



III ENCONTRO NACIONAL I ENCONTRO LATINO-AMERICANO

Gramado, RS, 4 a 7 de julho de 1995

A INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO CLIMÁTICO NA RESPOSTA TÉRMICA DE EDIFICAÇÕES

Maria Akutsu, Física, MsC.; Fúlvio Vittorino, Eng. Mec, MsC.; Laura F de A. Carballeira, Matemática, BsC.
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.
Av. Prof Almeida Prado, 532. CEP 05508-901 - São Paulo - SP
Tel (0 11) 268-2211, ramais 258/553; Fax: 869 6890

RESUMO

A expressão "inércia térmica", comumente empregada para se caracterizar a resposta térmica de edificações, está associada às atenuações proporcionadas pela edificação nas variações de temperatura que ocorrem durante um dia, através das grandezas denominadas atraso e amortecimento. No que concerne aos cálculos matemáticos, a hipótese básica normalmente adotada é de que os dias anteriores são iguais ao dia considerado. Isso tem importância fundamental, pois o comportamento da temperatura do ar interior ao longo de um dia pode ser afetado significativamente pelas características do dia anterior. Este trabalho apresenta resultados experimentais que fundamentam estas questões, bem como discorre sobre os procedimentos utilizados nos cálculos realizados por simulação em computador no que concerne a esta questão.

ABSTRACT

The expression "thermal inertia", commonly used to characterize the thermal response of buildings, is associated with the attenuation by the building of the temperature variations that occur over the day, represented by the delay and dumping parameters. The basic hypothesis behind the mathematical calculation is to consider as equal each day before a given day. This fact is of fundamental importance, as the behavior of the inside air temperature during one day can be significantly affected by the characteristics of the day before. This paper presents the experimental results that are the foundation for the above. Also discussed are procedures for computer simulation of building thermal performance.

PALAVRAS-CHAVE

Inércia térmica; Dias típicos; Condições climáticas; Desempenho térmico

1. INTRODUÇÃO

Na avaliação do desempenho térmico de edificações, seja ela feita a partir de simulações em computador ou a partir de medições, é prática comum adotar-se as condições climáticas correspondentes a um dia típico, caracterizado por valores horários das variáveis climáticas ao longo deste dia. Entretanto, não se faz referência às características climáticas dos dias precedentes ao dia típico.

Esse aspecto importante na avaliação do desempenho térmico de edificações é discutido neste trabalho, onde são apresentados resultados experimentais que mostram a influência das características climáticas dos dias anteriores ao dia em questão, no comportamento térmico das edificações. São discutidos também os

procedimentos utilizados nos cálculos realizados por programas de simulação do comportamento térmico de edificações, tendo em vista esta mesma questão.

2. INÉRCIA TÉRMICA

Para as condições climáticas de grande parte do território nacional, a capacidade térmica dos elementos e componentes de edificações é uma variável de fundamental importância na sua resposta térmica, principalmente quando as taxas de ocupação e de ventilação não são elevadas e seus recintos não estão condicionados.

O armazenamento de energia térmica que ocorre nas vedações influi nos efeitos que as variáveis climáticas exercem sobre a temperatura do ar interior, que serão tão mais atenuados quanto maior for a inércia térmica da edificação. Esta atenuação pode ser caracterizada pelo comportamento apresentado pela temperatura do ar interior em relação ao comportamento da temperatura do ar exterior, ao longo de um dia.

Caso nos dias anteriores ocorram temperaturas mais elevadas do que as do dia tomado para análise, teremos valores mais altos para a temperatura do ar interior no dia analisado do que se obteria se os dias anteriores tivessem temperaturas com o mesmo comportamento. De forma análoga, se os dias anteriores tiverem temperaturas mais baixas, a temperatura do ar interior no dia analisado apresentará valores menores que aqueles que seriam observados caso os dias anteriores tivessem comportamento semelhante.

3. HIPÓTESES EMPREGADAS EM PROGRAMAS DE SIMULAÇÃO

O programa NBSLD (Kusuda, 1976), cuja característica principal está na realização de cálculos das trocas térmicas em regime transitório, necessita como dados de entrada valores horários da temperatura do ar exterior em instantes anteriores ao instante para o qual os cálculos são efetuados. O número de horas anteriores necessário será tão maior quanto maior a inércia térmica dos componentes da edificação.

Tendo em vista suprir qualquer tipo de necessidade, no programa NBSLD, são anexados os dados, de dois dias anteriores exatamente iguais ao do dia em questão. Isto significa que o dia para o qual os cálculos são efetuados é o último dia de uma seqüência de 3 dias com características climáticas homogêneas, conforme ilustrado na Figura 1.

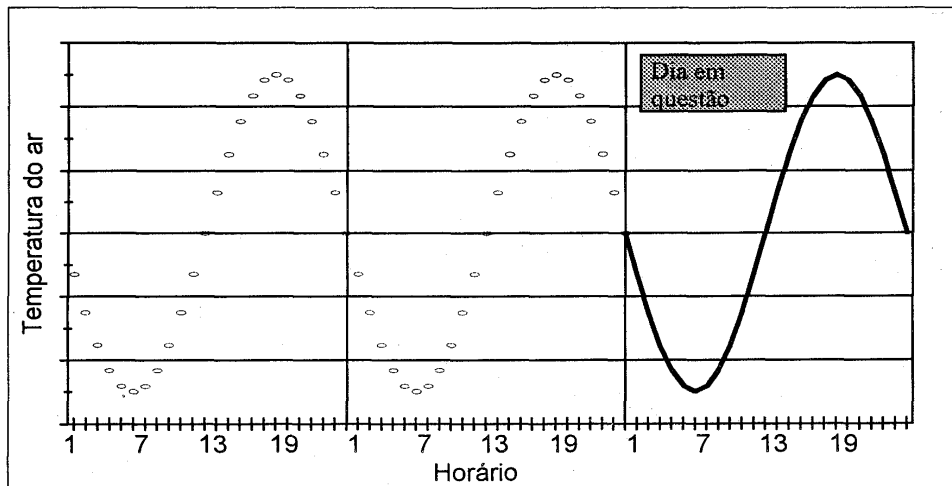


FIGURA 1. Perfil da temperatura do ar exterior utilizado no programa NBSLD.

O programa DOE-2 (LBL & LASL, 1980), que faz simulações para um ano inteiro, também necessita de valores iniciais para a temperatura do ar exterior. Para isso, é seguido o mesmo procedimento empregado no programa NBSLD, adotando porém uma série inicial mais longa, de 7 dias.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os dados apresentados a seguir referem-se aos resultados obtidos de medições contínuas da temperatura do ar exterior e da temperatura do ar interior de um protótipo de edificação com 10 m² de área de piso, localizado no campus do IPT, em São Paulo. O protótipo tem as seguintes características:

- paredes em alvenaria de blocos cerâmicos de vedação com 9 cm de espessura, revestidas em ambas as faces com argamassa, sem pintura;
- telhado de uma água em telhas de fibrocimento com 6 mm de espessura, com cor similar à das telhas cerâmicas;
- laje de forro mista em vigotas de concreto e elementos cerâmicos;
- uma janela com 1,44 m² orientada para NE, com vidros simples de 3 mm de espessura.

A temperatura do ar interior foi tomada em um ponto no centro do protótipo e a temperatura do ar exterior em um abrigo meteorológico (construído segundo recomendações da Organização Mundial de Meteorologia) localizado próximo ao protótipo.

A incerteza metrológica resultante do sistema de medição utilizada é de $\pm 0,3$ °C.

Durante o período de medição verificou-se a ocorrência de basicamente 3 tipos de comportamento para a temperatura do ar exterior: seqüência de dias com amplitude diária crescente e aumento da temperatura máxima diária; seqüência de dias com valores máximos diários e mínimos diários decrescentes; seqüência de dias homogêneos, ou seja, com valores máximos diários e mínimos diários da mesma ordem de grandeza.

Na Figura 2 é apresentado o perfil da temperatura do ar exterior e do ar interior no período compreendi do entre 11/06/94 e 13/06/94, onde se tem uma seqüência de 3 dias homogêneos. Nesta condição, pode-se observar a verdadeira característica de inércia térmica da edificação, indicada pelas curvas de temperatura do terceiro dia da seqüência. Neste caso, por se tratar de edificação com inércia térmica média, a mesma conclusão seria obtida com o 2º dia -da seqüência. Isto mostra que para edificações de inércia térmica média uma seqüência de dois dias já é suficiente para se observar uma estabilidade na resposta térmica da edificação. A medida que se aumenta a inércia térmica da edificação, esta estabilidade é observada com um número maior de dias. Em termos de amortecimento (relação entre as amplitudes diárias da temperatura do ar interior e temperatura do ar exterior), tem-se o valor de 0,64 e um atraso de 2 h, com o valor máximo diário da temperatura do ar interior 1,0 °C maior que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

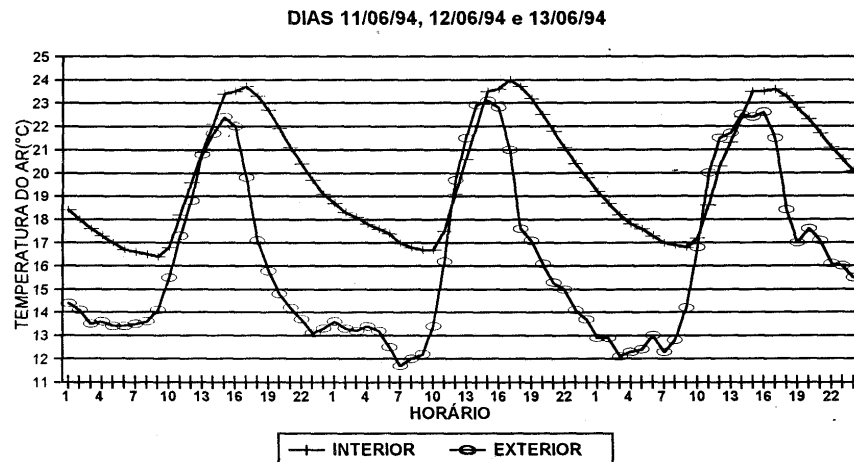


FIGURA 2. Comportamento da temperatura do ar interior e do ar exterior numa seqüência onde a temperatura do ar exterior tem comportamento homogêneo.

Na Figura 3 é apresentado o perfil da temperatura do ar exterior e do ar interior no período compreendido entre 16/06/94 e 18/06/94, onde se tem uma seqüência de 3 dias com amplitude diária da temperatura do ar exterior crescente e aumento do seu valor máximo diário. Nesta situação, se fossemos determinar o amortecimento e o atraso para o 3º dia da seqüência, obteríamos valores não muito diferentes, da ordem de 0,56 e 2 h, respectivamente. Porém, o valor máximo diário da temperatura do ar interior é agora 1,5 °C menor que o valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

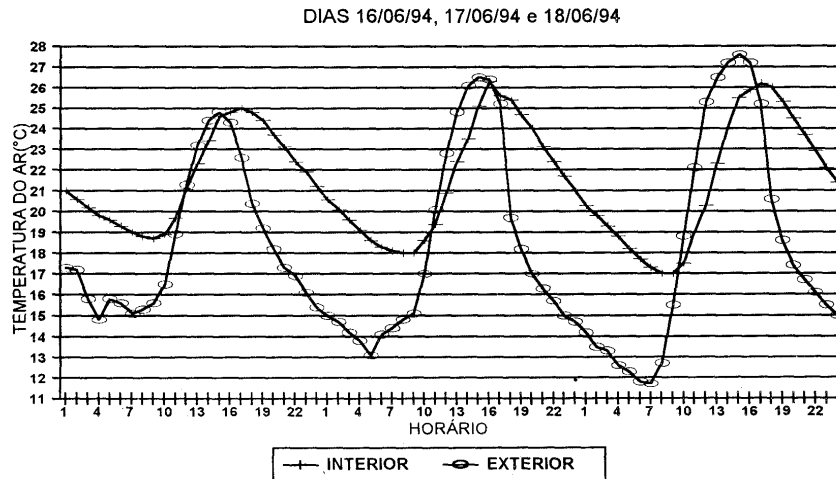


FIGURA 3. Comportamento da temperatura do ar interior e do ar exterior em uma seqüência de dias onde a temperatura do ar exterior apresenta amplitudes e valores máximos diários crescentes.

Na Figura 4 é apresentado o perfil da temperatura do ar exterior e do ar interior no período compreendido entre 07/07/94 e 09/07/94, onde temos uma seqüência de 3 dias com valores máximos diários e mínimos diários decrescentes. Nesta situação, enquanto a temperatura do ar exterior decresce, a temperatura do ar interior permanece em níveis bem mais elevados, ficando evidente o armazenamento da energia térmica dos dias anteriores nos elementos de vedação da edificação. Se aplicarmos os conceitos de amortecimento e de atraso ao 3º dia da seqüência, obteremos um resultado de 0,56 e 2 h, respectivamente, valores não muito diferentes- daqueles verificados nos casos anteriores. Destaca-se aqui o fato de a temperatura do ar interior ser muito maior que a temperatura do ar exterior ao longo de todo o dia, com diferenças entre 5 °C e 10 °C.

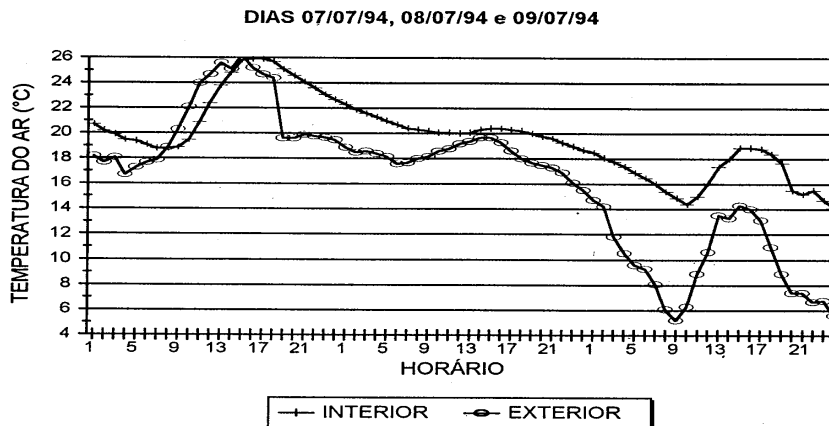


FIGURA 4. Comportamento da temperatura do ar interior e do ar exterior em uma seqüência de 3 dias consecutivos com valores máximos diários e mínimos diários decrescentes.

Portanto, se tomássemos para análise qualquer um dos dias correspondentes ao 3º dia das seqüências apresentadas, indistintamente, obteríamos conclusões totalmente diversas a respeito do comportamento térmico da edificação, embora as características da mesma sejam rigorosamente iguais nos três casos, onde as diferenças devem-se unicamente às condições climáticas.

5. CONCLUSÕES

A seleção de dias típicos de projeto para a análise do desempenho térmico de edificações a partir de resultados experimentais deve obedecer a um critério que leve em conta o comportamento climático dos dias precedentes.

Tendo em vista os fatos expostos anteriormente, o dia típico de projeto deve ser precedido por pelo menos 1 dia onde as condições climáticas sejam muito próximas, recomendando-se, entretanto, como regra geral, trabalhar com uma seqüência de 3 dias. Isto pode ser caracterizado pelo comportamento da temperatura do ar exterior, cujo intervalo de variação deve ser o mesmo para os 3 dias. Dessa forma, a análise feita a partir de dados experimentais estará em concordância com os procedimentos utilizados em programas de simulação, já amplamente difundidos em nosso meio técnico.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

Os resultados aqui apresentados foram obtidos com as condições climáticas inerentes à cidade de São Paulo. Para localidades com características climáticas diferentes, acredita-se que, qualitativamente, os efeitos serão os mesmos. As diferenças quantitativas que venham a ser observadas serão função não só da inércia térmica da edificação como também do comportamento das diversas variáveis climáticas que afetam a resposta térmica da edificação, em especial a intensidade da radiação solar e a amplitude diária da temperatura do ar.

A densidade de ocupação e a taxa de ventilação do ambiente influem no sentido de reduzir o período para a estabilização da resposta térmica da edificação, constituindo-se em mais um tema para a continuidade deste estudo.

7. REFERÊNCIAS

KUSUDA, T. NBSLD, the Computer Program for Heating and Cooling Loads in Buildings. Washington, National Bureau of Standards, 1976. (Building Science Series 69).

LAWRENCE BERKELEY LAB. & LOS ALAMOS SCIENTIFIC LAB. DOE-2 Reference Manual, Version 2. 1, Los Alamos, 1980