

HABITAÇÕES TÉRREAS E MULTIPAVIMENTOS DE INTERESSE SOCIAL: AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO PARA TIPOLOGIAS COM VEDAÇÕES EM ALVENARIA DE BLOCOS CERÂMICOS E DE CONCRETO

Low-Cost One-Storey and Multi-Storey Houses: Evaluation of Thermal Performance of Typologies made of masonry of ceramic and concrete blocks

HELENICE MARIA SACTH¹
JOÃO ADRIANO ROSSIGNOLO²

nicesacht@yahoo.com.br
jarossig@sc.usp.br

¹ Arquiteta e Urbanista, pela Universidade Federal de Viçosa, Mestre em Tecnologia de Arquitetura pelo Programa de Pós- Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo EESC-USP, doutoranda em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade do Minho - Portugal.

² Engenheiro Civil, graduado pela Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, , doutor em Ciência e Engenharia de Materiais (EESC/ IFSC/ IQSQ-USP), professor Dr. do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo EESC-USP.

Resumo

Os fechamentos verticais e horizontais exercem grande influência sobre as condições de conforto térmico de uma habitação, por isso os materiais devem ser escolhidos de acordo com as particularidades climáticas de determinada região. Com base nisso, este trabalho apresenta uma proposta de avaliação do desempenho térmico de uma tipologia habitacional térrea (TI24A) e uma tipologia multipavimentos (V052H-01) executadas pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), considerando vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto. O objetivo deste estudo foi discutir a influência dos tipos de vedação no desempenho térmico da habitação. Foram determinados os critérios iniciais de estudo e executadas simulações computacionais empregando o software Arqitrop 3.0, para 10 cidades. Na tipologia térrea os dois tipos de alvenaria apresentaram desempenho semelhante, sendo que no verão não foi atendido nenhum dos níveis de desempenho para as cidades analisadas. Já na habitação multipavimentos a alvenaria de blocos cerâmicos, apresentou melhor desempenho térmico, principalmente no pavimento intermediário. As tipologias do pavimento da cobertura, em grande parte

dos casos apresentaram temperaturas internas mais elevadas em cerca de 0,5 a 1°C em relação às tipologias do pavimento intermediário.

Palavras-chave: Desempenho térmico; Habitação térrea e multipavimentos de interesse social; Alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto

Abstract

Walls and slabs exert great influence on the conditions of thermal comfort of housing, so the material must be chosen according to the particular climate of a particular region. This work presents a proposal for evaluation of the thermal performance of a one-storey (TI24A) and a multi-storey (V052H-01) housing typology executed by Company of Housing and Urban Development of the State of Sao Paulo CDHU, considering the use of masonry, ceramic blocks and the blocks of concrete. This is a study whose specific purpose was discussing the influence of the types of masonry on the thermal performance of housing. First parameters of study were determined and executed computational simulation with software Arqitrop 3.0 for ten cities. In one-storey housing, two masonry kinds presented similar performance, yet at the summer neither level of performance was answered for analyzed cities. Multi-storey housing made of ceramic blocks masonry was better about thermal performance, principally to middle floor typologies. Last floor typologies, in all of the cases presented higher internal temperatures about 0,5 to 1°C in relation to the middle floor typology.

Keywords: Thermal comfort; Low-cost one-storey and multi-storey housing; Masonry of ceramic and concrete blocks



Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico de tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto

1. Introdução

No Brasil, a evolução do conceito de desempenho efetivou-se na década de 80, principalmente através de trabalhos realizados pelo IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas) para o Banco Nacional da Habitação (BNH), e posteriormente para a Caixa Econômica Federal (CEF), sucessora do BNH. Com a publicação da Norma 15575-1. Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos (ABNT, 2008), em maio de 2008, a questão do desempenho dos edifícios assumiu um papel de destaque na área da construção civil. O principal desafio da elaboração dessa norma foi criar um ambiente técnico mais acessível ao setor da construção, que englobasse as várias vertentes do desempenho, de forma a mensurá-lo de maneira objetiva, dentro de determinadas condições de exposição e uso; e, além disso, de forma viável em termos de técnica e economia.

Como o déficit habitacional brasileiro está voltado, em sua quase totalidade, para as classes de baixa renda, esse segmento é um grande mercado a ser atendido; e existe uma tendência a produção de um volume maior de habitações populares nos próximos anos. A partir das exigências de desempenho, os projetos devem priorizar cada vez mais aspectos como durabilidade, conforto e segurança; redução de impacto ambiental, assim como a utilização de tecnologias construtivas adequadas, o que na maioria dos casos não ocorre, pois em grande parte as atenções concentram-se no custo das habitações.

A tecnologia construtiva empregada juntamente com os materiais tem um papel fundamental nesse aspecto. Portanto, o aperfeiçoamento das tecnologias disponíveis para habitação de interesse social, assim como os estudos relacionados ao desempenho térmico como é o caso desta pesquisa, representa uma contribuição para a produção de habitações com baixo custo e que atendam às exigências dos usuários.

A avaliação técnica de produtos destinados a edifícios habitacionais, neste caso a avaliação de desempenho térmico especificamente, justifica-se em razão das necessidades que a habitação que deve atender principalmente aos anseios materiais e psicológicos dos seus ocupantes. Outro fator importante é avaliar o desempenho térmico para evitar fracassos do passado, com o conseqüente comprometimento da imagem da construção habitacional industrializada e o desperdício de recursos financeiros, principalmente públicos.

Para a produção de habitação, os tipos de fechamento e cobertura utilizados exercem grande influência sobre as condições de conforto térmico, por isso os tipos de materiais devem ser determinados de acordo com as particularidades climáticas de cada região. Para esse tipo de estudo, tem-se como base atualmente a NBR 15220 – Norma de Desempenho Térmico (ABNT, 2005) e a Norma 15575-1. Desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos (ABNT, 2008), as quais nortearam este trabalho.

O objetivo desta pesquisa foi discutir a influência dos tipos de vedação, comumente empregados em habitação de interesse social no Brasil no desempenho térmico. Foram determinados os critérios iniciais de estudo através de um levantamento comportamental de usuários de habitação de interesse social e executadas simulações computacionais empregando o software Arqitrop 3.0 para 10 cidades representativas das Zonas Bioclimáticas Brasileiras.

Apresenta-se neste artigo a avaliação do desempenho térmico de duas tipologias habitacionais em nível de projeto, sendo uma térrea (TI24A) e outra multipavimentos (V052H - 01), ambas executadas pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), considerando a utilização de vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto.

2. Desenvolvimento Experimental

Esta avaliação foi realizada com base nas recomendações do Anexo E (níveis de desempenho térmico) da norma “NBR 15575-1 Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho, Parte 1: Requisitos Gerais” (ABNT, 2008); para dois dias típicos de projeto para inverno e para verão (22 de junho e 22 de dezembro respectivamente) em 10 cidades representativas das Zonas Bioclimáticas Brasileiras.

Para tal avaliação foi empregada simulação computacional com o software Arqitrop 3.0, para uma tipologia térrea (TI24A), considerando uso de cobertura de telha cerâmica sem laje. E, além disso, para uma tipologia multipavimentos (V052H-01), na qual foram realizadas simulações para a cobertura, de acordo com as recomendações da norma (ABNT, 2008) e para o segundo pavimento em caráter exploratório. Ambas as tipologias são utilizadas pela CDHU (Companhia do Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo).



2.1 Critérios Iniciais de Estudo

A definição dos critérios iniciais de estudo compreendeu os dados utilizados nas simulações computacionais de desempenho térmico das habitações, entre eles: a definição das tipologias habitacionais térrea e multipavimentos a serem analisadas, tendo como referência as empregadas pela CDHU; o levantamento de dados comportamentais dos usuários de habitação de interesse social; e por último a determinação das cidades, representativas das 8 zonas bioclimáticas brasileiras de acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2005).

2.1.1 Escolha das Tipologias

As tipologias a ser analisadas foram determinadas com base nas tipologias normalmente utilizadas pela CDHU. Optou-se por utilizar a tipologia térrea TI24A (FIG. 1 e 2) e a tipologia multipavimentos V052H-01 (FIG. 3 e 4) para o estudo em questão.

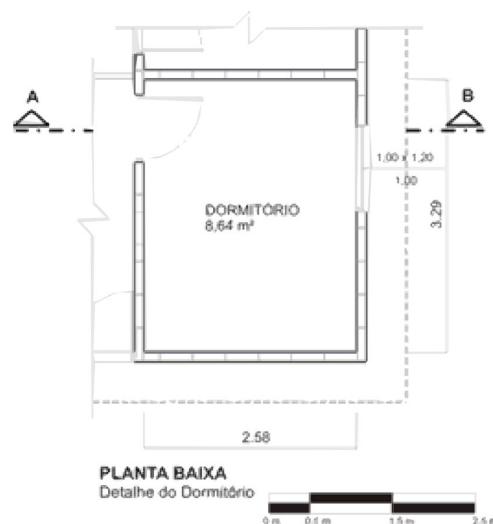
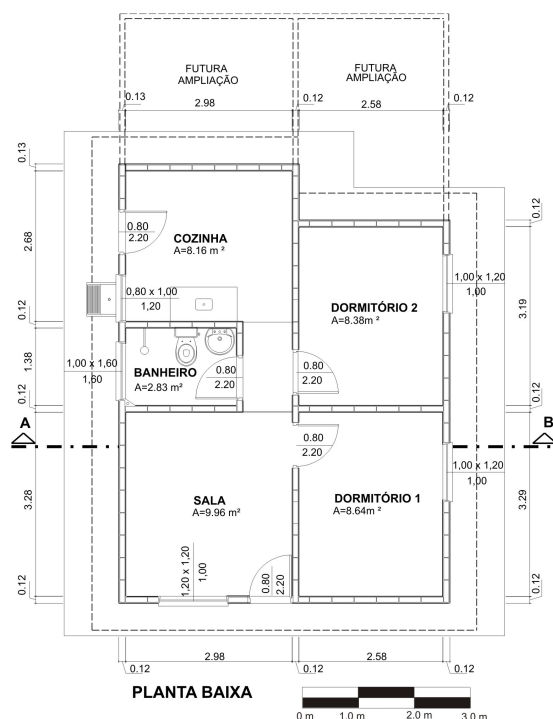


FIGURA 1. Projeto CDHU – Padrão Habitacional TI24A.
Fonte: CDHU, 2007.

FIGURA 2. Detalhe do dormitório - Projeto CDHU – Padrão Habitacional TI24A.
Fonte: CDHU, 2007.

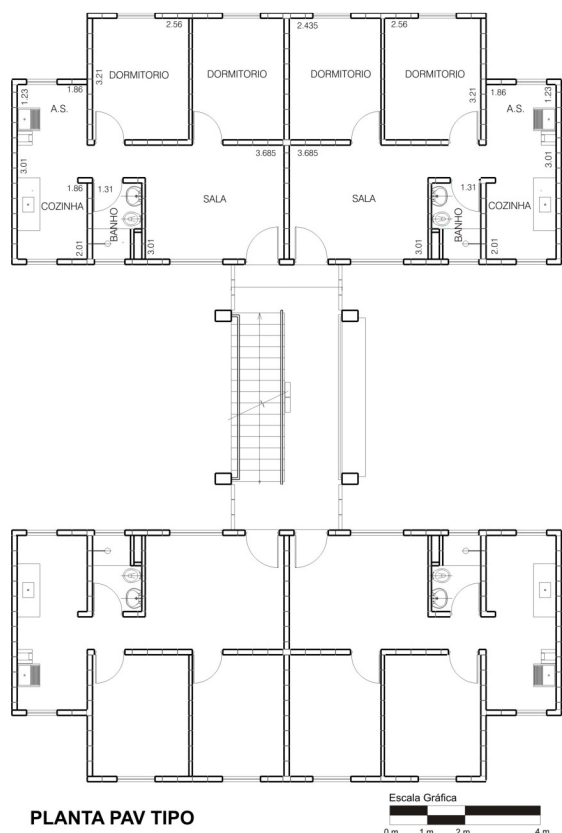


FIGURA 3. Projeto CDHU – Padrão Habitacional V052H-01.
Fonte: CDHU, 2007.

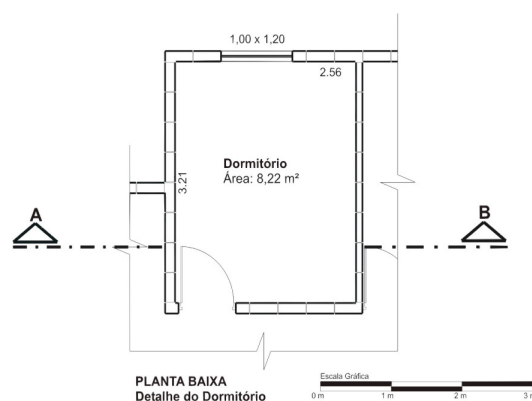
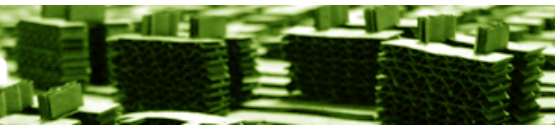


FIGURA 4. Detalhe do dormitório - Projeto CDHU – Padrão Habitacional V052H-01.
Fonte: CDHU, 2007.

2.1.2 Características das Alvenarias

Para análise comparativa de desempenho térmico foi adotado o emprego de vedações a alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto por serem tradicionalmente empregados na execução de habitação de interesse social no Brasil.

Segundo as recomendações do memorial descritivo das unidades habitacionais térreas da CDHU, que inclui a TI24A, foi adotado o bloco cerâmico vazado com espessura de 9 cm, com argamassa de revestimento externo de espessura de 2 cm e de revestimento interno de 0,8 cm; e para a alvenaria de blocos de concreto adotou-se o bloco de espessura 9 cm e argamassa de revestimento externo e interno com 2 cm de espessura. Já para a tipologia multipavimentos V052H-01, de acordo com a CDHU, as recomendações prescritas no memorial descritivo referem-se ao uso de blocos de concreto ou de blocos cerâmicos de furos horizontais sem especificar a espessura. Porém foi utilizada espessura de 9 cm para ambos os blocos. Para o revestimento externo recomenda-se, de acordo com o manual de



projetos da CDHU, uma espessura de no mínimo 2 cm e no máximo de 2,5 cm; e para o revestimento de paredes internas deve ser de no mínimo 1,5 mm e no máximo 2,0 cm de espessura. A partir desses dados adotou-se 2 cm de espessura tanto para revestimento externo quanto para o interno (CDHU, 2005). Essas recomendações foram seguidas para as simulações e inseridas no banco de dados do software Arquitrop 3.0, no que se refere aos tipos de vedações e revestimentos.

2.1.3 Levantamento de Dados Comportamentais dos Usuários

Durante os primeiros estudos para as simulações observou-se a necessidade de adotar precisamente algumas variáveis solicitadas pelo software ARQUITROP 3.0, relacionadas à condição de ocupação e à ventilação das habitações, isso com a intenção de obter informações mais exatas sobre o comportamento dos moradores, fazendo com que os resultados estivessem mais próximos da realidade. Esses dados foram obtidos por meio de entrevistas a um total de 70 domicílios, sendo 43 delas no Conjunto Valdomiro Lobbe Neto e 27 no Conjunto Romeo Santini, ambos no município de São Carlos-SP. Foram obtidos, portanto resultados necessários para as variáveis de uso e ocupação.

Apesar de São Carlos (Zona Bioclimática 4) obviamente possuir características climáticas diferentes das demais zonas bioclimáticas, optou-se por realizar esse levantamento somente para essa cidade, pois os dados necessários para as simulações estariam mais próximos das condições reais de uso do ambiente se caso as variáveis solicitadas pelo software fossem apenas estimadas.

2.1.4 Determinação das Cidades para as Simulações Computacionais

Neste artigo serão apresentados os dados referentes às simulações de habitações para a 10 cidades (QUADRO 1) representativas das oito regiões bioclimáticas brasileiras. A escolha por 10 cidades justifica-se pelo fato de incluir, além de Santos e Presidente Prudente mais 2 cidades do Estado de São Paulo (São Paulo e São Carlos). Isso com a intenção de avaliar as quatro regiões bioclimáticas presentes nesse Estado e, além disso, analisar o comportamento das habitações térreas localizadas em cidades que mesmo inseridas na mesma zona bioclimática apresentam características climáticas distintas. As cidades de São Paulo e Florianópolis, por exemplo, estão inseridas na zona bioclimática 3, mas possuem climas diferenciados, o mesmo ocorre com São Carlos e Brasília que se inserem na zona

bioclimática 4. As demais cidades foram selecionadas de forma aleatória, de modo a localizar-se em diferentes estados.

QUADRO 1. Cidades adotadas para simulação do desempenho térmico das habitações.

Cidade	Zona Bioclimática
Caxias do Sul – RS	1
Ponta Grossa – PR	2
São Paulo – SP	3
Florianópolis – SC	3
São Carlos – SP	4
Brasília – DF	4
Santos – SP	5
Presidente Prudente – SP	6
Teresina – PI	7
Belém – PA	8

2.2 Avaliação do Desempenho Térmico das Edificações por meio de Simulação Computacional

Os softwares de simulação computacional têm sido utilizados na avaliação de desempenho térmico de edificações e são importantes ferramentas para o prognóstico do comportamento térmico, ainda na fase de concepção do projeto. Porém, é extremamente difícil simular as condições térmicas reais no interior das edificações. A crise energética impulsionou significativamente o desenvolvimento de programas de simulação. Grande parte dos estudos com utilização de simulação computacional de edificações concentra-se nas universidades, com algumas iniciativas de aplicação na prática. O estabelecimento da norma brasileira desempenho térmico de edificações (ABNT, 2005) e a norma de desempenho de edifícios habitacionais de até 5 pavimentos (ABNT, 2008) são avanços significativos para a área de conforto térmico que podem impulsionar um maior interesse sobre a utilização de simulações, inclusive gerando um aumento da aplicação dessas ferramentas na prática.

Essas normas contribuíram para a conscientização dos profissionais em construir edificações mais adequadas ao uso, o que caracteriza um progresso significativo no campo da construção civil e também pode fornecer aos órgãos financiadores subsídios para a avaliação do desempenho ambiental das edificações (GHISI, E. et al, 2003).

A NBR 15575-1 (ABNT, 2008) apresenta dois procedimentos para avaliar o desempenho térmico de edificações, sendo a análise da edificação na fase de projeto, por meio de simulação computacional, e a avaliação da edificação já executada, por meio de



medições *in loco*. Nesta pesquisa o procedimento utilizado foi a análise da edificação na fase de projeto, com o objetivo de avaliar a influência do tipo de alvenaria no desempenho térmico das habitações térreas e multipavimentos.

As simulações foram realizadas tendo como parâmetro as diretrizes e recomendações da NBR 15575-1 (ABNT, 2008), bem como da NBR 15220 (ABNT, 2005). Segundo a mesma norma, para edificações na fase de projeto, a avaliação de desempenho térmico deve ser feita nos dias considerados típicos de projeto para verão e inverno, utilizando os dados climáticos da cidade, que nesse caso já estavam inseridos no banco de dados do software.

Na simulação computacional foi utilizado o software ARQUITROP, versão 3.0 (RORIZ e BASSO, 1989), trata-se de um software que possui uma série de limitações, porém atendeu às tipologias de edificações simuladas em termos de dados de entrada. Salienta-se que nas versões iniciais (projetos) da norma NBR 15575, não eram exigidas ainda o uso do software Energy Plus como ocorre na última versão publicada em maio de 2008. Devido a esse fator, nesta pesquisa (que foi desenvolvida entre Agosto de 2006 a Agosto de 2008) era inviável em termos de cronograma refazer as simulações computacionais nesse software, pois compreendem um total de 1700 na pesquisa completa (SACHT, 2008).

Para cada uma das cidades foi analisada a tipologia TI24A, para inverno e verão, considerando o uso de cobertura de telha cerâmica sem laje e nas vedações blocos cerâmicos e blocos de concreto; totalizando para cada cidade 2 simulações no inverno e 2 no verão; e para a tipologia multipavimentos V052H-01, considerando o uso de cobertura de telha cerâmica e laje. As simulações foram executadas também para o pavimento intermediário (segundo pavimento) apenas em caráter exploratório, o que foge ao contexto da norma. Totalizou-se para cada cidade 4 simulações para inverno e 4 para verão.

Na norma (ABNT, 2008) recomenda-se a execução de simulação de todos os recintos da unidade habitacional e avaliação dos resultados de dormitórios e salas, porém neste estudo adotou-se o dormitório como ambiente padrão para análise, por ser o ambiente de maior permanência dos usuários de acordo com o levantamento de dados comportamentais e para simplificar o processo de análise.

As orientações das unidades habitacionais foram tais que no o verão a janela do dormitório estava voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte; e no inverno a janela estava voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste. Foram necessários os seguintes dados para realização das simulações: título do projeto, número de pavimentos (de acordo com a tipologia), cor da face superior (escura); pé direito (de acordo

com o projeto da CDHU); número de fachadas (duas de acordo com a norma); área de ventilação (50% da área da janela) e taxa de ventilação de 1ren/h, de acordo com a norma.

2.2.1 Níveis de Desempenho

Os níveis de desempenho foram adotados de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2008), e avaliados para cada localidade. Tanto para as condições de inverno quanto para as condições de verão, na análise dos dados os níveis de desempenho devem ser entendidos (QUADROS 2 e 3) da seguinte maneira:

- Nível de desempenho M (Mínimo)- é o nível mínimo de desempenho que deve ser atendido para aceitação (condições térmicas internas não piores que as externas);
- Nível de desempenho I (Intermediário)- atende além das exigências mínimas e seu atendimento é facultativo;
- Nível de desempenho S (Superior)- excede o nível de desempenho intermediário, o atendimento também é facultativo.

Os níveis de desempenho I (Intermediário) e S (Superior) que excedem o M (Mínimo) são indicados na norma considerando a possibilidade de melhoria da qualidade da edificação. Nas análises dos resultados das simulações computacionais foram considerados tanto para inverno quanto para verão os critérios apresentados acima.

QUADRO 2. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno.

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas Bioclimáticas 1 a 5 ¹	Zonas Bioclimáticas 6,7 e 8
M	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 3^{\circ} \text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
I	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 5^{\circ} \text{C})$	
S	$T_{i, \min} \geq (T_{e, \min} + 7^{\circ} \text{C})$	

$T_{i, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;
 $T_{e, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados.
 NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT, 2008.

QUADRO 3. Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão

Nível de Desempenho	Critério	
	Zonas Bioclimáticas 1 a 7 ¹	Zona Bioclimática 8
M	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$	$T_{i, \max} \leq T_{e, \max}$
I	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ} \text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 1^{\circ} \text{C})$
S	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 4^{\circ} \text{C})$	$T_{i, \max} \leq (T_{e, \max} - 2^{\circ} \text{C})$ e $T_{i, \min} \leq (T_{e, \min} + 1^{\circ} \text{C})$

$T_{i, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;
 $T_{e, \max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados;
 $T_{i, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação, em graus centígrados;
 $T_{e, \min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus centígrados.
 NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Fonte: ABNT, 2008.

3. Resultados

3.1 Levantamento de Dados Comportamentais dos Usuários

De acordo com o levantamento comportamental de usuários de habitação social, o número médio de ocupantes por dormitório foram duas pessoas. O período de início da ocupação e a duração da ocupação foram determinados com base em média ponderada, resultando no horário de 21:00 horas para início de ocupação e 9:00 horas para duração de ocupação. Para o início e período de ventilação (também determinados por média ponderada) o horário predominante foi 9:00 e 13:30 horas, respectivamente. Esses dados foram de extrema importância para uma maior precisão nas simulações.

3.2 Resultados das Simulações Computacionais para o Inverno

3.2.1 Resultados das Simulações Computacionais para o Inverno - Habitação Térrea

Analisando a tabela de resultados (TAB. 1), observou-se que para o inverno o nível mínimo de desempenho foi atendido para algumas localidades; com as tipologias orientadas com a janela voltada para sul e a outra parede exposta voltada para leste.

Para as cidades de Ponta Grossa, São Carlos e Brasília ambos os tipos de vedação atenderam ao nível mínimo de desempenho (T mínima interna $\geq T$ mínima externa + 3°C). Para a cidade de São Paulo, somente a tipologia com alvenaria de blocos de concreto

atendeu ao nível mínimo de desempenho. Já para as cidades de Caxias do Sul, Florianópolis e Santos não foram atendidos nenhum dos níveis de desempenho. Para o restante das cidades a verificação é dispensada para o inverno.

TABELA 1. Resultados das Simulações Computacionais para o Inverno – Habitação Térrea.

Simulações para o Inverno - 22 de Junho					
Cidade	Zona Bioclimática	Vedações	Temperatura Mínima Externa	Temperatura Mínima Interna	Nível de Desempenho
Caxias do Sul	1	Bloco Cerâmico	8,8	11,6	Não Atende
		Bloco de Concreto	8,8	11,7	Não Atende
Ponta Grossa	2	Bloco Cerâmico	9,3	12,8	M
		Bloco de Concreto	9,3	12,9	M
São Paulo	3	Bloco Cerâmico	11,2	14,1	Não Atende
		Bloco de Concreto	11,2	14,2	M
Florianópolis	3	Bloco Cerâmico	15,2	17,1	Não Atende
		Bloco de Concreto	15,2	17,2	Não Atende
São Carlos	4	Bloco Cerâmico	13,3	16,3	M
		Bloco de Concreto	13,3	16,4	M
Brasília	4	Bloco Cerâmico	11,7	16,3	M
		Bloco de Concreto	11,7	16,3	M
Santos	5	Bloco Cerâmico	16	18,4	Não Atende
		Bloco de Concreto	16	18,4	Não Atende
Presidente Prudente	6	Bloco Cerâmico	14,8	18	Dispensa Verificação
		Bloco de Concreto	14,8	18,1	
Teresina	7	Bloco Cerâmico	21,4	25,8	Dispensa Verificação
		Bloco de Concreto	21,4	25,7	
Belém	8	Bloco Cerâmico	22,7	26,3	Dispensa Verificação
		Bloco de Concreto	22,7	26,2	

3.2.1 Resultados das Simulações Computacionais para o Inverno - Habitação Multipavimentos

Analisando a tabela de resultados (TAB. 2), observou-se que para as cidades de Caxias do Sul, Ponta Grossa, São Paulo, São Carlos e Brasília as tipologias com alvenaria de blocos cerâmicos em ambos os pavimentos, atenderam ao nível mínimo de desempenho ($T_{\text{mínima interna}} \geq T_{\text{mínima externa}} + 3^{\circ} \text{C}$). As tipologias com alvenaria de blocos cerâmicos localizadas em Brasília foram as únicas a atender também ao nível I de desempenho ($T_{\text{mínima interna}} \geq T_{\text{mínima externa}} + 5^{\circ} \text{C}$).

Para a cidade de Santos, somente a tipologia com alvenaria de blocos cerâmicos da cobertura atendeu ao nível mínimo de desempenho. Já as tipologias com alvenaria de blocos de concreto não apresentaram o desempenho mínimo, para a maioria das localidades analisadas, com exceção da tipologia da cobertura simulada para a cidade de Brasília, que

atendeu ao nível mínimo de desempenho para esse tipo de alvenaria. A única cidade para a qual nenhuma das alvenarias mostrou-se adequada foi Florianópolis, as demais (Presidente Prudente, Teresina e Belém) dispensam a verificação. As temperaturas mínimas internas foram cerca de 0,5°C superior para as tipologias da cobertura.

TABELA 2. Resultados das Simulações Computacionais para o Inverno– Habitação Multipavimentos.

Simulações para o Inverno - 21 de Junho						
Cidade	Zona Bioclimática	Pavimento	Vedações	Temperatura Mínima Externa	Temperatura Mínima Interna	Nível de Desempenho
Caxias do Sul	1	Cobertura	Bloco Cerâmico	8,8	12,4	M
		Laje Intermediária		8,8	11,9	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	8,8	10,7	Não Atende
		Laje Intermediária		8,8	9,4	Não Atende
Ponta Grossa	2	Cobertura	Bloco Cerâmico	9,3	13,7	M
		Laje Intermediária		9,3	13,5	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	9,3	11,8	Não Atende
		Laje Intermediária		9,3	11,3	Não Atende
São Paulo	3	Cobertura	Bloco Cerâmico	11,2	15,6	M
		Laje Intermediária		11,2	15,2	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	11,2	13,7	Não Atende
		Laje Intermediária		11,2	13,1	Não Atende
Florianópolis	3	Cobertura	Bloco Cerâmico	15,2	18	Não Atende
		Laje Intermediária		15,2	17,5	Não Atende
		Cobertura	Bloco de Concreto	15,2	16,7	Não Atende
		Laje Intermediária		15,2	16,1	Não Atende
São Carlos	4	Cobertura	Bloco Cerâmico	13,3	17,7	M
		Laje Intermediária		13,3	17,1	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	13,3	15,8	Não Atende
		Laje Intermediária		13,3	15	Não Atende
Brasília	4	Cobertura	Bloco Cerâmico	11,7	17,7	M/I
		Laje Intermediária		11,7	16,9	M/I
		Cobertura	Bloco de Concreto	11,7	15,2	M
		Laje Intermediária		11,7	14	Não Atende
Santos	5	Cobertura	Bloco Cerâmico	16	19,4	M
		Laje Intermediária		16	18,9	Não Atende
		Cobertura	Bloco de Concreto	16	17,9	Não Atende
		Laje Intermediária		16	17,2	Não Atende
Presidente Prudente	6	Cobertura	Bloco Cerâmico	14,8	19,4	Dispensa Verificação
		Laje Intermediária		14,8	18,8	
		Cobertura	Bloco de Concreto	14,8	17,4	
		Laje Intermediária		14,8	16,7	
Teresina	7	Cobertura	Bloco Cerâmico	21,4	26,4	Dispensa Verificação
		Laje Intermediária		21,4	25,6	
		Cobertura	Bloco de Concreto	21,4	24,3	
		Laje Intermediária		21,4	23,4	
Belém	8	Cobertura	Bloco Cerâmico	22,7	26,7	Dispensa Verificação
		Laje Intermediária		22,7	26,1	
		Cobertura	Bloco de Concreto	22,7	25,1	
		Laje Intermediária		22,7	24,3	



3.3 Resultados das Simulações Computacionais para o Verão

3.3.1 Resultados das Simulações Computacionais para o Verão – Habitação Térrea

De acordo com a tabela de resultados (TAB. 3), observou-se que para o verão nem mesmo o nível mínimo de desempenho foi atendido para as localidades analisadas, considerando as tipologias com a janela do dormitório voltada para oeste e a outra parede exposta voltada para norte.

Isso mostra que para essa estação, ambos os tipos de alvenaria, de blocos cerâmicos ou de blocos de concreto empregados nas habitações térreas sem laje não estão adequados em relação ao desempenho térmico.

TABELA 3. Resultados das Simulações Computacionais para o Verão– Habitação Térrea.

Simulações para o Verão - 22 de Dezembro					
Cidade	Zona Bioclimática	Vedações	Temperatura Máxima Interna	Temperatura Máxima Externa	Nível de Desempenho
Caxias do Sul	1	Bloco Cerâmico	29,9	26,2	Não Atende
		Bloco de Concreto	28,5	26,2	Não Atende
Ponta Grossa	2	Bloco Cerâmico	29,5	27,2	Não Atende
		Bloco de Concreto	28,3	27,2	Não Atende
São Paulo	3	Bloco Cerâmico	27,9	25,9	Não Atende
		Bloco de Concreto	26,9	25,9	Não Atende
Florianópolis	3	Bloco Cerâmico	30	26,5	Não Atende
		Bloco de Concreto	28,8	26,5	Não Atende
São Carlos	4	Bloco Cerâmico	29,1	26,9	Não Atende
		Bloco de Concreto	28,1	26,9	Não Atende
Brasília	4	Bloco Cerâmico	33,7	26,6	Não Atende
		Bloco de Concreto	31,6	26,6	Não Atende
Santos	5	Bloco Cerâmico	30,2	27,5	Não Atende
		Bloco de Concreto	29,2	27,5	Não Atende
Presidente Prudente	6	Bloco Cerâmico	33,3	30,2	Não Atende
		Bloco de Concreto	32,1	30,2	Não Atende
Teresina	7	Bloco Cerâmico	37,3	34,4	Não Atende
		Bloco de Concreto	35,9	34,4	Não Atende
Belém	8	Bloco Cerâmico	34	31,8	Não Atende
		Bloco de Concreto	32,9	31,8	Não Atende



3.3.2 Resultados das Simulações Computacionais para o Verão – Habitação Multipavimentos

Para o verão, observou-se que pelo menos o nível mínimo de desempenho foi atendido para algumas localidades. Para as cidades de Ponta Grossa, São Paulo, São Carlos, Teresina e Belém, as tipologias com alvenaria de blocos cerâmicos em ambos os pavimentos, atenderam ao nível mínimo de desempenho (T máxima interna $\leq T$ máxima externa) (TAB. 4).

As tipologias com alvenaria de blocos cerâmicos localizadas em Caxias do Sul, São Paulo e Teresina, foram as únicas a atender também ao nível I de desempenho (T máxima interna $\leq T$ máxima externa - 2º C para as zonas de 1 a 7 e T máxima interna $\leq T$ máxima externa - 1º C para a zona 8). Para as cidades de Florianópolis, Brasília e Santos, somente a tipologia com alvenaria de blocos cerâmicos do pavimento intermediário atendeu ao nível mínimo de desempenho. Já as tipologias com alvenaria de blocos de concreto do pavimento intermediário apresentaram desempenho satisfatório para Caxias do Sul, Ponta Grossa, São Paulo, São Carlos, Presidente Prudente, Teresina e Belém atendendo ao nível mínimo de desempenho. Para as cidades de Florianópolis, Brasília e Santos não foram atendidos nenhum dos níveis de desempenho para verão. No verão ocorreram diferenças nas temperaturas máximas internas de acordo com o pavimento, sendo que as tipologias da cobertura apresentaram-se elevadas em cerca de 1°C em boa parte dos casos.

A norma (ABNT, 2005) recomenda que caso o edifício na fase de projeto não atenda aos critérios estabelecidos para o verão deve apresentar obrigatoriamente modificações no projeto de forma a aumentar o sombreamento das janelas e/ou taxa de ventilação dos ambientes (limitada em 5 ren/h) e introduzir sombreamento na janela com dispositivo capaz de cortar no máximo 50% da radiação total.

TABELA 4. Resultados das Simulações Computacionais para o Verão – Habitação Multipavimentos.

Simulações para o Verão - 22 de Dezembro						
Cidade	Zona Bioclimática	Pavimento	Vedações	Temperatura Máxima Interna	Temperatura Máxima Externa	Nível de Desempenho
Caxias do Sul	1	Cobertura	Bloco Cerâmico	26,4	26,2	Não Atende
		Laje Intermediária		24,2	26,2	M/I
		Cobertura	Bloco de Concreto	27,6	26,2	Não Atende
		Laje Intermediária		26	26,2	M
Ponta Grossa	2	Cobertura	Bloco Cerâmico	26,5	27,2	M
		Laje Intermediária		25,3	27,2	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	27,7	27,2	Não Atende
		Laje Intermediária		26,4	27,2	M
São Paulo	3	Cobertura	Bloco Cerâmico	25,4	25,9	M
		Laje Intermediária		23,9	25,9	M/I
		Cobertura	Bloco de Concreto	26,3	25,9	Não Atende
		Laje Intermediária		25,2	25,9	M
Florianópolis	3	Cobertura	Bloco Cerâmico	27,5	26,5	Não Atende
		Laje Intermediária		26,2	26,5	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	28,2	26,5	Não Atende
		Laje Intermediária		27	26,5	Não Atende
São Carlos	4	Cobertura	Bloco Cerâmico	26,7	26,9	M
		Laje Intermediária		25,5	26,9	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	27,6	26,9	Não Atende
		Laje Intermediária		26,5	26,9	M
Brasília	4	Cobertura	Bloco Cerâmico	29,4	26,6	Não Atende
		Laje Intermediária		26,5	26,6	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	30,7	26,6	Não Atende
		Laje Intermediária		28,4	26,6	Não Atende
Santos	5	Cobertura	Bloco Cerâmico	28	27,5	Não Atende
		Laje Intermediária		27	27,5	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	28,7	27,5	Não Atende
		Laje Intermediária		27,6	27,5	Não Atende
Presidente Prudente	6	Cobertura	Bloco Cerâmico	30,4	30,2	Não Atende
		Laje Intermediária		28,6	30,2	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	31,4	30,2	Não Atende
		Laje Intermediária		30,1	30,2	M
Teresina	7	Cobertura	Bloco Cerâmico	34,2	34,4	M
		Laje Intermediária		32,3	34,4	M/I
		Cobertura	Bloco de Concreto	35,4	34,4	Não Atende
		Laje Intermediária		34	34,4	M
Belém	8	Cobertura	Bloco Cerâmico	31,5	31,8	M
		Laje Intermediária		30	31,8	M
		Cobertura	Bloco de Concreto	32,5	31,8	Não Atende
		Laje Intermediária		31,4	31,8	M

4. Considerações Finais

Com base nas análises dos resultados, observou-se que para inverno e verão, as tipologias térreas analisadas, com alvenaria de blocos cerâmicos e de blocos de concreto, não se destacaram entre si, apresentando desempenho térmico semelhante. Já dentre as



tipologias multipavimentos, as com alvenaria de blocos cerâmicos apresentaram melhor desempenho térmico em relação às tipologias com alvenaria de blocos de concreto, principalmente para o pavimento intermediário, simulado em caráter exploratório. Sugere-se que poderia ser válida a incorporação na NBR 15575 uma gama maior de possibilidades de simulações em relação ao pavimento, não se restringindo apenas ao pavimento da cobertura.

O não atendimento dos requisitos de desempenho térmico para o verão de acordo com a NBR 15575-1 (ABNT, 2008), principalmente para a tipologia térrea pode ser explicado por um acréscimo na temperatura interna, devido à cobertura não possuir laje. Com a implementação de uma laje, seria formado um ático e a camada de ar formada entre a telha cerâmica funcionando como isolante térmico, diminuindo possivelmente a temperatura interna. Nas tipologias multipavimentos da cobertura, o acréscimo na temperatura interna em cerca de 1°C se explica pelo fato do telhado ser o componente mais exposto à radiação solar, grande parte dessa energia é absorvida e transferida para o interior das edificações, aumentando os ganhos térmicos e conseqüentemente, elevando a temperatura interna.

Ressalta-se que o fato de determinada tipologia não atender aos níveis de desempenho estabelecidos por norma não implica exatamente em inadequação para aplicação em determinados locais de acordo com a zona bioclimática, pois para contornar tais problemas podem ser utilizados recursos adicionais, principalmente a aplicação de soluções passivas de adequação climática, quando possível, podendo atingir o nível mínimo de desempenho. Por tratar-se de habitação de interesse social, deve-se evitar a aplicação de soluções complexas, pois estas implicam em gastos adicionais. Além disso, devem ser executadas simulações para o verão considerando as modificações de projeto recomendadas por norma já citadas anteriormente nas análises dos resultados.

Outro fator relacionado com a norma NBR 15220 (2005) é a necessidade de revisão do zoneamento, pois foram observados resultados distintos em relação ao desempenho térmico nas cidades localizadas na mesma zona bioclimática, nesse caso especificamente São Paulo e Florianópolis; e São Carlos e Brasília.

Percebe-se que é recorrente a reprodução de tipologias habitacionais sem uma preocupação maior com as especificidades regionais. A elaboração de projetos de habitação de interesse social adequados ao clima e as características locais, representa além dos benefícios para os próprios moradores, a melhoria dos assentamentos humanos e da qualidade de vida nas cidades brasileiras.



5. Referências

Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). Manual Técnico para Implementação: Habitação 1.0: Bairro saudável. 1ª Ed. São Paulo: ABCP, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15220: Desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes para Habitações Unifamiliares de Interesse Social. Rio de Janeiro, 2005.

_____. (ABNT). NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2008.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CDHU). Manual Técnico de Projetos. São Paulo, 1998.

_____. (CDHU). Memorial Descritivo/ Especificações Técnicas - Unidades Habitacionais Térreas TI24A/ TG23A/ TI24C/ TI23C/ TI23D/ TG22B-01. São Paulo, 2005.

_____. (CDHU). Memorial Descritivo/ Especificações Técnicas - V052H-01 (ANTIGO VI22B-V2)/ V052G-01 (ANTIGO VI22F-V2). São Paulo, 2005.

_____. (CDHU). Padrão Habitacional TI24A - Arquivo de Auto CAD. São Paulo, 2007.

_____. (CDHU). Padrão Habitacional V052H-01 - Arquivos de Auto CAD. São Paulo, 2007.

DÉFICIT Habitacional no Brasil 2005/ Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações. Belo Horizonte, 2006. 200p. Projeto PNUD-BRA-00/019 - Habitar Brasil – BID. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/media/Deficit2005.pdf>> Acesso em abr. 2007.

GHISI, E. et al. Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações. Coletânea Habitare, vol. 3. Porto Alegre: ANTAC, 2003. Disponível em: <www.habitare.org.br/publicacao_coletanea3.aspx> Acesso em: abr. 2008.

MENDES, N.; LAMBERTS, R.; CUNHA NETO, J. A. B. Building Simulation in Brazil In: SEVENTH INTERNATIONAL IBPSA CONFERENCE, Proceedings... Rio de Janeiro, 2001.

RORIZ, M. (Programação); BASSO, A. (Dados). ARQUITROP Versão 3.0: Conforto térmico e economia de energia nas edificações. Sistema integrado de rotinas e bancos de dados para apoio às atividades de projeto em Arquitetura e Engenharia Civil. São Paulo: UFSCAR, 1989.

SACHT, H. M. Painéis de Vedação de Concreto Moldados in Loco: Avaliação de Desempenho Térmico e Desenvolvimento de Concretos. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia), Departamento Arquitetura e Urbanismo – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPESP – Fundação do Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo e ao Laboratório de Construção Civil (LCC) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC – USP).