

REPERCUSSÃO DOS EFEITOS DE UM EPISÓDIO CLIMÁTICO SIGNIFICATIVO NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

Ruth C. Montanheiro Paulino

Universidade Paulista - UNIP. Rua Itacolomi, 142, Ribeirão Preto, SP

Fone: 16 6236731

E-mail: ruthcmp@ig.com.br

RESUMO

Este trabalho verifica os efeitos de um episódio climático significativo de inverno no desempenho térmico de protótipos de edificações, construídos com sistema construtivo convencional, no CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo), município de Itirapina, Estado de São Paulo, com a finalidade de demonstrar que a compreensão da sucessão de tipos de tempo pode contribuir para a tomada de decisões de projetos eficientes, no sentido de adaptar a edificação ao clima local. Assim, compara os resultados do desempenho térmico dos protótipos obtidos por simulação computacional, que faz uso de dados meteorológicos extraídos de normais climatológicas, com os resultados experimentais, tomados durante a ocorrência do episódio climático. Conclui que os ambientes construídos têm respostas diferentes de acordo com as excitações térmicas externas. Portanto, decisões sobre as atitudes projetuais, no sentido de adaptar uma edificação ao clima local, não devem ser tomadas apenas sobre resultados simulados, baseados em dados médios das variáveis climáticas, mas também, no conhecimento da dinâmica da atmosfera local.

ABSTRACT

This work investigates the effects of a winter climatic event in the thermal behavior of structures prototypes, built using traditional constructive system, in CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) of Sanitation and Hydraulic Department of Engineering School of São Carlos (EESC - USP), Itirapina, State of São Paulo, in order to explain that understanding weather types sequence can help to take efficient decisions, with the purpose of adapting structures to the local climate. Compares results from prototypes thermal behavior acquired through computer simulation, using meteorological data obtained from historical series, to experimental data taken during climate event. Concludes that structures have different answers depending on external thermal stimulus. Therefore, decisions about design purposes in order to adapt structure to local climate, must be taken not only considering simulation results based on climate average data, but also understanding the local atmosphere dynamics.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho baseou-se na hipótese de que para o estudo do conforto térmico aplicado a edificações, é necessário identificar as situações críticas e rítmicas do clima local para que se possa interpretar corretamente as solicitações térmicas locais, a fim de produzir soluções arquitetônicas adequadas a elas.

Questiona a abordagem climática regional nos estudos relacionados à adaptação da arquitetura ao clima para as regiões que estão submetidas a variações constantes dos movimentos da atmosfera, como é o caso das regiões Sul e Sudeste do Brasil, pois a quantidade de horas de insolação, a turbulência do ar, a quantidade e distribuição de chuvas, as temperaturas (diurna e noturna), a

amplitude térmica e a umidade do ar apresentam mudanças significativas entre uma localidade e outra, com poucos quilômetros de distância entre si.

Outra questão discutida foi a respeito da metodologia utilizada para a aquisição dos valores dos elementos climáticos. Habitualmente é utilizado o método analítico separativo que utiliza dados das normais climatológicas representativas de séries históricas, que quanto mais longas, melhor podem representar o perfil predominante do clima regional. Porém, estes dados quando utilizados para traçar diretrizes e manuais de projeto, tendem a resultar em generalizações, ou seja, podem produzir edifícios que bem funcionam para um “clima médio”, que na verdade não existe.

Os valores médios das variáveis climáticas não apontam as situações críticas do clima local, tampouco acusam os mecanismos dinâmicos da circulação atmosférica responsáveis por todas as variações no tempo que ocorrem ao longo das estações.

Quando se adota valores médios dos elementos climáticos para estudos do clima local, não se percebe o processo dinâmico da atmosfera que ocorre sucessivamente ao longo do ano.

Segundo MONTEIRO (1976), o ritmo de sucessão anual pode apresentar, mesmo que num curto período, sensíveis variações e, não raro grandes distorções em relação ao que seria habitual.

Considerando esta idéia, presume-se que uma edificação, ou um conjunto de edificações, deve ser concebida tendo em vista não apenas as situações climáticas predominantes ao longo do ano, mas também as variações rítmicas do tempo, por onde pode-se detectar as situações de “stress” térmico. Desta forma, as construções, através dos elementos arquitetônicos, dispositivos especiais e materiais adequados, poderão melhor responder às reais solicitações térmicas do local.

Sendo assim, este trabalho estudou a relação “**ambiente climático - edifício**” na escala climática local e, através de uma abordagem dinâmica da atmosfera, verificou a repercussão de um episódio representativo do fato climático, no desempenho térmico de edificações. Pretendeu-se mostrar que recomendações ou diretrizes para o projeto de edificações somente poderão ser realmente eficientes se resultarem de observações do comportamento do clima local, não perdendo de vista a gênese do clima regional que determina o ritmo climático (sucessão encadeada e rítmica de tipos de tempo).

2. DESENVOLVIMENTO

Para a realização desta investigação, foram utilizados dois protótipos de ambiente construído, com 5,00 m² cada um, construídos em área livre do CRHEA (Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, sendo um com cobertura leve, sem laje, e outro coberto com laje pré-moldada e telhas de barro, ou seja, com maior inércia térmica que o primeiro, a fim de melhor comparar a análise do desempenho térmico feita por simulação computacional com a análise experimental.

O sistema construtivo utilizado na construção dos protótipos é o convencional (paredes de alvenaria de tijolo comum, sem revestimento), pintados externamente e internamente com uma demão de tinta branca, sendo:

- **protótipo 1:** cobertura em telhas de barro, tipo romana, sem laje; inércia térmica: retardamento considerado de 0,53 h e amortecimento de 13%; coeficiente de transmissão térmica (W/m². °C): fluxo ascendente (calor vindo de baixo - situação de inverno) de 5,510 W/m². °C; fluxo descendente (calor vindo de cima - situação de verão) de 3,552 W/m². °C.

- **protótipo 2:** cobertura em telhas de barro, tipo romana, com laje pré moldada de 0,10m, em concreto e blocos cerâmicos. O espaço entre a laje e as telhas constitui uma lâmina de ar com um volume de aproximadamente 1,5 m³; inércia térmica do conjunto: retardamento considerado de 2,04 h e amortecimento de 41%; coeficiente de transmissão térmica (W/m². °C): fluxo ascendente (calor vindo de baixo - situação de inverno) de 2,48 W/m². °C; fluxo descendente (calor vindo de cima - situação de verão) de 1,987 W/m². °C.

Para a realização da simulação computacional do desempenho térmico dos protótipos foi utilizado o software **ARQUITROP** versão 3.0, que consiste em um sistema integrado de rotinas e banco de dados

para apoio às atividades de projeto em arquitetura e engenharia civil, programado por RORIZ e BASSO.

As rotinas de cálculo adotadas no ARQUITROP são adaptadas de algoritmos desenvolvidos por diversos especialistas nacionais e estrangeiros. A descrição detalhada das principais rotinas de cálculo podem ser consultadas no ARQUITROP 3.0 - Guia do usuário (s/d).

Para a execução da simulação, foi inserido no banco de dados do programa, uma nova ficha de dados climáticos, referentes ao local de estudo (Campus do CRHEA, município de Itirapina, SP). Para tanto, utilizou-se informações climáticas coletadas na estação meteorológica clássica do CRHEA, entre os anos de 1988 e 1998.

Através dos dados desta série histórica adotou-se o ano de **1991** como o ano climático típico, utilizando o método do **Test Reference Year** descrito por STAMPER (1977). Trata-se de um procedimento utilizado para selecionar um ano que represente o perfil climático de um local específico. Este procedimento consiste na eliminação dos anos da série analisada, que apresentam temperaturas mensais extremas (máximas e mínimas) até restar somente um ano, considerado como sendo aquele representativo, quanto aos valores das variáveis climáticas, das características climáticas locais.

Optou-se por utilizar o **Test Reference Year** por ser uma metodologia internacionalmente aceita para cálculos de consumo de energia e ser considerado como uma referência da realidade climática local. Efetuando-se a simulação com estes dados e comparando os resultados com os observados através do ensaio experimental, reuniu-se o material necessário para a verificação dos objetivos deste trabalho.

Para o ensaio experimental foi utilizado o método sugerido por VECCHIA (1997) que consiste na aplicação de episódios representativos do fato climático para a avaliação de desempenho térmico de edificações. Este método é constituído por duas fases principais: a definição do episódio representativo e o acompanhamento da evolução do desempenho térmico do objeto analisado durante o episódio. A descrição detalhada do método pode ser verificada em VECCHIA (1997).

Episódios representativos consistem uma seqüência de modificações no estado do tempo atmosférico marcada pela movimentação das massas de ar que dominam uma dada localidade. Para a definição do episódio representativo do fato climático foi necessário, inicialmente, o acompanhamento dos estados atmosféricos, através de observações visuais (conduta do regime de ventos, sistema de nuvens e ocorrência de chuvas) em seguida, a consulta em imagens do satélite GOES - 8, fornecidas pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), para a visualização da entrada da frente fria, sua intensidade e duração.

Durante o episódio efetuou-se a coleta de dados de temperatura do ar externa através do uso de equipamentos especiais de monitoramento climático, constituídos por estação meteorológica clássica, instalada no CHREA, e dos dados de temperatura internas dos protótipos, medidos por grupos de sensores eletro-eletrônicos ligados a um datalogger (Datalogger CRIOX - Measurement & Control Module, Campbell Scientific Inc.), instalado em uma caixa ambientalmente selada de 12" x 14".

Através dos valores de temperatura superficial interna das coberturas, temperatura de bulbo seco e temperatura de globo, registrados continuamente a cada minuto e expressos em intervalos de 30 minutos, pôde-se acompanhar a evolução do desempenho térmico dos protótipos analisados, obtendo-se a resposta térmica do ambiente interno, em relação às excitações do clima externo, e as respostas das diferentes coberturas em relação ao ganho térmico diurno (incidência de radiação solar) e perda térmica noturna (radiação noturna emitida pelas envolventes).

Finalizando, comparou-se os resultados obtidos através da simulação com aqueles coletados pelo ensaio experimental, podendo então ser verificado: a eficiência do método de observação e compreensão de episódios representativos do fato climático para a avaliação de desempenho térmico de edificações; o desempenho térmico dos sistemas estudados em relação ao tipo climático local; que a escolha dos materiais e sistemas construtivos das edificações pode ser melhor orientada, se o profissional que os especifica tem conhecimento da dinâmica climática local nos diferentes períodos de tempo do ano.

3. RESULTADOS

A simulação do desempenho térmico dos protótipos foi feita considerando o mês de agosto, cujos dados das variáveis climáticas foram extraídos do ano climático típico (1991), adotado para este estudo.

O “software” utilizado (ARQUITROP) calculou as temperaturas horárias externas, internas e de superfície, baseado nas informações fornecidas ao seu banco de dados. Como as informações referentes às variáveis climáticas do ano climático típico são médias mensais, os valores diários mensais apresentam pouca, ou nenhuma variação, ou seja, do primeiro dia do mês ao último, não há alterações significativas nos dados. Em função disto, adotou-se o dia 15 como representativo do mês todo. A escolha deste mês para a realização da simulação é justificada pelo fato de que o episódio climático escolhido para este estudo ocorreu durante o mês de agosto (12 a 18 de agosto de 1999).

Conforme as recomendações para projeto obtidas através do “software”, a edificação para estar adaptada ao clima do local de estudo, deve ter cobertura pesada (alta inércia térmica, com retardo do fluxo de calor em torno de 8 horas), ser compacta, ter poucas aberturas nas fachadas, ter as paredes protegidas das chuvas e da radiação solar excessiva. Recomenda também, que o edifício seja ventilado, porém não especifica o tipo de ventilação que deve ser adotada (higiênica, cruzada ou composta).

A simulação mostra dados da temperatura externa (TE), temperatura do ar interna (TI), temperatura “ambiental” (TA), que indica o efeito combinado entre a temperatura do ar e as temperaturas superficiais do ambiente, e da temperatura superficial média do ambiente (TS).

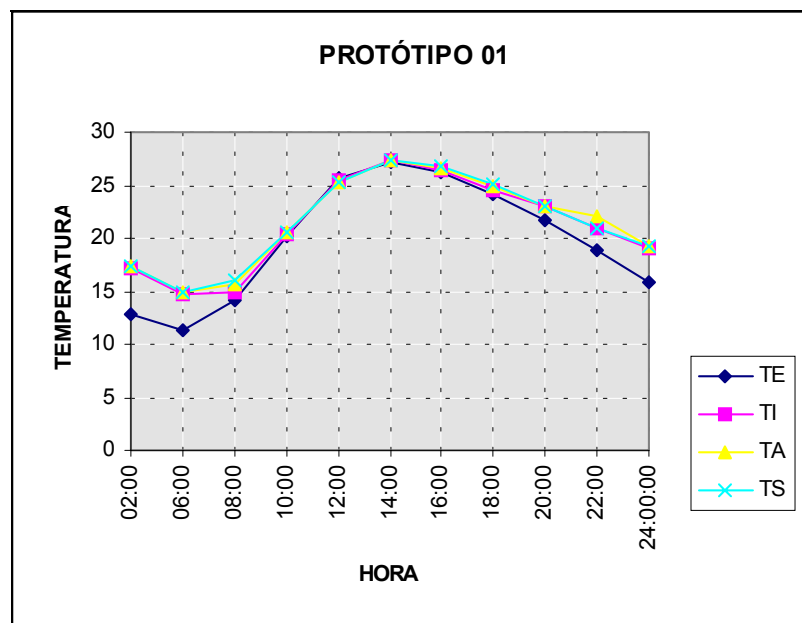


FIGURA 01: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 01.

Os resultados obtidos na simulação de desempenho térmico do protótipo de cobertura leve (protótipo 01 - cobertura de telhas cerâmicas sem laje ou forro) (figura 01), apontam para a baixa inércia térmica deste tipo de construção, uma vez que as temperaturas externas e internas apresentam valores muito próximos durante várias horas do dia, com uma diferença média de mais 0,31 °C para o ambiente interno nos horários de maior aquecimento (entre 8 h. e 18 h.) e de mais 2,84 °C, também para o ambiente interno, nos horários noturnos, madrugada e primeiras horas da manhã (entre 19 h. e 6 h.).

Este resultado considera a acumulação do calor proveniente da radiação pelos fechamentos horizontais e verticais e a interrupção do fluxo de ventilação principal (porta e janela fechadas).

No protótipo 02, de cobertura de telha cerâmica com laje, os resultados obtidos pela simulação acusam maior inércia térmica deste tipo de edificação em relação ao anterior (figura 02). No intervalo entre

10:00 h. e 16:00 h., período de maior incidência de radiação solar sobre a cobertura, a temperatura do ar interna aparece ligeiramente menor que a temperatura externa, com uma diferença média de menos 1,4 °C para o ambiente interno. Nos horários de menor incidência de radiação solar e no período noturno (entre 17:00 h. e 24:00 h., e entre 1:00 h. e 8:00 h.) o ambiente interno aparece mais aquecido que o ambiente externo, com uma diferença média de mais 2,77 °C para o ambiente interno.

De acordo com as recomendações, a edificação coberta com telhas de barro e laje está mais adequada ao clima do local de estudo, em relação ao protótipo 01, pois apresenta maior resistência térmica, isolando melhor que o protótipo anterior, o ambiente interno, nos horários de maior incidência de radiação solar, e evitando a rápida perda, durante o período noturno, do calor interno acumulado.

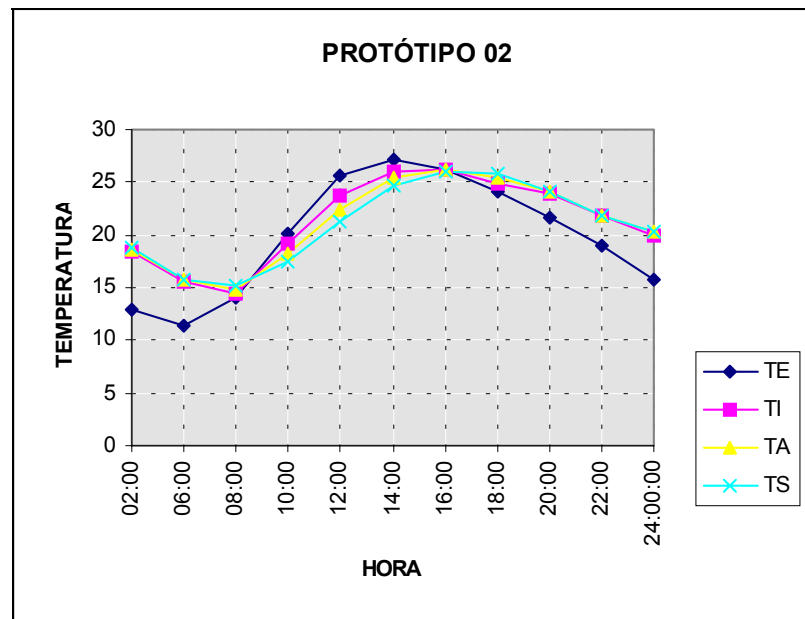


FIGURA 02: Gráfico de variação horária de temperatura - Protótipo 02

3.1 Análise do desempenho térmico dos protótipos durante a ocorrência do episódio climático.

O episódio escolhido para estudo ocorreu entre os dias 12 e 18 de agosto de 1999, período em que se observou uma forte atuação do anticiclone do Pacífico sobre o continente Sul Americano ocasionando uma intensa onda de frio.

Foram efetuadas, nos protótipos utilizados para este estudo, medições de temperatura superficial interna da cobertura (TSI), temperatura de globo (TG) e temperatura de bulbo seco (TBS) através de sensores eletroeletrônicos ligados a um “datalogger”, durante a fase pré - frontal (dias 12 e 13 de agosto), fase de avanço (dia 14 de agosto) e fase pós - frontal (dias 15 e 16 de agosto) do episódio climático estudado. Os valores das temperaturas foram apresentados em intervalos de 2 horas para efeito comparativo com os resultados da simulação computacional (figuras 03 e 04).

No dia 12 de agosto de 1999, cuja atmosfera estava sob o domínio da massa de ar tropical, os resultados experimentais assemelham-se aos simulados, ou seja, no protótipo 01 a simulação acusa as temperaturas internas ligeiramente maiores nos horários noturnos e nas primeiras horas da manhã, e temperaturas internas e externas equivalentes nos horários de maior aquecimento (10:00h às 16:00h).

No protótipo 02, os resultados experimentais acusam a temperatura superficial maior que a temperatura externa a partir da 8:30h, mantendo-se desta forma até as 18:00h, quando praticamente iguala-se a TE até as 24:00h. Na simulação a TSI ultrapassa a TE após as 16:00h. Os resultados experimentais das temperaturas internas (TBS e TG) em relação a TE confirmam os resultados simulados, ou seja, demonstram que este possui maior resistência térmica que o protótipo 01.

No dia 13 de agosto de 1999, com atmosfera ainda sob o domínio da massa de ar tropical, mas já oferecendo prenúncios claros da aproximação de uma frente fria, as temperaturas externas

apresentaram-se mais elevadas que as temperaturas internas dos dois protótipos, durante todo o dia, exceto no período entre 2:00h e 8:00h, contrariando os resultados obtidos no dia anterior.

Durante o dia 14 de agosto de 1999, caracterizado pela queda de temperatura e aumento da umidade relativa do ar (média registrada: 69,7%), devido à entrada da frente fria, ambos os protótipos apresentaram o ambiente interno em piores condições que no dia anterior, ou seja, as temperaturas internas permaneceram inferiores às temperaturas externas.

Durante os dias 15 e 16 de agosto de 1999, ambos com atmosfera caracterizada pelo domínio da massa de ar polar, as curvas das temperaturas internas voltaram a subir, em relação à temperatura externa, em função de maior incidência de radiação solar direta (364,94 W/m² para o dia 16, 264,67 W/m² para o dia 15, contra 255,92 W/m² para o dia 14).

Nota-se, através dos diferentes resultados do comportamento térmico dos protótipos durante as fases distintas do episódio climático estudado, que as edificações estão sujeitas às ações dinâmicas da circulação atmosférica, respondendo a elas conforme o estímulo externo recebido.

As curvas das temperaturas internas e externas verificadas nos dois protótipos analisados durante o episódio climático, não apresentaram as mesmas características todos os dias, ou seja, a mesma amplitude e o mesmo período.

A repercussão do episódio climático de inverno no desempenho térmico dos protótipos demonstrou que o comportamento térmico das edificações acompanha a dinâmica da atmosfera, apresentando variações significativas de um dia para o outro.

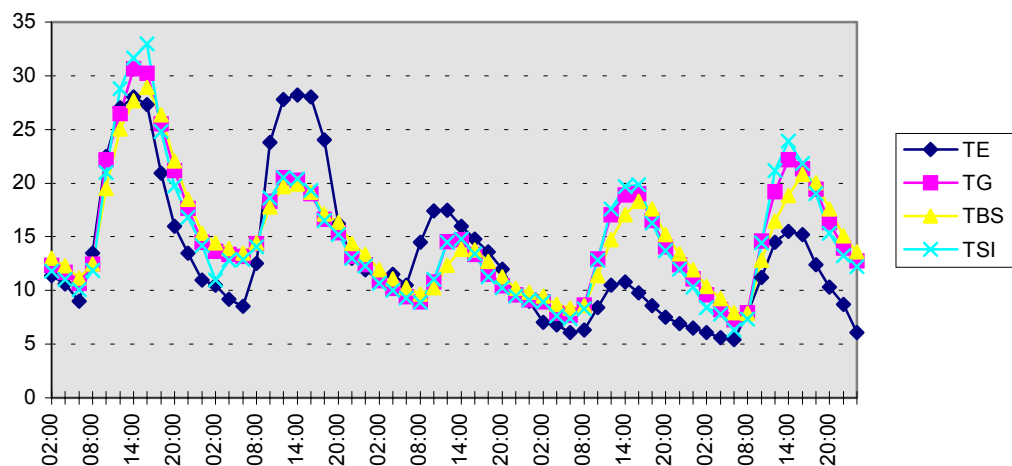


Figura 03: Gráfico representativo das variações das temperaturas externas e internas referentes ao protótipo 01 durante os dias 12, 13, 14, 15 e 16 de agosto de 1999.

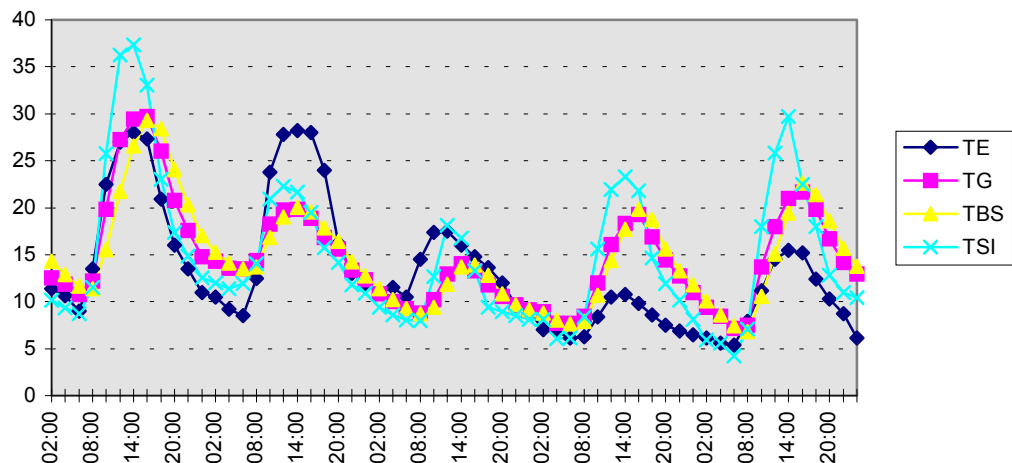


Figura 04: Gráfico representativo das variações das temperaturas externas e internas referentes ao protótipo 02 durante os dias 12, 13, 14, 15 e 16 de agosto de 1999.

4. CONCLUSÃO

A hipótese que norteou esta pesquisa, sobre a idéia de que é necessário identificar as situações críticas do clima local para se obter melhor interpretação das variações rítmicas do tempo às quais o local está submetido, para melhor adequar a arquitetura ao clima, foi verificada como verdadeira.

Através da análise experimental do comportamento térmico dos dois protótipos utilizados neste estudo, durante as três fases distintas de um episódio climático significativo de inverno, verificou-se que as condições externas que atuam sobre as envoltentes dos edifícios são dinâmicas, portanto, oferecem estímulos variados aos materiais que as compõem, de forma que, estes se comportarão termicamente conforme a intensidade e natureza destes estímulos.

Os resultados apresentados pela análise experimental demonstraram que, dependendo das excitações externas, o ambiente interno das construções oferecem respostas diferentes, podendo estar ou não, adequados às condições climáticas, no sentido de proporcionar ambientes seguramente confortáveis aos usuários humanos.

Estas situações extremas, mesmo que ocorram poucas vezes durante um ano, são conseqüências dos mecanismos da circulação atmosférica que atuam sobre a região, portanto são cíclicas e previsíveis. As condições atmosféricas de maior ou menor rigor térmico alternam-se continuamente, definindo um ritmo de variações temporais no clima local, de forma que tais variações constituem uma normalidade, e não uma excepcionalidade.

A simulação, da forma como foi aplicada neste trabalho, não acusou estes mecanismos, uma vez que foram lançados no banco de dados do programa, os dados climáticos referentes a um ano típico de referência, de forma que considerou-se uma situação climática única para um mês todo. Portanto, a formulação de diretrizes ou recomendações de projeto baseadas nas conclusões da simulação torna-se muito genérica, ou seja, pressupõe que para um determinado período do ano, as condições climáticas se apresentam de uma única maneira.

A utilização de dados obtidos através do estudo de episódios climáticos representativos do clima para a adequação, tanto da edificação, quanto do desenho urbano, às condições climáticas locais, vem somar elementos para contribuir na busca de parâmetros precisos que visam a garantia da qualidade dos espaços construídos.

5. BIBLIOGRAFIA

- AKUTSU, M.; PEDROSO, N. G. (1988). *Dia típico de projeto: instrumento para desenvolvimento de projeto arquitetônico*. Tecnologia de edificações. São Paulo, PINI / IPT p. 491 – 494.
- CUADRAT, J. M.; PITA, M. F. (1997). *Climatologia*. Madrid, Cátedra.
- MONTEIRO, C. A. F. (1962). *Da necessidade de um caráter genérico à classificação climática*. Revista Geográfica, p. 29 - 42. Comissão de Geografia, Rio de Janeiro, 1962.
- _____ (1968). *Grande Região Sul*. Fundação IBGE. Vol. IV, Tomo I.
- _____ (1976). *Teoria e clima urbano*. São Paulo. Tese (Livre-docência), Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.
- _____ (1990). *Por um suporte teórico e prático para estimular estudos geográficos de clima urbano no Brasil*. Geosul, n.9, ano 5, p.7 - 9. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1990.
- RORIZ, M.; BASSO, A. (1988). *Arquitrop. Sistema integrado de rotinas e bancos de dados para apoio às atividades de projeto em arquitetura e engenharia visando conforto térmico e economia de energia..* São Carlos, Universidade Federal de São Carlos.
- STAMPER, E. (1977). *Weather Data*. ASHRAE Journal, February/77, pp. 47.
- VECCHIA, F. A. (1997). *Clima e ambiente construído. A abordagem dinâmica aplicada ao conforto humano*. São Paulo. Tese (doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.