considerações finais

Os dados climáticos da região onde uma habitação é construída são parâmetros importantes para avaliação do desempenho térmico da mesma. Para essa avaliação, são necessários os dados horários referentes à radiação solar, à temperatura do ar e à umidade relativa do ar.

Tabela 1 - Valores de temperatura correspondentes aos níveis de frequência de ocorrência acumulada.

F (%)	TV (°C)	TI (°C)
1,00	34,56	2,50
2,50	33,76	5,24
5,00	32,91	6,48
10,00	32,14	8,15

Tabela 2 - Valores dos erros quadráticos.

	28/jul/90	9/jul/94	18/jul/00	21/jul/00
	4,73	33,35	13,88	17,85
	6,25	23,04	12,25	14,44
	6,25	12,25	9,00	9,00
	4,20	7,56	8,12	3,80
	3,90	6,63	7,98	2,98
	4,31	3,15	6,38	1,76
	3,52	2,81	5,41	1,50
	1,63	4,10	0,05	0,95
	0,49	10,89	1,96	1,44
	0,11	16,61	1,76	5,88
	0,14	8,27	0,86	5,41
	2,56	8,41	1,44	10,89
	4,10	7,43	1,63	12,08
	5,18	12,08	1,27	21,39
	13,32	14,82	1,56	39,06
	15,60	13,32	0,72	45,56
	23,28	14,63	2,81	48,65
	24,26	12,43	4,73	39,38
	11,90	8,12	1,82	24,50
	9,77	11,73	0,46	34,52
	7,70	9,46	0,18	29,43
	10,08	8,85	0,28	31,64
	11,22	8,70	0,72	29,70
	11,73	9,77	0,46	34,52
SOMA	186,22	268,39	85,70	466,32

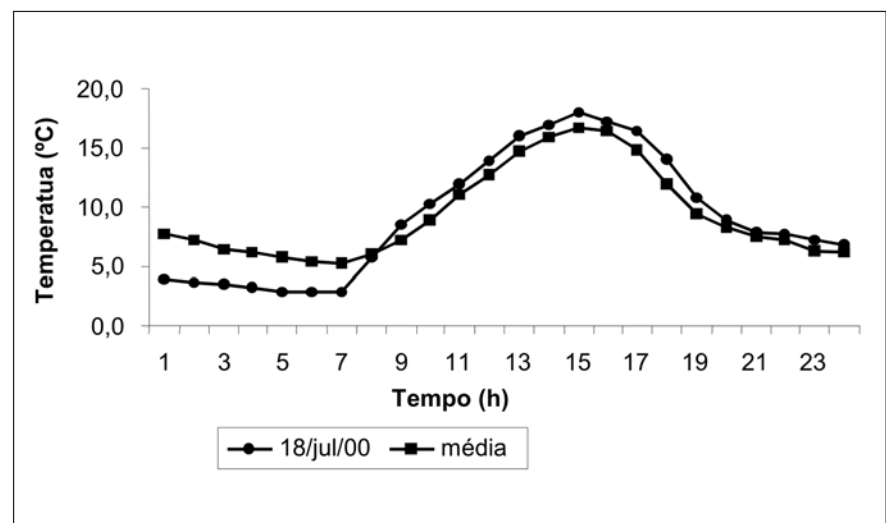


Figura 3 - Dia típico de projeto de inverno, para frequência de ocorrência de 1%.

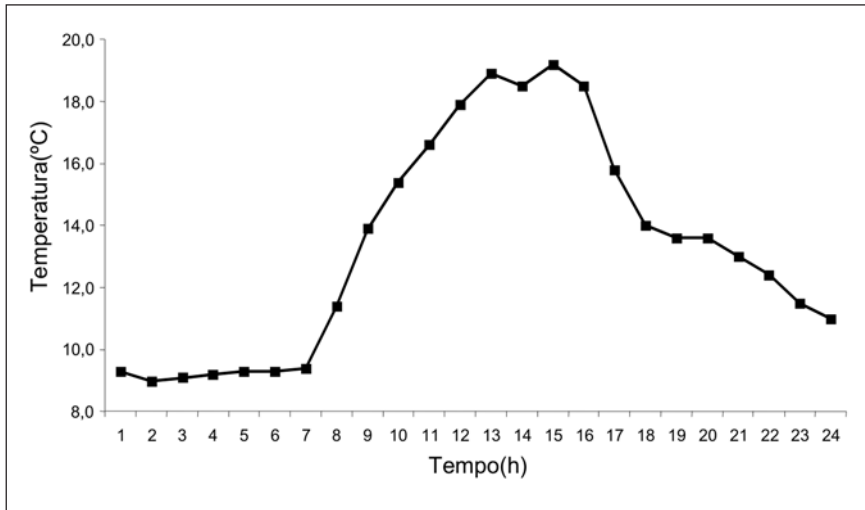


Figura 4 - Dia típico de inverno para frequência de ocorrência 10%.

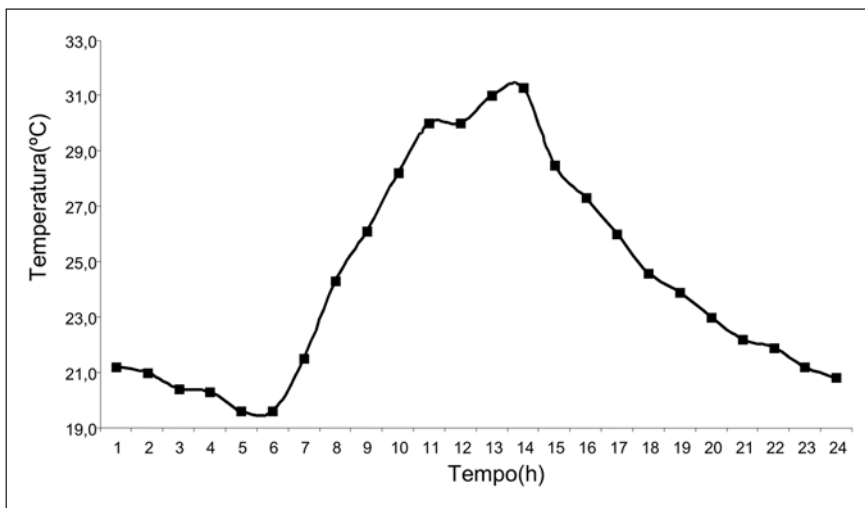


Figura 5 - Dia típico de verão para frequência de ocorrência 10%.

No entanto, esses dados, muitas vezes, não existem registrados. Em função disto, há a necessidade da obtenção desses dados a partir dos valores disponíveis e o tratamento dos mesmos de forma adequada para a avaliação do desempenho térmico de edificações nos chamados dias típicos de projeto.

Uma metodologia de cálculo é apresentada para o tratamento dos dados climáticos a partir de dados conhecidos hora a hora, mesmo para situações onde são conhecidos apenas valores médios. Para que se obtenha um dia de projeto bastante representativo, deve-se avaliar uma série de dados de no mínimo 10 anos, em função das condições dinâmicas do clima.

5. Referências bibliográficas

- ABNT, 1980. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6401/80. *Instalações centrais de ar condicionado para conforto - parâmetros básicos de projeto*. Rio de Janeiro, Brasil.
- ABNT, 1998. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto 02: 135.07-003. *Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações de interesse social*. Rio de Janeiro, Brasil
- AKUTSU, M. *Métodos para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, 1998. (Tese de Doutorado).
- AKUTSU, M., VITTORINO, F. *Tratamento de dados climáticos para a avaliação do desempenho térmico de edificações - Manual de Procedimentos (Aplicação à Cidade de São Paulo) - Anexo I*. São Paulo, 1998. Publ. IPT 1732.
- ANSI/ASHRAE. *American Society Of Heating, Refrigerating And Air Conditioning, 55/92*. Thermal environmental conditions for human occupancy. 1992.
- GOULART, S. V. G. *Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico em edificações em Florianópolis*. Universidade Federal de Santa Catarina, 1993. (Dissertação de Mestrado).
- ISO, 1984. *International Standards Organization, ISO 7730* - Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebre.
- PINTO, M. A. V., SOUZA, H. A., FREITAS, M. S. R. *Construções metálicas* - Publicações Especializadas da Associação Brasileira de Construção Metálica, v.set, n.50, p.34-38, 2001.

Artigo recebido em 13/11/2003 e
aprovado em 14/03/2005.



A nova maneira de enviar
um trabalho para a REM.

www.rem.com.br