



ENTAC2006

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE HABITAÇÃO UNIFAMILIAR DE INTERESSE SOCIAL A PARTIR DE MEDIÇÕES IN LOCO DE TEMPERATURA DO AR INTERNO

Alessandro Morello (1); Giane Grigoletti (2); Miguel Aloysio Sattler (1)

(1) Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Escola de Engenharia – UFRGS, Brasil – e-mail: sattler@ufrgs.br

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – UFSM, Brasil – e-mail: grigoletti@smail.ufsm.br

RESUMO

Proposta: MORELLO (2005a, 2005b), durante os anos de 2003 e 2004, monitorou a temperatura do ar interno de protótipo habitacional unifamiliar de interesse social construído no Campus do Vale da UFRGS, que tem sido submetido a várias avaliações desde sua idealização, em 1999. Este estudo tem por objetivo analisar seu comportamento térmico frente a condições climáticas específicas observadas durante o período de medições: amplitudes diárias de onda de temperatura do ar externo superiores a 10 °C, elevações e quedas bruscas de temperatura, a fim de avaliar os parâmetros térmicos dos fechamentos que compõe a envolvente da edificação, definidos na fase de projeto. **Método de pesquisa/abordagens:** Cálculo dos parâmetros térmicos transmitância térmica, atraso térmico, coeficiente de amortecimento, coeficiente de superfícies pesada equivalente, entre outros. Analisam-se alguns destes parâmetros conforme os requisitos e critérios definidos pela ABNT (2004, 2005). Análise do comportamento térmico da edificação resultante das variações de temperatura do ar externo considerando-se os limites de temperatura definidos por ABNT (2004a) e GIVONI (1992). **Resultados:** O protótipo, apesar de seus fechamentos apresentarem uma transmitância térmica e um atraso térmico condizente com as normas nacionais, apresenta uma variação de temperatura do ar interno fora da zona de conforto definida por GIVONI (1992). **Contribuição/originalidade:** análise de comportamento térmico através de medições in loco de HIS.

Palavras-chave: habitação de interesse social; comportamento térmico; medições in loco.

ABSTRACT

Propose: MORELLO (2005a, 2005b) monitored for one year, may 2003 to may 2004, the outdoor and indoor temperature of a low income single family housing prototype built in Porto Alegre, South of Brazil. This prototype has been submitted to several evaluations since its construction, in 1999. The aim of this research is analyse the thermal behaviour of this prototype considering specific climatic conditions observed during the period of measurements, such as temperature amplitudes greater than 10°C, sudden fall of temperature and heat wave, in order to verify the appropriateness of thermal parameters of the building envelope chosen at design phase. **Methods:** Thermal transmittance, time-lag, decrement in wave amplitude, weight equivalent surface coefficient, indoor effusivity, among other parameters, are calculated according to requirements and criteria established by ABNT (2004, 2005). Indoor temperature variation is analyzed and its appropriateness with to the comfort zone defined by ABNT (2004a) and GIVONI (1992) is verified. **Findings:** The prototype, in spite of its envelope presents thermal transmittance and time-lag satisfactory in agreement with Brazil standards for low income housing thermal performance, does not maintain its indoor temperature into boundaries comfort zone defined by GIVONI. **Originality/value:** low income housing thermal behaviour analyses through measurements.

Keywords: low income housing; thermal behaviour; in loco measurements.

1 INTRODUÇÃO

MORELLO (2005a, 2005b), durante os anos de 2003 e 2004, monitorou a temperatura do ar interno de um protótipo habitacional unifamiliar de interesse social construído no Campus do Vale da UFRGS. Este protótipo tem sido submetido a uma série de avaliações desde sua idealização, em 1999. O autor publicou resultados obtidos para o protótipo segundo condições climáticas específicas: semana com a menor média das mínimas diárias e com a maior média das máximas diárias de inverno, primavera, verão e outono (2005a, 2005b). Neste estudo, apresenta-se o comportamento da edificação frente a variações de temperatura do ar externo caracterizadas por seqüência de dias consecutivos com amplitudes de onda de temperatura do ar externo superiores a 10°C, temperatura do ar externo com variações diárias que vão de valores inferiores a 18°C a valores superiores a 29°C e dias caracterizados por elevações ou quedas bruscas de temperatura verificadas em, no máximo, três dias consecutivos. As medições foram realizadas por um período equivalente a um ano utilizando-se um conjunto de sondas (BABUC/A – Laboratori di Strumentazione Industriale) que mediram temperatura e umidade relativa do ar interno, localizadas no centro geométrico do cômodo sala/cozinha e a altura aproximada de 1,10m, conforme descrito em MORELLO (2005a). A temperatura do ar externo foi obtida em uma estação meteorológica localizada a cerca de 500m do local de implantação do protótipo.

O método consistiu em selecionar, dentre os dados de temperatura do ar externo e temperatura do ar interno simultâneas, registrados e sistematizados por MORELLO (2005b), aqueles que correspondessem às seqüências de dias descritas acima. Procedeu-se a análise destes dados e do comportamento teórico da edificação, segundo o Procedimento 1 – Simplificado (ABNT, 2004, 2005), expresso pelos parâmetros térmicos coeficiente de absorção, transmitância térmica, capacidade térmica, atraso térmico, fator de calor solar, vãos de janelas e aberturas para ventilação. Além desses parâmetros, foram calculados o coeficiente de amortecimento, coeficiente de superfície pesada equivalente e efusividade térmica, pelos métodos descritos por GIVONI (1981), FROTA & SCHIFFER (1995), PAPST (1999) e GOULART (2004) respectivamente. A avaliação foi feita considerando-se os limites da zona de conforto preconizados por GIVONI (1992), para a temperatura do ar interno do protótipo, bem como através dos critérios apresentados por ABNT (2004a) para valores mínimos e máximos de temperatura do ar interno para condições de inverno e verão respectivamente.

2 COMPORTAMENTO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

2.1 Parâmetros térmicos para o protótipo

Os parâmetros coeficiente de absorção, fator de calor solar e transmitância térmica influenciam as trocas de calor entre o meio interno e externo à edificação. O parâmetro térmico capacidade térmica está relacionado ao armazenamento de energia térmica pelos fechamentos opacos, influenciando os parâmetros atraso térmico e coeficiente de amortecimento. O parâmetro térmico atraso térmico permite que os valores de temperatura máxima no interior da edificação não sejam temporalmente coincidentes com os valores máximos registrados para a temperatura do ar externo. As aberturas para ventilação relacionam-se a áreas adequadas para permitir a ventilação dos cômodos no verão. O parâmetro coeficiente de amortecimento relaciona-se à amplitude de onda de temperatura do ar interno. O coeficiente de superfície pesada equivalente está relacionado à capacidade da edificação em armazenar energia térmica em seus fechamentos e partições internas e reflete-se em variações de temperatura do ar interno. A efusividade térmica pode ser usada concomitante ao coeficiente de superfície pesada equivalente como um indicativo da inércia térmica da edificação como um todo. O protótipo apresenta os valores para os parâmetros térmicos considerados no estudo conforme tabela 1.

Alguns dos valores dos parâmetros térmicos calculados para o protótipo não satisfazem os valores de referência estabelecidos ora pela ABNT (2004a, 2004b, 2004c) ora pela ABNT (2005b). Em relação à transmitância térmica, as paredes não satisfazem o critério estabelecido pela ABNT (2004), enquanto que a cobertura, para condição de inverno, não satisfaz o critério estabelecido pela ABNT (2005).

Tabela 1. Valores dos parâmetros térmicos calculados para o protótipo submetido a medições in loco comparativamente aos valores presentes na ABNT (2004a, 2004b, 2004c, 2005).

Parâmetro térmico	Unidade	Paredes	Cobertura
Transmitância térmica U* (ABNT, 2005b)	$\frac{W}{m^2 \cdot C}$	3,12 ≤ 3,60	2,13 ≤ 2,00 1,14 ≤ 2,00
Fator de calor solar FS* (ABNT, 2005b)	-	7,6 ≤ 4,0	6,8 ≤ 6,5 3,7 ≤ 6,5
Atraso térmico φ (ABNT, 2005b)	h	3,0 ≤ 4,3	1,0 ≤ 3,3 1,7 ≤ 3,3
Áreas mínimas de aberturas para ventilação A** (ABNT, 2005b)	%	25 > 15	-
Transmitância térmica U (ABNT, 2004b, 2004c)	$\frac{W}{m^2 \cdot C}$	3,12 ≤ 2,50	2,13 ≤ 2,30 1,14 ≤ 2,30
Coeficiente de absorção α (ABNT, 2004b)	-	> 0,6	sem critério
Capacidade térmica C _T (ABNT, 2004b)	$\frac{kJ}{m^2 \cdot C}$	197 ≥ 130	sem critério
Áreas mínimas de aberturas para ventilação A** (ABNT, 2004b)	%	25 > 8	-
Coef. de amortecimento μ *· ***	-	0,74	0,91 0,87
Coef. de superfície pesada equivalente coef _{SPE} ***	-	1,85 (para a edificação como um todo)	
Efusividade térmica do ambiente ef _{amb} ***	$\frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot C}$	1,055 (para o ambiente sala/cozinha)	

* o primeiro e segundo valores para a cobertura correspondem às condições de inverno e verão respectivamente

** a área de aberturas para ventilação incluem a área das portas externas do cômodo

*** não há critérios estabelecidos pela ABNT

O valor máximo do fator de calor solar não é satisfeito pelas paredes e pela cobertura para a condição de inverno. O valor alto de fator de calor solar indica uma cor de superfície muito escura comparativamente ao valor de transmitância térmica a ela associado. A percentagem mínima de área de abertura para ventilação em relação à área do piso também não é satisfeita pelo protótipo se não for considerada a área da porta externa. As aberturas para ventilação devem permitir a ventilação noturna durante o sono dos usuários da edificação. Neste caso, não pode ser considerada a área de porta externa, reduzindo-se para 4% a área de vãos para ventilação em relação à área do piso. Os demais parâmetros, coeficiente de amortecimento, coeficiente de superfície pesada e efusividade térmica do ambiente, não são estabelecidos pela ABNT (2004a, 2004b, 2004c, 2005b) e servem apenas como um valor de análise uma vez que não há valores de referência para permitir uma avaliação.

2.2 Medições in loco para o protótipo

A ABNT (2004a) estabelece como valor máximo diário de temperatura do ar interno, para a condição de verão, um valor igual ou inferior ao valor máximo de temperatura do ar externo. Segundo GIVONI (1992), o valor limite superior de temperatura da zona de conforto é de 29°C. Para a condição de inverno, o valor mínimo de temperatura do ar interno deve ser maior ou igual a 12°C segundo a ABNT (2004a). Segundo GIVONI (1992), este valor não deve ser inferior a 18°C.

2.2.1 Seqüências de dias consecutivos com amplitudes de onda de temperatura do ar externo superiores a 10 °C

Estas seqüências foram selecionadas porque, segundo AROZTEGUI & BRIZOLARA (1980, p. 3), amplitudes de onda de temperatura diárias iguais ou superiores a 10,0°C justificariam o uso da inércia térmica no controle do ambiente térmico no interior de edificações. Porto Alegre apresenta tais variações em períodos distintos do ano com certa freqüência (SATTLER, 1987; MORELLO, 2005a). Logo a análise do comportamento da edificação frente a estas condições específicas é importante.

As figuras 1 a 3 apresentam as seqüências de dias entre 26 de maio de 2004 a 31 de maio de 2004, 28 de julho de 2004 a 02 de agosto de 2004 e 03 de janeiro de 2004 a 08 de janeiro de 2004, as quais apresentam dias com variações de amplitude de onda de temperatura do ar externo superior a 10 °C. A temperatura do ar interno mantém-se próxima das máximas registradas no meio exterior para as três seqüências representadas nas figuras 1, 2 e 3.

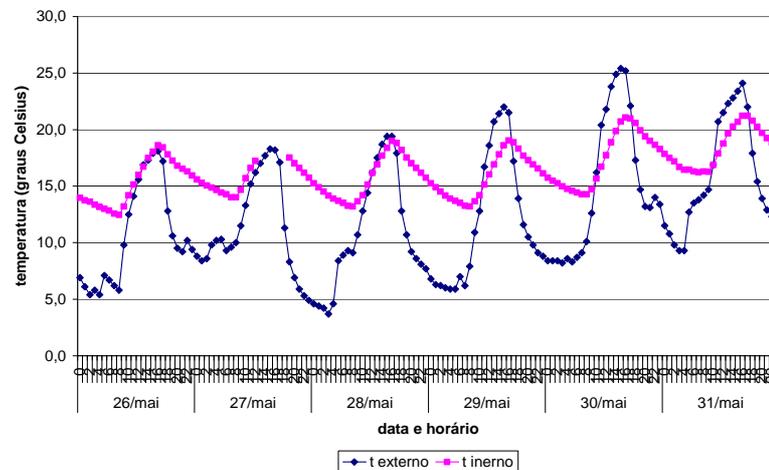


Figura 1. Temperatura do ar externo e interno entre 26 de maio a 31 de maio de 2004.

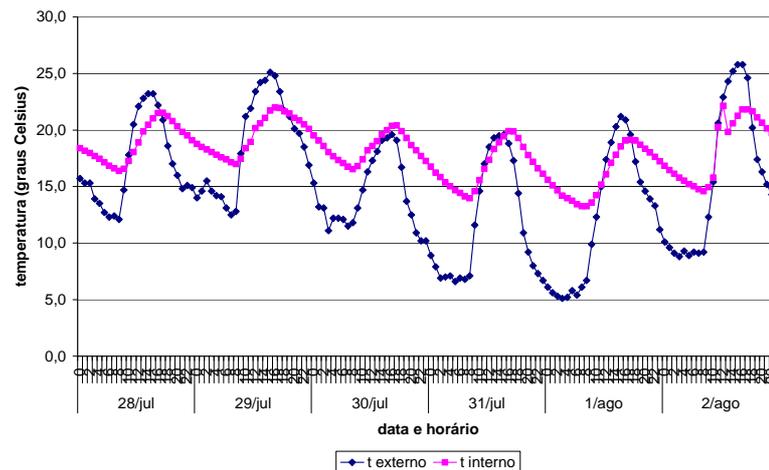


Figura 2. Temperatura do ar externo e interno entre 28 de julho a 02 de agosto de 2004.

Observa-se que a temperatura do ar interno possui uma variação relativamente constante, para a condição de inverno (figuras 1 e 2), mantendo-se acima dos 12°C para os sete dias das seqüências representadas. Há uma diferença média de 6°C a 7°C entre a temperatura mínima do ar externo e a temperatura mínima do ar interno, com um valor máximo aproximado de 10°C (figura 1, dia 28 de

maio). No entanto, ao se considerar o limite de temperatura inferior da zona de conforto de GIVONI (1992), as temperaturas mínimas do ar interno mantêm-se abaixo dos 18°C em boa parte do dia para o conjunto de dias das duas seqüências representativas de condições de inverno (figuras 1 e 2).

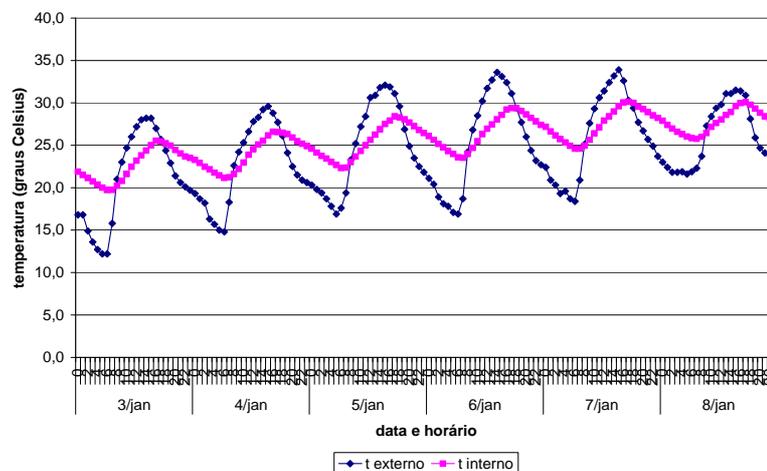


Figura 3. Temperatura do ar externo e interno entre 03 de janeiro a 08 de janeiro de 2005.

A figura 3, que expressa condição de verão, mostra que a temperatura do ar interno mantêm-se acima do limite superior da zona de conforto de GIVONI (1992), igual a 29°C, em pelo menos três dias consecutivos (6, 7 e 8 de janeiro). No entanto não ultrapassa o valor máximo de temperatura do ar externo, critério preconizado pela ABNT (2004a), com diferença aproximada de 4°C deste.

2.2.2 Seqüências de dias consecutivos com temperatura do ar externo variando de valores inferiores a 18°C a valores superiores a 29°C

Estas seqüências correspondem aos intervalos de 02 de setembro de 2004 a 07 de setembro de 2004 e 14 de outubro de 2004 a 19 de outubro de 2004. Considerou-se um conjunto de seis dias consecutivos. Embora não tenham se verificado as variações acima descritas em todos os dias selecionados, em pelo menos dois dias consecutivos verificam-se mudanças diárias de temperatura como as descritas.

Para a figura 4, os dias que possuem as características definidas para análise neste item, correspondem a 05, 06 e 07 de setembro de 2004. A temperatura máxima do ar externo aumenta por cerca de seis dias consecutivos. Inicialmente a temperatura do ar interno mantêm-se próxima das máximas registradas no meio exterior. A partir do quarto dia da seqüência (04 de outubro), a temperatura máxima do ar interno se afasta da temperatura máxima do ar externo, aproximando-se a curva das mínimas registradas no meio exterior. Apesar da temperatura do ar externo atingir 34°C no sexto dia da seqüência, a temperatura do ar interno não ultrapassa o valor de temperatura do limite superior da zona de conforto (GIVONI, 1992). No entanto, as temperaturas mínimas registradas no meio interior estão abaixo dos 18°C em boa parte do dia, com exceção do dia 07 de outubro. Para a figura 5, os dias que possuem as características definidas para análise neste item, correspondem a 17 de outubro de 2004 e 18 de outubro de 2004. A temperatura máxima do ar externo aumenta por cerca de sete dias consecutivos (não totalmente indicados no gráfico). Inicialmente a temperatura do ar interno mantêm-se próxima das máximas registradas no meio exterior, tal como na seqüência de dias representada na figura 4. A partir do sexto dia da seqüência (17 de outubro), a temperatura máxima do ar interno se afasta da temperatura máxima do ar externo, aproximando-se a curva das mínimas registradas no meio exterior. Apesar da temperatura do ar externo atingir 34°C no sétimo dia da seqüência, a temperatura do ar interno não ultrapassa o valor de temperatura do limite superior da zona de conforto de Givoni. As temperaturas mínimas registradas no meio interior estão dentro do limite da zona de conforto para os dois dias da seqüência que satisfazem as características definidas para análise.

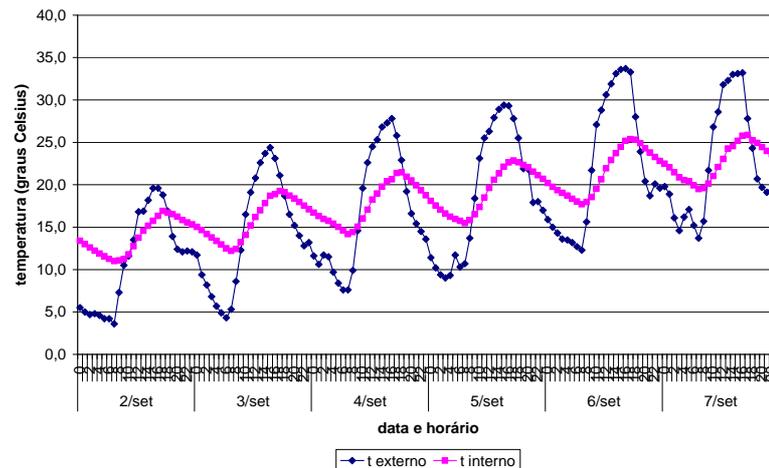


Figura 4. Temperatura do ar externo e interno entre 02 de setembro a 07 de setembro de 2004.

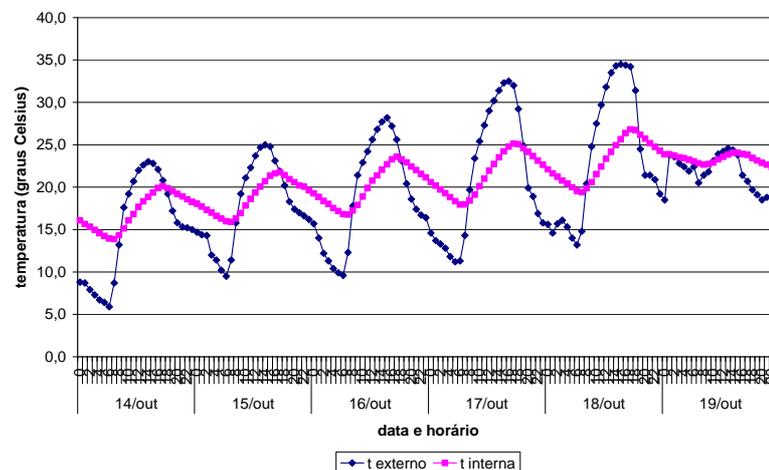


Figura 5. Temperatura do ar externo interno entre 14 de outubro a 19 de outubro de 2004.

2.2.3 Seqüências de dias consecutivos caracterizados por ondas de calor ou frentes frias

Estas seqüências foram selecionadas por permitirem a análise do comportamento da temperatura do ar interno frente a mudanças bruscas de temperatura, em situações em que as variações de temperatura do ar externo mantenham-se uniformes em pelo menos três dias que antecedam um fenômeno de elevação ou queda de temperatura (onda de calor ou frente fria respectivamente). As figuras que representam estas condições são: figura 6 (dias 16 e agosto de 2004 a 21 de agosto de 2004), figura 7 (dias 09 de abril de 2004 a 14 de abril de 2004), figura 8 (dias 20 de agosto de 2004 a 25 de agosto de 2004) e figura 9 (dias 05 de setembro de 2004 a 10 de setembro de 2004).

As figuras 6 e 7 ilustram um aumento de temperatura repentino, onde a temperatura máxima passa de cerca de 17°C a 32°C em quatro dias e passa de cerca de 26°C a 33°C em um dia respectivamente. Este aumento de temperatura máxima do ar externo é acompanhado por grandes amplitudes de onda de temperatura, na ordem de 20 °C (figura 6) e 16°C (figura 7).

Conforme ilustrado na figura 6, a temperatura do ar interno mantém-se abaixo do limite inferior da zona de conforto preconizado por GIVONI (1992) em boa parte do dia, mas mantém-se acima dos 12°C em todos os dias, com exceção do dia 18 de agosto, quando é registrado um valor de temperatura externa da ordem de 2°C.

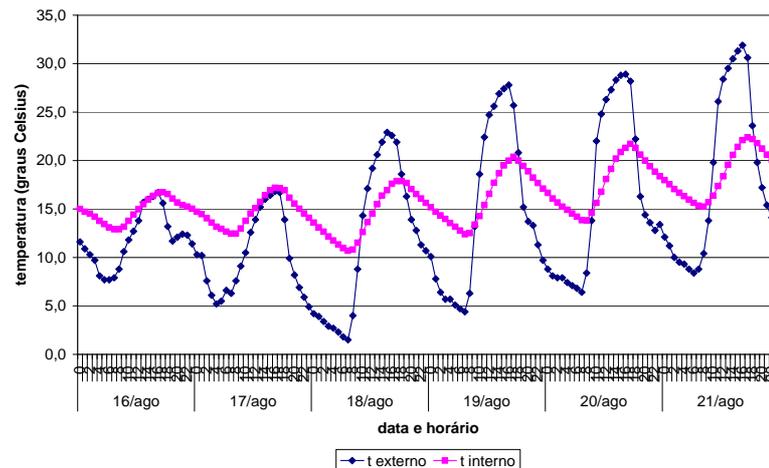


Figura 6. Temperatura do ar externo e interno entre 16 de agosto a 21 de agosto de 2004.

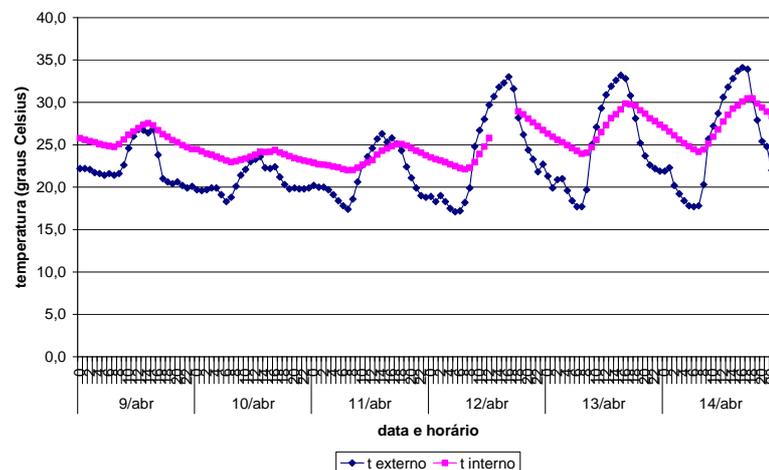


Figura 7. Temperatura do ar externo e interno entre 09 de abril a 14 de abril de 2004.

A temperatura do ar interno mantém-se próxima das máximas registradas no meio exterior para a seqüência de dias representada na figura 7, ultrapassando o limite superior da zona de conforto preconizado por GIVONI (1992). No entanto, não ultrapassa o valor máximo de temperatura do ar externo, conforme critério da ABNT (2004a).

A seqüência de dias apresentada na figura 8 caracteriza-se por uma queda brusca de temperatura do ar externo, passando esta de um valor máximo de 32°C para 18°C em um dia. Nessa seqüência de dias, a temperatura mínima do ar externo atingiu valores de 3°C e 2°C (em 5 dias após a queda de temperatura, não representados no gráfico). Observa-se que, para o dia 21 de agosto, a temperatura máxima do ar externo atinge o valor de 32 °C e a temperatura mínima do ar externo é de 8°C, com uma amplitude de onda de temperatura externa de 24 °C. Valores superiores a 20°C de amplitude de onda externa também ser verificam para os dias 18, 19 e 20 de agosto. Em contrapartida, a temperatura mínima do ar interno atinge um valor de 9°C em 27 de agosto (não indicado na seqüência), e uma amplitude máxima de onda de temperatura de 8°C em 19 de agosto. A temperatura máxima do ar interno assume um valor de 22°C em 21 de agosto. A temperatura do ar interno mantém-se abaixo do limite inferior da zona de conforto de GIVONI (1992) durante quase todos os horários do dia após a queda brusca de temperatura. Atinge valores inferiores a 12°C para os dias 24 a 27 de agosto (não indicados no gráfico). Porém a temperatura máxima registrada no interior do protótipo mantém-se um pouco acima da temperatura máxima registrada no meio exterior para esses dias.

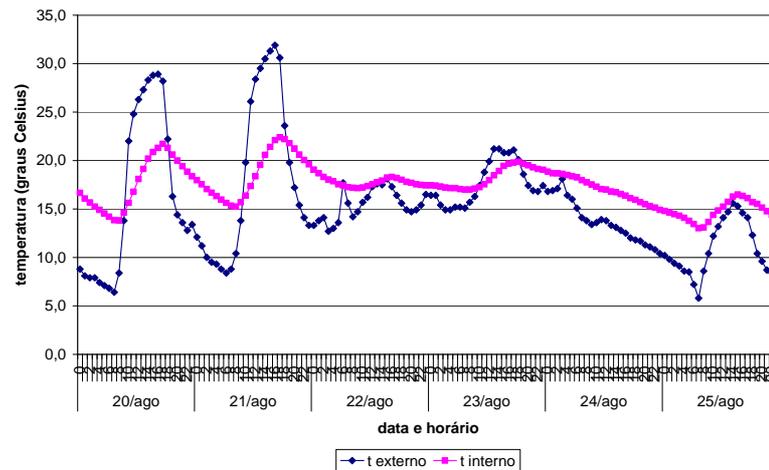


Figura 8. Temperatura do ar externo e interno entre 20 de agosto a 25 de agosto de 2004.

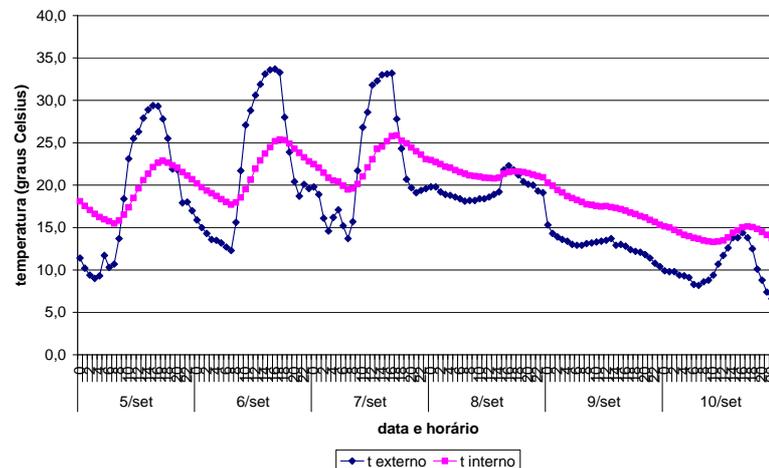


Figura 9. Temperatura do ar externo e interno entre 05 de setembro a 10 de setembro de 2004.

A figura 9, representando o comportamento da edificação frente a uma queda brusca de temperatura, apresenta uma seqüência de dias em que há temperaturas máximas do ar externo entre 30°C a 34°C, ocorrendo uma queda brusca de temperatura a partir do terceiro dia da seqüência, com temperaturas máximas atingindo o valor de 14°C e mínima de 4°C (11 de setembro, não indicado no gráfico). Observa-se que a temperatura do ar interno mantém-se próxima das temperaturas máximas do ar externo. A temperatura mínima do ar interno registrada nessa seqüência de dias é de 11°C para o dia 11 de setembro e a temperatura máxima do ar interno é de 26°C para o dia 07 de setembro. A temperatura mínima do ar interno mantém-se abaixo dos 18°C (limite inferior da zona de conforto de GIVONI) em pelo menos dois dias consecutivos mostrados no gráfico, mantendo-se acima dos 12°C, conforme ABNT (2004a).

3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Considerando-se os parâmetros calculados segundo procedimentos descritos por ABNT, observa-se que a edificação satisfaz a maioria dos critérios estabelecidos. No entanto, a análise de seu comportamento através de medições in loco indicam que alguns outros parâmetros poderiam ser considerados concomitantes àqueles já estabelecidos por ABNT. Em relação aos limites mínimos de temperatura do ar interno preconizados por ABNT (2004a) e GIVONI (1992), observa-se que o protótipo apresenta valores mínimos de temperatura abaixo da primeira referência e valores máximos

abaixo da segunda referência para vários dias das seqüências selecionadas. No entanto, em boa parte do tempo, o protótipo satisfaz o critério estabelecido pela ABNT (2004a), cujo limite inferior é 12°C. O protótipo responde de forma rápida às quedas bruscas de temperatura e tem uma resposta mais lenta para os aumentos de temperatura do ar externo. Embora os ganhos de calor interno não tenham sido considerados, o protótipo apresenta um pior desempenho para a condição de inverno do que de verão, considerando-se o critério estabelecido por GIVONI. Já para a condição de calor, o protótipo satisfaz o critério estabelecido por ABNT (2004a), ou seja, a temperatura do ar interno não ultrapassa o valor máximo registrado para a temperatura do ar externo. Mas em vários dias das seqüências analisadas, a temperatura do ar interno é superior àquela preconizada por GIVONI. MORELLO (2005a) analisou uma seqüência de sete dias com a menor médias das mínimas diárias de inverno e com a maior média das máximas diárias de verão. O autor observou que, para a condição de inverno, o protótipo apresenta cerca de 50% dos horários do dia com temperaturas abaixo dos 12°C, sendo que estiveram sempre abaixo dos 18°C. As temperaturas mínimas registradas no meio exterior foram da ordem de 2°C para esta semana. Já para a semana representativa da condição de verão, a temperatura do ar interno esteve sempre abaixo dos valores máximos de temperatura registrados no meio exterior, sendo a máxima registrada no meio interior de 30°C. Porém, a temperatura do ar interno esteve acima de 29°C em cerca de 30% dos horários do dia para a semana analisada. Em relação à resposta mais rápida da edificação para as quedas de temperatura, este comportamento pode estar relacionado à baixa capacidade da edificação como um todo em acumular calor, ou seja, baixa inércia térmica, desejável numa situação em que a variação de temperatura do ar externo seja superior a 10°C. Os parâmetros térmicos coeficiente de superfície pesada equivalente e efusividade térmica do ambiente poderiam ser considerados como requisitos de desempenho higrotérmico paralelamente àqueles indicados por ABNT. De acordo com a análise de dados de MORELLO (2005a), o atraso térmico promovido pela edificação é em torno de 1 a 3 horas, sendo maior para as temperaturas mínimas do que para as máximas. A edificação apresenta uma grande capacidade de amortecimento da amplitude de onda de temperatura do ar externo, principalmente para os dias com grande amplitude de onda de temperatura (maiores do que 20°C) e a manutenção das temperaturas do ar interno próximas das máximas registradas no meio exterior para a maioria das seqüências apresentadas para a condição de frio. A temperatura máxima do ar interno acontece aproximadamente ao final da tarde, com no máximo duas horas de defasagem da temperatura máxima registrada no meio exterior, ou seja, entre 16 e 17 horas. Já as temperaturas mínimas acontecem no meio interior entre 7 e 8 horas, muitas vezes sendo coincidentes com o valor de temperatura mínima do ar externo. Da análise dos dados, o atraso térmico, em geral é muito baixo, contrastando com o atraso térmico encontrado através de simulações matemáticas. Esta diferença é devido aos cálculos serem feitos considerando-se os fechamentos e não a edificação como um todo, valor obtido para as medições in loco, que expressam o atraso térmico dos fechamentos segundo sua distribuição espacial. Considerando-se que as máximas temperaturas do ar externo ocorrem em torno das 14 e 15 horas, as máximas temperaturas do ar interno poderiam ocorrer ao final da tarde, entre 18 e 19 horas, quando é possível contar-se com a ventilação natural através de temperaturas do ar externo mais baixas, para uma condição de verão. Ou seja, um atraso térmico da ordem de 4 horas. Segundo MORELLO (2005a, p. 130), existem muitos dias no período por ele classificado como verão em que se verificam amplitudes de temperatura da ordem de 10°C a 15°C, justificando uma preocupação com a inércia térmica da edificação para resfriamento, tal como proposto por PAPST (1999) para clima subtropical, além da possibilidade de ventilação noturna.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao se assumir o valor máximo de temperatura do ar externo como valor máximo admissível para a temperatura do ar interno define-se um critério demasiado desfavorável para o conforto dos usuários das edificações, para a cidade de Porto Alegre, onde se atingem temperaturas acima de 30°C com frequência no decorrer do ano. Existem limitações ligadas às medições in loco efetuadas: desconsideração da ocupação, aberturas mantidas fechadas durante o período de medições, entre outras. A despeito dessas limitações, depreende-se que um conjunto mais amplo de parâmetros térmicos poderia complementar aqueles descritos pela ABNT. A ABNT indica, segundo as zonas bioclimáticas, algumas estratégias de aquecimento ou resfriamento passivo. Porém tais diretrizes são

qualitativas. Concomitante à transmitância térmica, atraso térmico, fator de calor solar, coeficientes de absorção, capacidade térmica e áreas mínimas para ventilação, outros parâmetros térmicos relacionados à inércia térmica da edificação poderiam ser quantificados a fim de servirem como valores de referência. Em relação às análises efetuadas através das medições in loco, defende-se a necessidade de ampliar as seqüências de dias analisados para situações que expressem tipicidades locais, tal como ocorre com a cidade de Porto Alegre, onde grandes amplitudes de onda de temperatura, frentes frias e ondas de calor freqüentes justificam análises localizadas. A análise de três dias consecutivos com características semelhantes, tal como preconizado pela ABNT, poderá levar a avaliações incompletas do comportamento real da edificação.

5 REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15220-2: *Desempenho térmico de edificações*: Parte 2: métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 27p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15220-3: *Desempenho térmico de edificações*: Parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. 28p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* – Parte 1: Requisitos Gerais (02: 136.01.001). Rio de Janeiro: ABNT, 2004a. 53p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* – Parte 4: Fachadas e paredes internas (02: 136.01.004). ABNT, 2004b. 38p.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos* – Parte 5: Coberturas (02: 136.01.007). Rio de Janeiro: ABNT, 2004c. 48p.

AROZTEGUI, J. M.; BRIZOLARA, A.. *Abordagem do estabelecimento de exigências de desempenho térmico das paredes feitas de concreto de diversos tipos, quando aplicadas à habitação popular*. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1980. Caderno Técnico. 63p.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243p.

GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, vol. 18, 1992. p. 11-23.

GIVONI, Baruch. *Man, climate and architecture*. London: Applied Science, 1981. 483p.

GOULART, Solange. *Thermal inertia and natural ventilation – optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*. 2004. 154p. Thesis (Doctor of Philosophy). Architectural Association School of Architecture Graduate School. UK.

MORELLO, Alessandro. *Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada*. 2005a. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

MORELLO, Alessandro. Dados não publicados pelo autor. 2005b.

PAPST, Ana Lígia. *Uso de inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis – SC*. 1999. 180f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

SATTLER, Miguel Aloysio. *Computer-based design techniques for the thermal analysis of low cost housing in Brazil, incorporating the use of shading by trees*. 1987. 95p. Thesis (Doctor of Philosophy). Faculty of Architectural Studies. Department of Building Science. University of Sheffield. Sheffield. UK. (com anexos).