



## **AVALIAÇÃO TÉRMICA DE *TEST-CELLS* DE BLOCOS DE CONCRETO COM VARIAÇÃO DE PINTURA, ENCHIMENTO DOS FUROS COM ENTULHO E REVESTIMENTO REALIZADA A PARTIR DE MEDIÇÕES *IN LOCO* EM BRASÍLIA**

**Márcio Hissashi Komeno (1); Rosa Maria Sposto (2), Eduardo Krüger (3)**

(1) Mestrando, Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil, UNB  
e-mail: marciohk@hotmail.com

(2) Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>, Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil Depto de Eng. Civil e Ambiental da Universidade de Brasília – PECC – ENC -UnB  
e-mail: rmsposto@unb.br

(3) Prof. Dr., Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Depto de Construção Civil do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - PPGTE - CEFET-PR  
e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

### **RESUMO**

A análise do desempenho térmico de habitações é fundamental para contribuição da reflexão e geração de sistemas construtivos que garantam o conforto mínimo para o usuário. Na busca de economia na construção, freqüentemente observam-se ausência de revestimento e pintura, sendo esta última mais comum em alvenarias de bloco de concreto. A realização de medições *in loco* para avaliação de desempenho térmico de habitações com novos materiais e componentes ou mesmo com sistemas de baixo custo, conforme citado, é muitas vezes onerosa, sendo que os modelos reduzidos ou *test-cells* se apresentam como um primeiro passo para contribuir com estes estudos. Este trabalho tem por objetivos a avaliação da pintura na cor branca e da utilização de entulho como enchimento dos furos de blocos de concreto em *test-cells* de 1m<sup>3</sup> de volume interno. Pretende-se em trabalhos futuros realizar simulações em uma habitação em escala real e em *test-cells* com as mesmas configurações de paredes utilizadas neste trabalho, para efeito de comparação entre ambas.

### **ABSTRACT**

Thermal analysis of dwellings is very important for contributing to a broader discussion and development of building systems with minimum comfort to their users. Aiming at low-cost solutions, the use of plaster and building finishes is frequently avoided in buildings, especially with regard to concrete blocks. On site measurements for evaluating the thermal performance of whole buildings where new materials and components are considered or even that of low-cost building systems can be cost intensive, so that scale models can be a first step in order to contribute to such studies. The purpose of this study is to evaluate the use of lighter colours in external surfaces and the addition of thermal mass in hollow concrete blocks, by considering 1m<sup>3</sup> test-cells. Future developments include computer simulations of a real scale building in order to compare its results with those of test-cells, considering the same wall configurations of this study.

## 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVO

A crise de energia, o impacto ao meio ambiente e a degradação das fontes naturais de recursos que ocorrem no Brasil e no mundo apontam para a necessidade de pesquisas sobre materiais de construção, incluindo o reaproveitamento de resíduos da construção.

A análise do desempenho térmico realizada em protótipos adquire importância na medida em que pode fornecer subsídios para a economia de energia da edificação em uso, e pode ser realizada a partir da seleção e especificação de materiais e componentes adequados à habitação. Além disso, o desempenho térmico faz parte dos requisitos estabelecidos na ISO DP 6241 (1979) para as edificações.

A NBR 02:135.07-003 (2003) recomenda para a cidade de Brasília o uso de edificações com paredes pesadas e cobertura leve e isolada, e, quanto às diretrizes construtivas, a utilização, no verão, de resfriamento evaporativo e massa térmica para resfriamento como forma de condicionamento térmico passivo. Observa-se, a partir destas recomendações, que a inércia térmica é uma estratégia passiva para permitir o melhor desempenho térmico.

Além da inércia térmica, tem-se que a pintura também exerce influência na melhoria do desempenho térmico de edificações. Trabalho anterior de CHENG ET AL (2003) analisa a influência da pintura em modelos reduzidos ou *test-cells*.

Este trabalho tem por objetivo avaliar a pintura de *test-cells* de blocos de concreto, considerando-se variações de revestimento e enchimento de entulho nos furos dos blocos. A comparação entre as células foi realizada durante o período de inverno. Em trabalhos futuros serão realizadas simulações para analisar o comportamento das situações monitoradas nas *test-cells* para uma habitação de interesse social.

## 2. METODOLOGIA

Para a execução do trabalho foram construídas três *test-cells* de blocos de concreto, avaliando-se o desempenho térmico sem o efeito da pintura das paredes e com pintura na cor branca. As configurações consideradas para cada uma das *test-cells* foram: paredes sem revestimento e sem entulho; paredes sem revestimento e com entulho e paredes com revestimento e com entulho. Uma etapa prévia desta pesquisa consistiu em simular as *test-cells* antes de sua construção, fazendo-se uma projeção dos resultados esperados (KOMENO et al., 2004).

Realizaram-se medições in loco de temperatura interna das *test-cells* por meio de termo-higrógrafos. Os dados de temperatura externa foram obtidos da Estação Meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizado a aproximadamente 6,5km do local de construção das células.

As medições foram realizadas no período de 9/08 a 29/08, em um total de três semanas do período de inverno de Brasília.

Para a aquisição dos dados referentes à temperatura interna das células, procedeu-se à digitalização dos diagramas dos termo-higrógrafos, permitindo a otimização da aquisição dos dados monitorados, conforme será mostrado mais adiante.

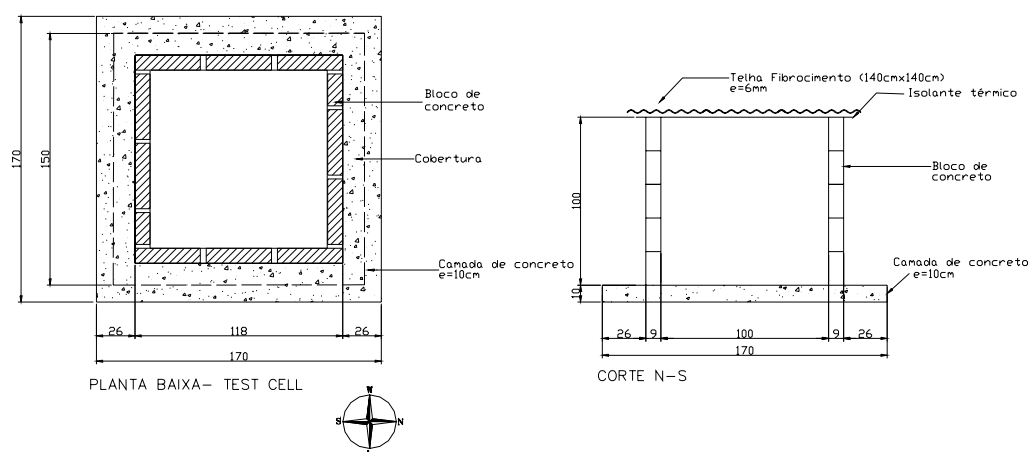
## 3. DESCRIÇÃO DAS TEST-CELLS

Foram construídas três *test-cells*, de dimensões internas de 1m × 1m × 1m, no Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, da Universidade de Brasília, em local reservado para estudos das áreas de Tecnologia ambiental e de Sistemas construtivos e materiais. A vantagem na utilização das *test-cells* reside no fato de sua construção requerer um custo baixo.

As paredes das *test-cells* são constituídas por blocos de concreto de vedação com espessura de 9cm com juntas de argamassa de cimento e areia. A pintura dos blocos foi realizada com tinta branca acrílica, com 3 demãos, devido à alta porosidade dos blocos de concreto. As características das paredes das células encontram-se descritas a seguir:

- *Test-cell 1 (TC1)*: Parede de bloco de concreto de 9cm, aparente e sem enchimento interno dos furos do bloco;
- *Test-cell 2 (TC2)*: Parede de bloco de concreto de 9cm, aparente e com enchimento interno com entulho nos furos dos blocos;
- *Test-cell 3 (TC3)*: Parede de bloco de concreto de 9cm, com revestimento de 2cm e com enchimento interno com entulho nos furos dos blocos.

As *test-cells* foram construídas sobre uma base de concreto armado de 10cm, com cobertura de telha de fibrocimento de 6 mm, de dimensões de 1,50m x 1,50m. Sob a cobertura, foi utilizado também um isolante térmico de lã de vidro, com 5cm de espessura. A orientação solar é o eixo leste-oeste, com as paredes voltadas para o norte verdadeiro. A Figura 1 apresenta uma planta e um corte das *test-cells* utilizadas no estudo.



**Figura 1 – Planta baixa e corte da *test-cell* construída**

Na Figura 2 podem ser visualizadas as três células construídas. Conforme descrito anteriormente, duas das *test-cells* possuem enchimento dos furos dos blocos com entulho, sendo este proveniente do tritramento e peneiramento do entulho de concreto<sup>1</sup> adquirido pela companhia NOVACAP (Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil). A Figura 3 apresenta uma vista geral das *test-cells* em outra etapa de monitoramento, com pintura das paredes na cor branca.



**Figura 2 - *Test-cells* sem pintura construídas na Universidade de Brasília.**



**Figura 3 - *Test-cells* com pintura externa de cor branca**

<sup>1</sup> O entulho é proveniente de resíduos de placas de passeios públicos e tubos de águas pluviais, constituído basicamente por concreto.

#### 4. DIGITALIZAÇÃO DOS DADOS DO TERMO-HIGRÓGRAFO

Para otimizar a aquisição dos dados monitorados pelos termohigrógrafos de temperatura, foi utilizado um processo de digitalização das leituras dos diagramas dos aparelhos (transformação dos diagramas climáticos analógicos em séries numéricas). A metodologia utilizada foi a descrita por PEREIRA (2004).

A metodologia consiste em scanear o diagrama com os dados monitorados (leituras de temperatura do interior da *test-cell*), e utilizar o Autocad® para obtenção das coordenadas das curvas após a realização do traçado de uma “*polyline*” sobreposta à curva do diagrama. Os dados adquiridos são então corrigidos e interpolados para se obterem as temperaturas nos horários desejados.

As etapas do processo de aquisição dos dados do termo-higrógrafo podem ser resumidas da seguinte forma:

- Digitalização dos diagramas dos termo-higrógrafos;
- Traçado da “*polyline*” no Autocad®, sobreposta à curva de temperatura do diagrama. Na Figura 4 pode-se visualizar a “*polyline*”, traçada sobre a curva de temperatura do diagrama do termo-higrógrafo;

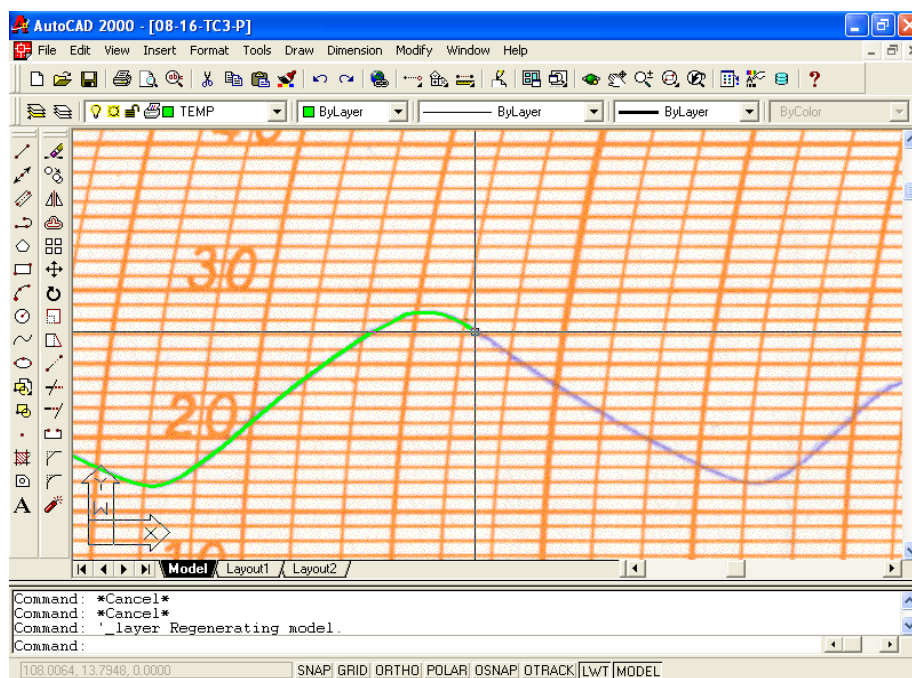


Figura 4 - Imagem do Autocad® – traçado da “*polyline*”

- Obtenção das coordenadas X,Y da curva de temperatura;
- Correção dos valores das abscissas: Os termohigrógrafos apresentam diagramas nos quais a escala de tempo é ajustada pelo fato da haste da pena realizar movimento em arco. Pelo fato dos dados adquiridos pelo Autocad® serem cartesianos, necessita-se realizar uma correção dos mesmos;
- Interpolação dos dados: Foi realizada uma interpolação linear para se determinar a temperatura a cada quarto de hora (intervalo desejado para se determinar a média horária de temperatura).

## 5. RESULTADOS

### 5.1 Análise das medições realizadas

São apresentados a seguir dados do monitoramento realizado no período de inverno. As medições de temperatura foram realizadas no mês de agosto, no período de 09/08/04 a 29/08/04, totalizando três semanas de medição. São apresentadas nas Figuras 5, 6 e 7 as situações em que o monitoramento foi realizado considerando as *test-cells* com: cor cinza original dos blocos, em fase de pintura das faces externas das paredes (3 dias sem pintura e 4 dias com pintura branca) e com pintura branca das paredes, respectivamente. A Figura 5 apresenta os dados obtidos na semana correspondente ao período de 09/08/04 a 15/08/04, com as células na cor cinza original dos blocos.

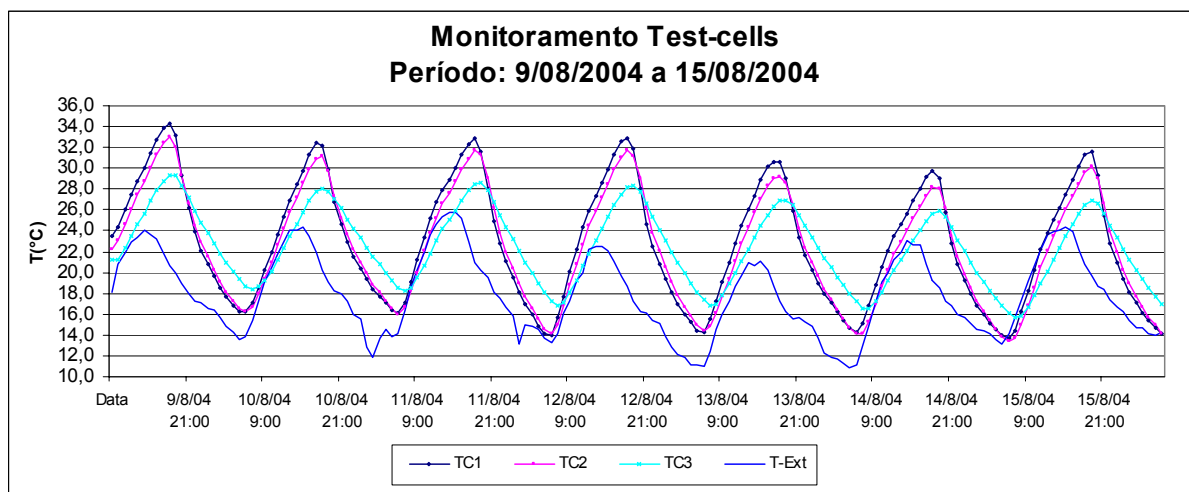


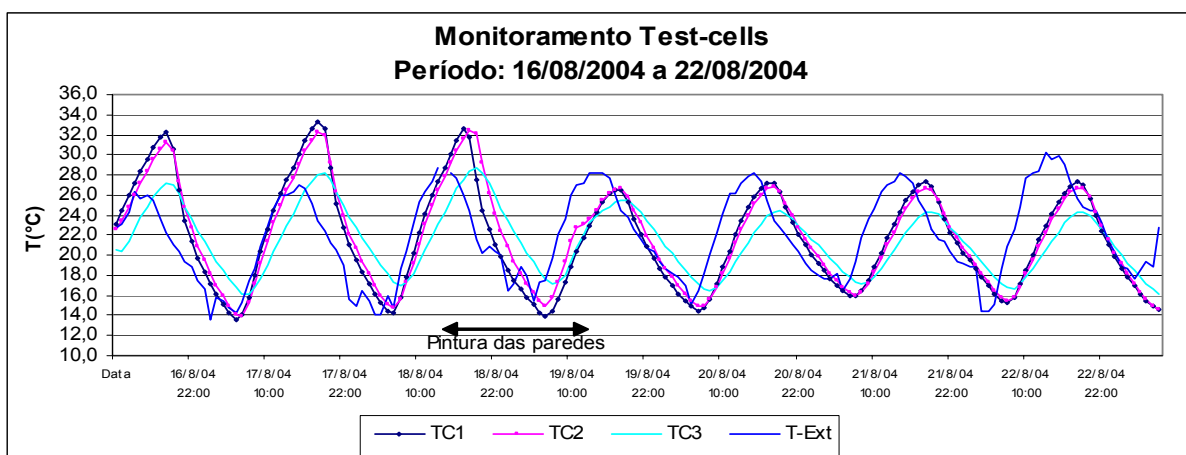
Figura 5 – Monitoramento das *test-cells* e temperatura externa - 9/08/04 a 15/08/04 (sem pintura)

Apesar do período de monitoramento ser o inverno, puderam ser observadas elevadas temperaturas internas para as células TC1 e TC2, registrando-se as máximas de 34,3°C e 33,0°C, respectivamente (caso do dia 9/08). A célula TC2 sempre apresentou temperaturas máximas um pouco inferiores a TC1. Com uma temperatura máxima de 29,4°C, a TC3 apresenta uma diferença considerável em relação às demais.

Todas as temperaturas máximas internas para a semana monitorada foram superiores às máximas externas. Pôde-se observar também o efeito do atraso térmico. Enquanto a temperatura máxima externa ocorria entre as 15 e 16 horas, as temperaturas máximas internas ocorreram aproximadamente entre 19 horas e 20 horas, havendo um leve deslocamento dos valores máximos da TC3 em relação às demais (notável também quando do resfriamento noturno).

Com relação às temperaturas mínimas observou-se também um comportamento semelhante para as células TC1 e TC2, sendo a temperatura mínima registrada de 13,7°C e 13,4°C respectivamente. A célula TC3 apresentou menor oscilação, com mínima de 15,7°C.

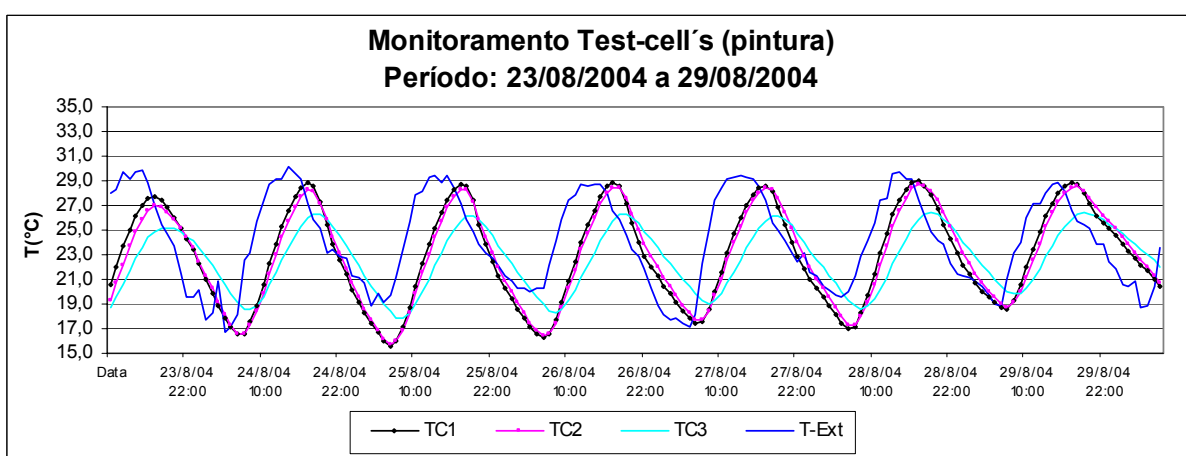
Na Figura 6 está representado o período de 16/08/04 a 22/08/04, que corresponde à semana em que foi realizada a pintura de cor branca nas paredes das *test-cells*.



**Figura 6 – Monitoramento das *test-cells* e temperatura externa- 16/08/04 a 22/08/04 (fase de pintura)**

Verificou-se a diminuição significativa das temperaturas interiores máximas das *test-cells* com a aplicação da pintura branca das células. Pode-se perceber que a diferença entre as temperaturas internas das *test-cells* com relação à temperatura externa são muito maiores quando não há pintura nas paredes, havendo redução significativa das máximas. Com a aplicação da pintura, verifica-se que as máximas internas passam a ser inferiores às máximas externas.

O período de 23/08/04 a 29/08/04 é representado na Figura 7, em que as células apresentam suas paredes pintadas de branco, sendo que as observações são similares ao exposto para a figura anterior, com exceção dos dias 26/08/04 e 29/08/04. Nestes dias, as temperaturas máximas de TC1 foram praticamente iguais às temperaturas máximas externas.



**Figura 7 – Monitoramento das *test-cells* e temperatura externa - 23/08/04 a 29/08/04 (com pintura)**

## 5.2 Delta T - Temperaturas Máximas e mínimas

Para realizar comparações entre as diferentes semanas tomou-se como base a análise por meio de  $\Delta T$ . Foram utilizadas:

- Diferença entre a temperatura máxima diária externa e interna:

$$\Delta T_{\text{Max}} = T(\text{Max}_{\text{ext}}) - T(\text{Max}_{\text{int}})$$

- Diferença entre a temperatura mínima diária interna e externa:

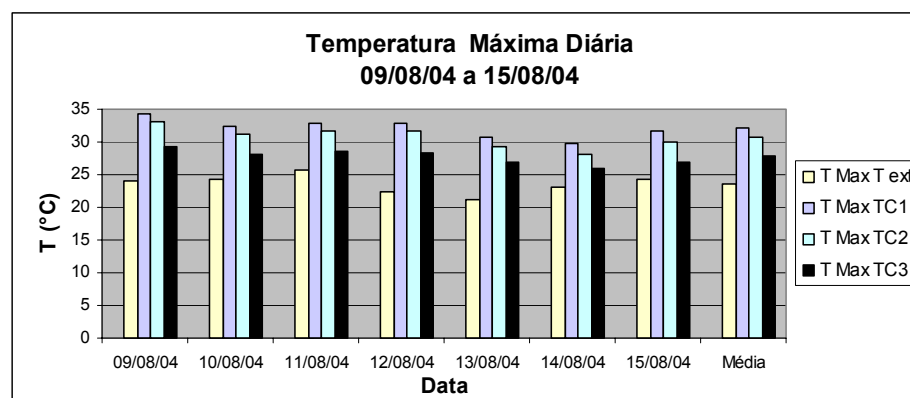
$$\Delta T_{\text{Min}} = T(\text{Min}_{\text{int}}) - T(\text{Min}_{\text{ext}})$$

A Tabela 1 apresenta as temperaturas máximas obtidas nas *test-cells* e a temperatura externa de cada dia da semana de 09/08/04 a 15/08/04, com as paredes na cor cinza.

**Tabela 1 –  $\Delta T$  Temperaturas máximas (Semana 09/08/04 a 15/08/04)**

Data	T Max (°C)				$\Delta T_{Max}$ (°C)		
	T ext	TC1	TC2	TC3	(TC1)	(TC2)	(TC3)
09/08/04	24,1	34,3	33,0	29,4	-10,2	-8,9	-5,3
10/08/04	24,3	32,4	31,1	28,1	-8,1	-6,8	-3,8
11/08/04	25,8	32,8	31,7	28,6	-7,0	-5,9	-2,8
12/08/04	22,5	32,9	31,7	28,3	-10,4	-9,2	-5,8
13/08/04	21,1	30,7	29,2	27,0	-9,6	-8,1	-5,9
14/08/04	23,1	29,8	28,2	25,9	-6,7	-5,1	-2,8
15/08/04	24,3	31,7	30,1	26,9	-7,4	-5,8	-2,6
Média	23,6	32,1	30,7	27,7	-8,5	-7,1	-4,1

As temperaturas internas para o período considerado foram superiores à temperatura externa para todos os dias da semana, conforme apresentado na Figura 8. Neste período, as paredes das células não haviam sido pintadas. Realizando-se a média das temperaturas máximas, verificam-se as seguintes temperaturas para TC1, TC2 e TC3 respectivamente, 32,1°C, 30,7°C e 27,7°C, enquanto a média externa era de 23,6°C.



**Figura 8 – Temperaturas máximas das *Test-cells* e temperatura externa (09/08/04 a 15/08/04)**

Pode-se verificar, por exemplo, a grande diferença existente entre a temperatura máxima externa e a máxima interna para a TC1. A média desta diferença para TC1 é de 8,5K. A utilização de entulho no interior dos blocos (TC2) ameniza um pouco esse pico, sendo esta diferença de 7,1K em média. A célula TC3 apresenta a menor oscilação que as demais, estando sua temperatura em média de 4,1K acima da máxima externa quando as paredes estão na cor cinza.

Verifica-se que o enchimento de entulho nos vazios do bloco (TC2) ameniza as temperaturas máximas, quando comparado com TC1 (bloco sem nenhum enchimento). Na Tabela 2, pode-se visualizar uma pequena diferença entre estas duas *test-cells*, nas duas semanas consideradas. Na semana sem pintura, a diferença entre as duas células é de 1,4K ( $\Delta T = 32,1 - 30,7$ ), enquanto que com

a pintura, esta diferença diminuiu para 0,4K ( $\Delta T = 28,6 - 28,2$ ), apesar da maior média de temperatura externa. Ou seja, a pintura diminuiu a diferença proveniente da inclusão deste material. Isso também se verificou na comparação entre TC1 e TC3, havendo um decréscimo de 4,4K, no primeiro caso (sem pintura) para 2,5K, no segundo.

**Tabela 2 – Comparação – Média  $\Delta T$  Temperaturas máximas**

Semana	Pintura	T Max (°C)				$\Delta T_{Max}$ (°C)		
		T ext	TC1	TC2	TC3	TC1	TC2	TC3
09/08/04 a 15/08/04	Não	23,6	32,1	30,7	27,7	-8,5	-7,1	-4,1
23/08/04 a 29/08/04	Sim	29,5	28,6	28,2	26,1	0,8	1,2	3,3

Quanto à temperatura mínima (Tabela 3), não houve diferença quanto ao enchimento dos furos com entulho. Ao se comparar TC1 e TC2, as médias de temperaturas mínimas permaneceram praticamente iguais. Para TC3, este valor era sempre superior às demais células. As médias das temperaturas mínimas das células são superiores à média da temperatura externa, no caso da semana sem pintura, não ocorrendo o mesmo com as paredes pintadas na cor branca.

As semanas consideradas, que compreendem o período do inverno, mostraram a necessidade de uma maior inércia térmica (TC3) para que houvesse diferenças significativas entre as temperaturas mínima interna e mínima externa.

**Tabela 3 – Comparação – Média  $\Delta T$  Temperaturas mínimas**

Semana	Pintura	T Mín (°C)				$\Delta T_{Mín}$ (°C)		
		T ext	TC1	TC2	TC3	TC1	TC2	TC3
09/08/04 a 15/08/04	Não	12,6	15,0	15,0	17,3	2,4	2,4	4,7
23/08/04 a 29/08/04	Sim	18,4	16,6	16,7	18,3	-1,9	-1,7	-0,1

Com a pintura, pode-se observar que há uma inversão dos valores da diferença entre a média de temperatura mínima externa e as das *test-cell* TC1 e TC2. Enquanto esta diferença era de 2,4K para a semana sem pintura, esta alterou-se em média para -1,8K com a pintura, sendo a temperatura interna inferior à externa. Isso se dá em virtude das *test-cells* com pintura branca não se aquecerem demasiadamente durante o dia. Associando-se a isto a defasagem devido à própria inércia dos materiais empregados, o resfriamento interno passa a ocorrer praticamente no período noturno e de modo mais rápido que externamente.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Quando das medições da primeira semana, referente ao período de 09/08 a 16/08 (*test-cells* sem pintura), observaram-se elevadas temperaturas internas para as células TC1 e TC2, registrando-se as máximas de 34,3°C e 33,0°C, respectivamente. A TC2 apresentou temperaturas máximas um pouco inferiores a TC1. E a TC3 apresentou temperatura máxima de 29,4°C.



A segunda semana de medições refere-se ao período de 16/08 a 22/08, e equivale às *test-cells* com pintura na cor branca. Verificou-se a diminuição significativa das temperaturas interiores máximas das *test-cells* com a aplicação da pintura branca das células. Com esta condição, verifica-se que as máximas internas passam a ser inferiores às máximas externas em praticamente todos os dias do experimento.

Nos resultados monitorados, constatou-se que a utilização de entulho (TC2) não representou uma diferença tão expressiva quanto à advinda da utilização de entulho e reboco (TC3) ou da utilização de pintura branca. Comparando-se TC1 e TC2, na semana sem a pintura, verifica-se uma pequena diferença entre as temperaturas máximas (32,1°C e 30,7°C respectivamente), enquanto TC3 apresentou a média de 27,7°C. A aplicação da pintura se faz mais eficiente na redução das temperaturas máximas. Mesmo sendo a média de temperatura externa superior para a semana com a pintura (23/08/04 a 29/08/04), a média da temperatura de TC1 foi de 28,6°C, inferior à média externa (29,5°C). Quanto às *test-cells* com melhorias (pintura, entulho e reboco), observaram-se, em alguns casos, que no período noturno as suas temperaturas internas apresentam um resfriamento mais rápido que externamente.

Por fim, quanto ao uso de protótipos em escala reduzida, como os enfocados neste estudo, deve-se ressaltar a sua importância na avaliação de materiais não-convencionais, dos quais não se tem conhecimento prévio sobre suas características térmicas, como é o caso dos blocos preenchidos com entulho. Como prosseguimento à pesquisa, pretende-se realizar simulações das *test-cells* monitoradas e de habitações em escala real, com o objetivo de analisar se ocorre ou não o mesmo comportamento observado nas *test-cells* e nas configurações estudadas em uma habitação real. Quanto a este aspecto, observa-se, contudo, que uma limitação de grande parte dos softwares de análise térmica de edificações está relacionada ao modelo adotado para os fluxos de calor. Em geral, os modelos supõem fluxos em uma única direção, do ponto mais quente para o mais frio, não tendo sensibilidade para identificar toda a complexidade existente quando se trata de avaliar aumentos da escala em termos de volume de ambiente.

Sugere-se que sejam realizados testes em modelos em escala reduzida, partindo-se de diferentes configurações de volume, para diferentes tipos de material.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR 02.135.07-003. (2003) “Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social”, Rio de Janeiro.
- CHENG, B.; GIVONI, B.; NG, E. (2003) “Sensitivity of Envelope Colour: Effect of thermal mass, Windows, and natural ventilation on high-rise buildings in hot humid Hong Kong”. in: PLEA 2003. Santiago.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (1979). “Guidance on the preparation of performance standards in buildings”. Draft Proposal ISO DP 6241, London.
- KOMENO, M.H.; SPOSTO, R.M.; KRÜGER, E.L. (2004). “Efeito da inércia térmica em blocos de concreto com adição de entulho para habitações. Estudo de caso em Brasília”. in: Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais - NOCMAT 2004, Pirassununga.
- PEREIRA, I.; ALVES, T.; PINHEIRO, R.; ASSIS, E. (2004). “Metodologia de tratamento de dados climáticos para inserção em softwares de simulação energética de edifícios”. in: X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. ENTAC 2004. São Paulo.