

Viabilidade energético-econômica de habitações de interesse social em Brasília com uso de blocos de concreto e entulho

(Economic-energetic feasibility study of the utilization of hollow concrete blocks with rubble in low-cost housing in Brasilia)

Rosa Maria Sposto

*Professora do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Brasília
Doutora na área de Estruturas Ambientais Urbanas pela Universidade de São Paulo. E-mail: rmsposto@unb.br*

Márcio Hissashi Komeno

*Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília, Mestre em Estruturas e Construção Civil
E-mail: marciohk@unb.br*

Eduardo Leite Krüger

Prof. do Depart. de Construção Civil, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Univ. Tecnológica Federal do Paraná UTFPR, Doutor em Arquitetura pela Universidade de Hannover (Alemanha) E-mail: ekruger@utfpr.edu.br

Resumo

Nesse trabalho, são analisadas alternativas energético-econômicas de paredes de bloco de concreto com preenchimento dos furos do bloco com entulho de demolição para habitações de interesse social. A hipótese do estudo tem como base o aumento da inércia térmica pelo uso do entulho no furo do bloco. Também são analisadas as influências do revestimento e da pintura de branco das paredes. Foram realizadas medições no verão em modelos reduzidos, denominados de *test-cells*, adotados como alternativa de maior facilidade e de menor custo de construção, comparativamente às habitações em escala real. Após as medições, procedeu-se à calibração do modelo utilizado nas *test-cells* e, em seguida, foram realizadas simulações de habitações em escala real. Os resultados apontam como sendo a melhor alternativa energético-econômica a solução com bloco de 14 cm de largura com entulho e sem revestimento. Ainda, a pintura na cor branca se mostrou fundamental para a melhoria no desempenho térmico das habitações. Essa alternativa representa uma nova possibilidade para a destinação do entulho de construção, com um menor prejuízo para o meio ambiente, além da economia de energia gerada.

Palavras-chave: Desempenho térmico, utilização de entulho de obra, monitoramento térmico, células-teste.

Abstract

This study comprises an energetic and economic feasibility analysis of adding rubble to conventional masonry in low-cost houses. It was assumed that an increase in thermal mass should be expected with the addition of rubble to hollow concrete blocks. The study also analyzes the influence of adding external plaster and white painting to this masonry. Measurements in 1m³ test-cells were carried out during summer, followed by computer simulations in order to calibrate results obtained in the test-cells. After calibration, an ordinary low-cost house was simulated using the same configurations of the experimental part of the study with the purpose of evaluating resulting thermal performance in full scale. Results indicated that the best energetic and economic alternative consists of concrete blocks with 14 cm width with rubble internally and no plaster externally. It was also observed an improvement in the thermal performance of the simulated building with the white painting. Next to an improvement in thermal performance, a new possibility is presented regarding a proper destination of rubble from civil construction.

Keywords: Thermal performance, utilization of rubble, thermal monitoring, test-cells.

1. Introdução

A busca da melhoria do conforto térmico em habitações de interesse social tem sido cada vez maior, pois trata da qualidade de vida de uma grande parte da população. O maior consumo energético para o condicionamento térmico dessas habitações é um problema para essa população, que recebe de um a três salários mínimos mensais. Ocorre que a maioria dela é obrigada a conviver com o desconforto no dia-a-dia no interior da habitação, que, freqüentemente, apresenta desempenho térmico insatisfatório.

A melhoria do conforto térmico de habitações é alcançada por meio de projeto, orientação, tipos de materiais, etc. O aumento da inércia térmica também é muito recomendado, sendo esta a capacidade que uma edificação tem de armazenar e liberar calor, sendo que o seu uso resulta no retardo e na diminuição dos picos de calor externos. A necessidade de grande inércia térmica aumenta quanto maior for a variação da temperatura externa, a radiação solar e os ganhos de calor (PAPST, 1999). Nóren et al. (1999) compararam três edificações suecas com diferentes inércias térmicas e concluíram que o consumo anual de energia necessária (aquecimento ou resfriamento mecânico) foi menor para a habitação com maior inércia térmica.

AABNT NBR 15.220-3 (2005) recomenda, para Brasília, o uso de paredes com maior inércia térmica e cobertura leve e isolada. Ainda, Maciel (2002) apontou, em estudo realizado para Brasília, para a necessidade de resfriamento nos meses mais quentes e de aquecimento nos meses mais frios, sendo a inércia térmica uma estratégia bioclimática recomendada para melhoria do desempenho térmico.

A principal justificativa desse trabalho é a pesquisa de alternativas econômicas para o aumento da inércia térmica de habitações de interesse social, visando à melhoria no seu desempenho térmico.

O entulho de construção e demolição pode ser uma das soluções baratas

para esse problema, utilizado para compor parte dos materiais e componentes da habitação; a idéia é que a sua inclusão, em paredes de blocos de concreto, traga um aumento na sua inércia térmica. Além disto, o uso do entulho reciclado contribui para a minimização do impacto ambiental causado pela disposição do entulho *in natura* em aterros não controlados, hoje um problema nacional agravado em função da maior quantidade gerada nos grandes centros urbanos. No Brasil, de acordo com Ângulo et al. (2004), são geradas 68,5 milhões de toneladas de entulho por ano.

Esse trabalho tem, como objetivo, o estudo da viabilidade energético-econômica de habitações de interesse social com blocos de concreto com seus furos preenchidos com entulho de demolição. Será analisado o aumento da inércia térmica com a inclusão do entulho para três hipóteses: a parede convencional (sem entulho e sem revestimento), a parede com entulho e sem revestimento e a parede com entulho e revestimento. Além disso, também será analisada a influência da cor branca das paredes. E, por fim, para a análise de viabilidade econômica, será apresentado um comparativo de preços por metro quadrado da melhor solução, do ponto de vista térmico, selecionada, preliminarmente, no estudo e de uma habitação-padrão.

2. Metodologia

Primeiramente procedeu-se a medição de temperatura interna, em modelos reduzidos da habitação, denominados de *test-cells*. O item 2.2 descreve a construção desses modelos e as hipóteses consideradas nesse estudo. Para as temperaturas externas, consideraram-se os dados coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, situado em Brasília. A seguir, realizou-se a calibração dos dados obtidos nas medições e nas simulações das *test-cells*, em uma habitação em escala real.

Para a análise da viabilidade econômica, calculou-se o preço da alvenaria de blocos com a solução que apre-

sentou melhor desempenho térmico nesse estudo, comparativamente a uma alvenaria-padrão convencional de blocos de concreto.

2.1 Medições de temperatura

Foram realizadas medições de temperatura interna, no verão, em três *test-cells*, considerando-se pintura branca e cinza, sendo esta última a cor original do bloco de concreto. Para as medições, foram utilizados termo-higrógrafos, localizados no centro das *test-cells*, a meia altura do piso. Para as medições externas, foram utilizados os dados coletados pela estação total do INMET, situada cerca de 6,5 km do local.

2.2 Test-cells: descrição dos materiais e construção das test-cells

As *test-cells* foram construídas com dimensões internas de 1mx1mx1m, referentes ao comprimento, largura e altura, com paredes de blocos de concreto de 90 mm de largura. No caso da hipótese da parede com revestimento, foi utilizado reboco paulista ou massa única de 20 mm de espessura. Na cobertura, utilizou-se forro de lã de vidro de 50 mm e telha de fibro-cimento de 6 mm de espessura. Quanto à localização, as *test-cells* foram orientadas no eixo leste-oeste, com suas paredes desobstruídas para o norte verdadeiro. As hipóteses estudadas são:

- TC1 - blocos de concreto sem entulho e sem revestimento.
- TC2 - blocos de concreto com entulho e sem revestimento.
- TC3 - blocos de concreto com entulho e com revestimento.

O entulho utilizado, nessa pesquisa, foi fornecido pela NOVACAP, de Brasília - DF, sendo proveniente de demolição de placas de passeios públicos e tubos de águas pluviais, e constituído, basicamente, por concreto. O referido entulho foi triturado em britador do tipo mandíbula. Devido a sua granulometria apresentar grande dimensão, realizou-se

um primeiro peneiramento com tela de 20 mm; para a retirada dos finos, realizou-se um segundo peneiramento, com tela de 4 mm, utilizando-se o material retido na peneira. A Figura 1 apresenta uma vista da construção das *test-cells* e do entulho no furo dos blocos.

2.3 Simulação

Com o objetivo de verificar se a magnitude de melhoria obtida nas *test-cells* pode ser observada também em uma habitação em escala real, procedeu-se à simulação de uma habitação, empregando-se os mesmos materiais das *test-cells* propostas. Para isto, foram realizadas as calibrações nos dados de entrada do software, comparando-se os dados monitorados nas *test-cells* com os dados simulados das células no software.

Para a simulação, foi utilizado o software COMFIE, de origem francesa, que apresenta algumas vantagens em relação a outros softwares, como a facilidade de manuseio, a consideração de troca de calor entre os vários ambientes internos de uma edificação e a possibilidade de inserir dados climáticos no sistema, além de ser validado, experimentalmente, pela Universidade de Stuttgart (Peuportier et al., 1994). Para a habitação, foi utilizado um projeto de dois dormitórios, sala, cozinha e banheiro.

3. Resultados

3.1 Resultados das medições

A seguir serão apresentados os resultados obtidos para as *test-cells* na cor cinza e na cor branca. Optou-se pela apresentação dos resultados das medições das *test-cells* primeiro na cor cinza e, em seguida, na cor branca, para que as melhorias ocorridas com a cor branca possam ser mais bem visualizadas; no en-

tanto, essas medições são parte de uma série de outras, realizadas para todas as estações do ano por Komeno et al. (2003), os quais realizaram medições, primeiramente, na cor branca e, depois, na cor cinza.

- **Cor cinza:** As medições, nesse caso, foram realizadas entre os dias 20/02/2005 a 05/03/2005 e os resultados são apresentados na Figura 2.



Figura 1 - *Test-cell* com entulho nos furos dos blocos.

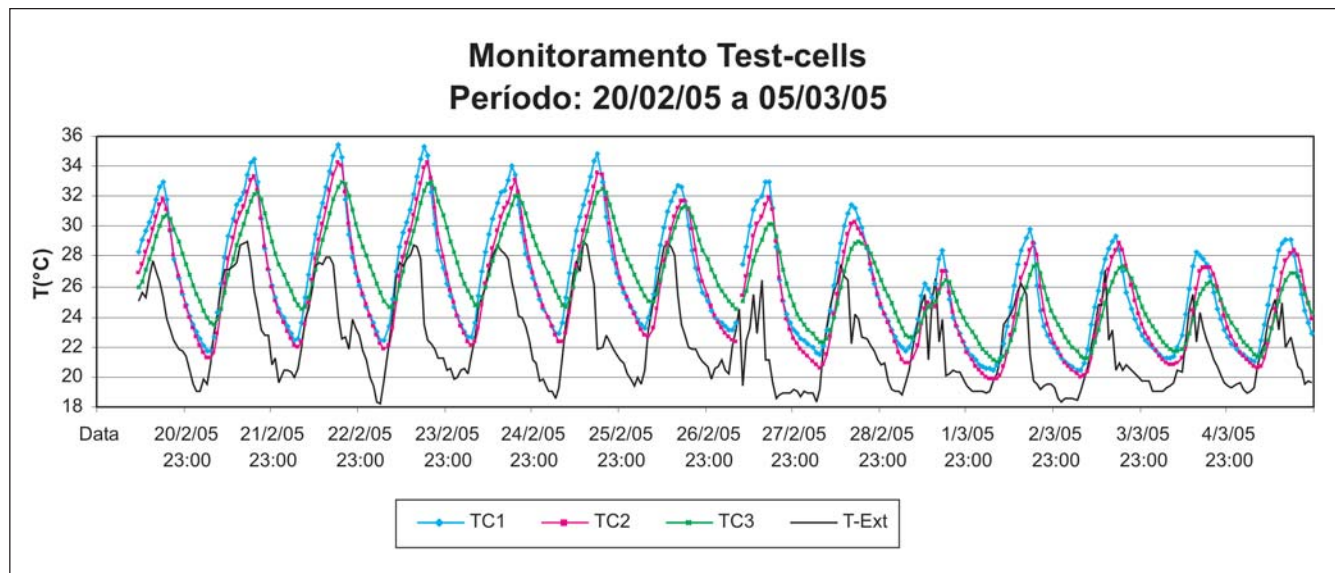


Figura 2 - Resultados obtidos nas medições de *test-cells* com pintura cinza entre os dias 20/02/2005 a 05/03/2005.

Na Figura 2, podem ser observadas altas temperaturas internas, sempre superiores à externa. Com relação às *test-cells*, observa-se que TC1 apresenta temperaturas internas maiores que as demais, tendo, portanto, o pior desempenho, seguida de TC2. TC3 apresenta o melhor desempenho entre as *test-cells*, mas, mesmo assim, apresenta temperaturas internas superiores às externas. Pode-se observar a melhoria do desempenho com o aumento da inércia térmica, a partir da inclusão do entulho, nas TC2 e TC3, e do revestimento, na TC3.

- **Cor Branca:** As medições, nesse caso, foram realizadas entre os dias 29/01/2005 a 11/02/2005 e os resultados são apresentados na Figura 3.

Da Figura 3, pode-se observar temperaturas baixas entre os dias 29/01/05 a 3/02/05, que ocorreram devido ao clima chuvoso e nublado no período. Comparativamente às *test-cells* com pintura cinza analisadas anteriormente, observaram-se melhorias significativas com a pintura na cor branca, com baixa das temperaturas máximas para todas as *test-cells*. A TC2 apresentou comportamento muito semelhante a TC1 e a TC3 uma melhoria mais significativa, apontando, nesse caso, a influência benéfica do revestimento.

3.2 Resultados das simulações

Com o intuito de avaliar o desempenho dos subsistemas de paredes propostos para as *test-cells* em escala real, foram realizadas simulações com uma habitação de referência, localizada na Vila Tecnológica de Curitiba, com 39,50m² de área construída e pé-direito de 2,70m.

Todas as simulações foram avaliadas de acordo com os critérios estabelecidos pela norma de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 1: Requisitos Gerais (ABNT NBR 02:136.01.001).

Os dados necessários para realizar as simulações, no software COMFIE,

consistiram nos dados geométricos da habitação e orientações das paredes e cobertura, bem como dados de espessura e das propriedades dos seus materiais constituintes (densidade - ρ , condutividade - λ , calor específico - c , absorvância - α e emissividade - ϵ).

Considerando-se que o preenchimento de entulho, no bloco de espessura de 9 cm, não foi suficiente para permitir uma redução significativa na temperatura interna da habitação, conforme constatado nos resultados obtidos em medições das *test-cells*, foi proposta a utilização de bloco de 14cm de espessura. Além disto, foi incluída laje de 10cm de espessura, já que ocorre grande absorção de radiação solar pela cobertura, sendo esta uma das maiores responsáveis pelo conforto térmico em habitações. Após a inclusão dessas alternativas, observa-se considerável redução da temperatura interna máxima, conforme apresentado na Figura 4.

Pode-se constatar que o uso de parede cinza de bloco de 14cm da HAB-TC2 Cinza resulta, ainda, em temperaturas elevadas, superiores à temperatura externa, e que a temperatura máxima fica em torno de 29°C (limite da zona de conforto).

Com a pintura branca, observa-se que a HAB-TC2 Branca e a HAB-TC3 Branca (ambas de 14 cm) apresentaram comportamento semelhante, com nível de desempenho superior no 1º dia e desempenho intermediário no 2º dia do período considerado. Dessa análise, conclui-se, preliminarmente, que, para maiores larguras de paredes, como no caso do bloco de 14 cm, há vantagem do uso da HAB-TC2, que consiste no bloco com entulho sem revestimento, que gera uma economia significativa para a habitação considerada, já que elimina o uso do revestimento.

3.3 Viabilidade econômica

Considerando-se as composições de preços para orçamento da TCPO (2000) e leis sociais de 120%, calcularam-se os preços do metro quadrado para a

habitação, considerando-se a alternativa HAB-TC2 de blocos de concreto de 14 cm, sem revestimento e com entulho nos furos. Essa alternativa foi escolhida tendo em vista o seu melhor desempenho térmico, conforme descrito no item anterior.

Para fins comparativos, considerou-se a alternativa HAB-Padrão, do tipo convencional, com bloco de concreto de 9 cm de largura e reboco paulista (massa única) de 20 mm em uma das faces. Os preços da argamassa e dos blocos foram obtidos junto ao comércio local. Para a mão-de-obra referente a pedreiro e servente, foram considerados os preços obtidos no Sinduscon-DF. Não foi considerado chapisco para camada de ancoragem da argamassa de revestimento, supondo-se que os blocos já possuem rugosidade adequada para a garantia de aderência do reboco paulista (massa única) (Tabela 1).

A alternativa proposta para HAB-TC2 é cerca de 30% mais econômica que a HAB-Padrão, considerando-se o custo do entulho como sendo zero. Mesmo se este não for zero, já que podem ser contabilizados o seu transporte, trituração e peneiramento, ainda esta alternativa é mais econômica, devido ao fato de termos contabilizado o reboco paulista apenas de um lado da alvenaria da HAB-Padrão.

4. Conclusões

Como considerações finais, tem-se que o reaproveitamento do entulho de construção e demolição é uma alternativa interessante de melhoria de desempenho térmico de paredes, comparativamente ao uso de paredes com materiais mais nobres (como o caso de paredes de tijolos maciços ou mesmo de blocos de concreto de 9cm de largura com revestimento).

A solução mais adequada, do ponto de vista do desempenho térmico e econômico, foi a HAB-TC2 (14cm), que considerou o uso de bloco de largura de 14 cm sem revestimento e com entulho

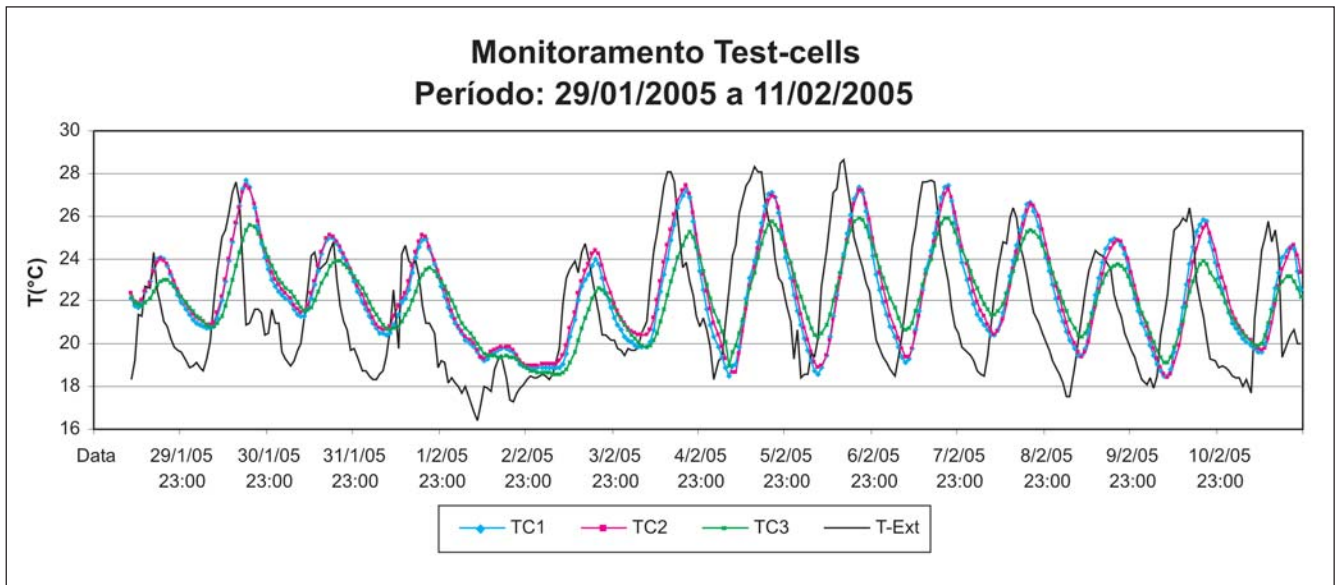


Figura 3 - Resultados obtidos das medições de *test-cells* com pintura na cor branca entre os dias 29/01/2005 a 11/02/2005.

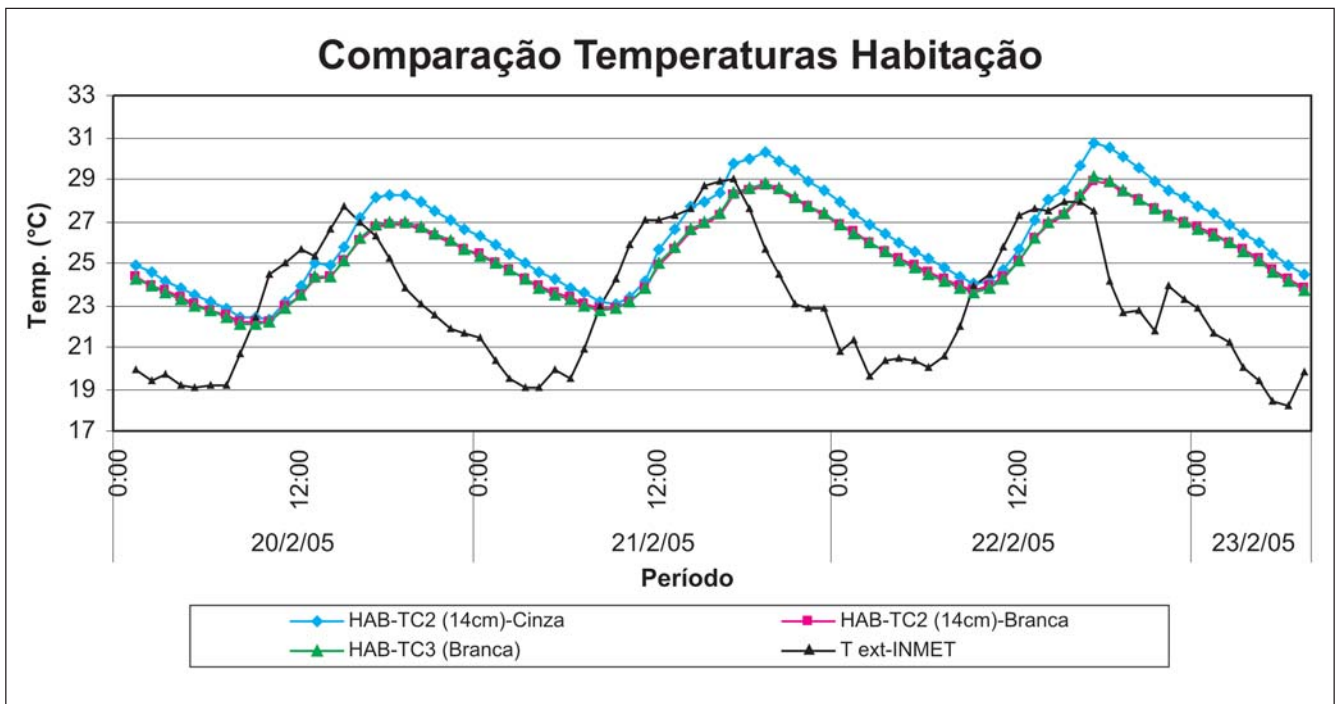


Figura 4 - Simulação da habitação, utilizando-se larguras de blocos de 14cm, para o verão, no período de (20/02/05 a 23/02/05).

Tabela 1 - Estimativa de preço da alvenaria por metro quadrado de HAB TC2, comparativamente à alvenaria convencional, HAB- Padrão.

Alternativas	Preço R\$/m ²		Mão-de-Obra com Leis Sociais R\$/m ²	Reboco Paulista R\$/m ²	Preço Total R\$/m ²
	Argamassa Assentamento	Bloco			
HAB- Padrão	1,66	11,6	8,87	13,82	35,95
HAB-TC2	2,57	13,13	9,37	-	25,07

nos furos do bloco, para habitação com uso de laje de 10 cm de espessura e taxa de renovação de 5 ren/h. Essa solução indicou que a introdução de entulho, nos furos dos blocos, gera reduções nas temperaturas máximas internas das habitações, sem necessitar do uso de revestimento.

Como considerações mais gerais, tem-se que o reaproveitamento do entulho de construção e demolição é uma alternativa interessante de melhoria de desempenho térmico de paredes, comparativamente ao uso de paredes com materiais mais nobres (como o caso de paredes de uma vez de tijolos maciços, ou mesmo de blocos de concreto de 9cm de largura com revestimentos). Além disso, tem-se economia de matéria-prima e de energia no condicionamento térmico das habitações.

Para viabilizar o uso do subsistema construtivo de alvenaria proposto nesse trabalho, é necessário o estudo do sistema construtivo completo, bem como dos subsistemas referentes a instalações e outros.

5. Referências bibliográficas

- ÂNGULO, S. C. et al. Caracterização de agregados de resíduos de construção e demolição reciclados separados por líquidos densos. In: CONFERÊNCIA LATINO AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1. *Anais...* São Paulo: 2004. 13 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Parte 1: Requisitos gerais (ABNT NBR 02:136.01.001)*. Rio de Janeiro, 2004.
- . *Desempenho térmico de edificações - Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social - NBR 15.220-3*. Rio de Janeiro, 2005.
- DORNELLES, K.A., RORIZ, M. Inércia térmica, conforto e consumo de energia em edificações na cidade de São Carlos, SP - Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC, 7. *Anais...* Curitiba, 5 a 7 de novembro de 2003. p. 369-376.
- KOMENO, M. H., SPOSTO, R. M., KRUEGER, E. L. 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. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC, 8. *Anais...* Maceió: 2005.
- MACIEL, A. A. *Projeto bioclimático em Brasília: estudo de caso em edifício de escritórios*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. 133p. (Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil).
- NÓREN, A., AKANDER, J., ISFÄLT, E. e SÖDERSTRÖM, O. The effect of thermal inertia on energy requirement in a swedish building - Results obtained with three calculation models. *International Journal of Low Energy and Sustainable Building*, v.1, p. 1-16, 1999.
- PAPST, A.L. *Uso de inércia térmica no clima subtropical, estudo de caso em Florianópolis - SC*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1999. 165p. (Dissertação de Mestrado - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil).
- PEUPORTIER, B., SOMMEREUX, I.B. *COMFIE: Passive solar design tool for multizone buildings - User's manual*. Centre d'énergétique, École des Mines de Paris, 1994.

Artigo recebido em 07/03/2006 e aprovado em 26/02/2007.

