

Cast-in-place concrete walls: thermal comfort evaluation of one-storey housing in São Paulo State

Vedações verticais em concreto moldadas in loco: avaliação do conforto térmico de habitações térreas no Estado de São Paulo



H. M. SACTH ^a
hmsacht@civil.uminho.pt

J. A. ROSSIGNOLO ^b
rossignolo@usp.br

C. BUENO ^c
cbueno@sc.usp.br

Abstract

This paper presents a proposal of thermal performance evaluation of a one-storey housing typology (TI24A) executed by CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, considering the use of cast-in-place monolithic panels of concrete, with different thicknesses panels (8, 10 and 12 cm) and density between 1600 and 2400 kg/m³. In this study, the specific purpose was discussing the influence of the characteristic of concrete walls on the housing thermal performance without slab. Was defined of first parameters of study (definition of the one-storey housing typology, survey about housing users behavior and cities choose) and executed computational simulation (winter and summer), for four São Paulo State cities (São Paulo, São Carlos, Santos e Presidente Prudente), with the software Arqitrop 3.0 in a one-storey housing. Was observed that in winter and summer the typologies analyzed, the panels thickness variation had more influence about results than different concrete densities. The minimum level of thermal performance (M) in winter has been granted for some cities, with exception of Santos. In summer one of São Paulo city's typology was attended the minimum level of thermal performance in agreement with standard "NBR 15575 Residential buildings up to five storied – Performance, Part 1: General requirements".

Keywords: Thermal performance; Low-cost one-storey housing; Cast-in-place monolithic panels of concrete.

Resumo

Neste artigo apresenta-se a avaliação do desempenho térmico de uma tipologia habitacional térrea (TI24A) executada pela CDHU - Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo, utilizando o sistema construtivo de painéis monolíticos de concreto moldados in loco, com painéis de diferentes espessuras (8, 10 e 12 cm) e massas específicas variando entre 1600 e 2400 kg/m³. Analisou-se especificamente a influência dos tipos de vedação no desempenho térmico de habitações sem laje. Foram determinados os critérios iniciais de estudo (definição da tipologia habitacional térrea, levantamento de dados comportamentais dos usuários e determinação das cidades) e executadas simulações computacionais (inverno e verão), para 4 cidades do Estado de São Paulo (São Paulo, São Carlos, Santos e Presidente Prudente), empregando o software Arqitrop 3.0. Observou-se que para inverno e verão, nas tipologias térreas analisadas, a variação de massa específica do concreto pouco influenciou nos resultados, já a variação das espessuras dos painéis representou maiores diferenças nas temperaturas internas. Para o inverno foi atendido o nível mínimo de desempenho térmico para grande parte das cidades, com exceção de Santos. Para o verão, somente para a cidade de São Paulo o nível mínimo de desempenho térmico foi atendido de acordo com a norma "NBR15575-1 Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho, Parte 1: Requisitos Gerais".

Palavras-chave: Desempenho térmico; Habitação térrea de interesse social; Painéis de concreto moldados *in loco*.

^a Architect and Urbanist, MSc in Architecture, Urbanism and Technology by EESC/USP, Civil Engineering PhD Student at University of Minho, hmsacht@civil.uminho.pt, Building Physics and Construction Technologies Laboratory (LFTC), Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, Portugal.

^b Associate Professor, Biosystems Engineering, University of São Paulo, School of Zootecny and Food Engineering FZEA-USP, rossignolo@usp.br, Av. Duque de Caxias Norte, 225 – ZEA/Campus da USP - 13635-900, Pirassununga-SP, Brazil.

^c Architect and Urbanist, MSc in Architecture, Urbanism and Technology by EESC/USP, Architecture and Urbanism PhD Student at EESC/USP, cbueno@sc.usp.br, Department of Architecture and Urbanism, Sao Carlos Engineering School (EESC/USP), Av. Trabalhador São-carlense, 400, 13566-590, São Carlos - SP, Brazil.

1. Introdução

Os sistemas construtivos utilizados na produção das vedações na maioria das obras brasileiras apresentam um elevado desperdício de mão-de-obra, componentes e materiais, devido ao emprego de técnicas não racionalizadas. Além da função de dividir o ambiente em compartimentos, os fechamentos verticais de um sistema construtivo devem também protegê-lo, proteger às instalações do edifício, criar condições de habitabilidade e suprir a função estrutural ou parte da mesma quando projetadas para essa função, como é o caso da alvenaria estrutural.

Esta pesquisa se concentra no sistema construtivo racionalizado de painéis monolíticos de concreto moldados *in loco* que pode ser observado nas Figuras 1 e 2. Esse sistema, utilizado no Brasil desde a década de 80, apresenta inovações na execução da vedação, dos sistemas prediais e no assentamento das esquadrias. Nele as vedações de concreto armado, que possuem também função estrutural, são moldadas *in loco* utilizando fôrma dupla e podem incorporar, durante o processo de produção, parte das instalações dos sistemas prediais e esquadrias.

Segundo Lordsleem Junior [1] o painel maciço monolítico moldado *in loco* pode ser definido como um elemento do subsistema vedação de formato laminar, obtido por moldagem no seu local definitivo de utilização. Caracteriza-se ainda por ser monolítico, ou seja, quando solicitado tem capacidade de distribuir os esforços por toda parede.

As características do concreto empregado nesse sistema construtivo, principalmente a trabalhabilidade, têm um papel fundamental na execução e no desempenho dos painéis de vedação. Geralmente utiliza-se o concreto tradicional para edifícios de múltiplos andares e o concreto leve celular para edificações térreas. Para a utilização nesse sistema construtivo o concreto deve apresentar trabalhabilidade adequada para moldagem (abatimento do tronco de cone geralmente acima de 150 mm); resistência à compressão entre 8 e 12 horas acima de 1,0 MPa para possibilitar a desforma sem causar danos aos painéis; resistência à compressão aos 28

dias de acordo com projeto estrutural e com o ambiente de exposição; assim como deve apresentar durabilidade em conformidade com a tempo de vida útil de projeto.

1.1 Breve Histórico do Sistema Construtivo

Em 1966 a criação do Banco Nacional da Habitação - BNH fez despontar grandes programas habitacionais na década de 70. Seguindo a filosofia de "industrialização", o setor de construção civil teve grande expansão até o início dessa década, começando a dar sinais de queda a partir do final desse período. Nos anos 80 com a extinção do BNH e redirecionamento da política habitacional houve uma nova postura no mercado de edificações. Neste Período ocorreu a importação de novas tecnologias e o interesse crescente de construtoras e fabricantes de materiais pelos processos construtivos não convencionais. As empresas iniciaram então uma busca pela racionalização da produção de edifícios, por meio da otimização das atividades da obra, diminuição de prazos, minimização de custos, sem implicar na ruptura da base produtiva que caracteriza esse subsetor [2].

Dentre os sistemas construtivos desenvolvidos nesse período, destaca-se o sistema construtivo de painéis monolíticos moldados *in loco*. Desses processos construtivos que se consolidaram na década de 80, somente a alvenaria estrutural e o sistema Outinord mostraram um potencial de avanço. O sistema Outinord é um sistema industrializado que permite construir por meio da utilização de formas metálicas do tipo túnel. Possui uma forma de "meio-túnel" composta por um painel vertical e um painel horizontal, que são suportados por uma estrutura. Esse elemento base pode receber outros componentes para responder as necessidades particulares da estrutura. Diante da modernização que o subsetor de construção de edifícios necessitava desde a década de 80, uma das alternativas foi a racionalização das vedações verticais por meio do aprimoramento do sistema de painéis monolíticos moldados *in loco*.

Figura 1 - Visão geral das fôrmas das vedações montadas. Santa Maria da Serra-SP (10)



Figura 2 - Habitação com vedações concluídas (10)



1.2 Avaliação de Desempenho Térmico de Habitação de Interesse Social

A repetição de projetos padrão em habitações destinadas à população de baixa renda apresenta em grande parte dos casos, gastos desnecessários com energia elétrica, além de condições precárias de conforto e salubridade de seus usuários. Este fato ocorre devido à baixa qualidade construtiva dos sistemas adotados e ao não atendimento das necessidades de seus usuários, especialmente quanto às condições de conforto térmico [3].

Várias pesquisas, tanto em termo de simulações computacionais como medições locais, vêm sendo desenvolvidas no sentido de avaliar o desempenho de tais tipos de habitações, muitas vezes implantadas nas cidades sem preocupações com a adaptação da arquitetura ao clima local, com o conforto térmico e a racionalização do consumo de energia. Isto confirma que a análise do desempenho térmico dos sistemas construtivos é uma questão fundamental na elaboração e avaliação de projetos de habitação de interesse social.

A avaliação de desempenho térmico de um protótipo habitacional por exemplo, pode comprovar que através de decisões simples de projeto e escolha de materiais adequados é possível desenvolver habitações populares que apresentem melhor desempenho térmico, sem que para tal, seja necessário investir muito mais recursos do que os que já são gastos com as atuais construções de uso similar [4].

Podem ser empregados para tal fim, softwares de simulação energética que normalmente trabalham com três grupos de variáveis principais, que reúnem uma série de parâmetros de influência sobre o desempenho térmico da edificação, são eles: variáveis climáticas locais; variáveis de projeto e variáveis de uso e ocupação. Softwares mais recentes permitem grande refinamento quanto às trocas térmicas entre o meio interno e externo, que ocorrem através dos elementos de envoltória opacos e translúcidos [5].

Na pesquisa realizada por Rauber et al [6] por exemplo, foram apresentadas análises comparativas entre três diferentes programas visando verificar a interface programa usuário bem como comparar os resultados de cada programa. A simulação realizada no programa ARQUITROP, o qual foi utilizado nesta pesquisa, apresentou boa concordância entre os resultados.

1.3 Justificativas

Apesar do sistema construtivo de painéis monolíticos moldados *in loco* apresentar maior produtividade e menor desperdício que os sistemas tradicionais de vedação vertical (alvenaria, por exemplo), para a consolidação da utilização do mesmo ainda são necessários alguns estudos sobre as propriedades do concreto a ser empregado, como a massa específica e a espessura da vedação vertical de acordo com o local de implantação. Essas características estão ligadas diretamente às questões de desempenho térmico. Segundo a NBR 15575-1 [7] o aperfeiçoamento dos sistemas construtivos disponíveis para habitação de interesse social, assim como o desenvolvimento de novos sistemas, são necessários para contribuir na produção de habitações com baixo custo e que atendam plenamente às exigências dos usuários.

1.4 Objetivos

Apresenta-se neste artigo a avaliação do desempenho térmico de uma tipologia habitacional térrea (TI24A) sem laje, em fase de projeto, executada pela Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano do Estado de São Paulo (CDHU), considerando a utilização de painéis de concreto com valores variados de massas específicas e espessuras.

2. Materiais e Programa 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" [7]. A descrição de tais procedimentos será apresentada a seguir.

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 da tipologia habitacional térrea a ser analisada, tendo como referência as tipologias construídas pela CDHU na época de desenvolvimento da pesquisa; o levantamento de dados comportamentais dos usuários; e por último a determinação das cidades, representativas das 4 regiões bioclimáticas presentes no estado de São Paulo de acordo com a NBR 15220 [8].

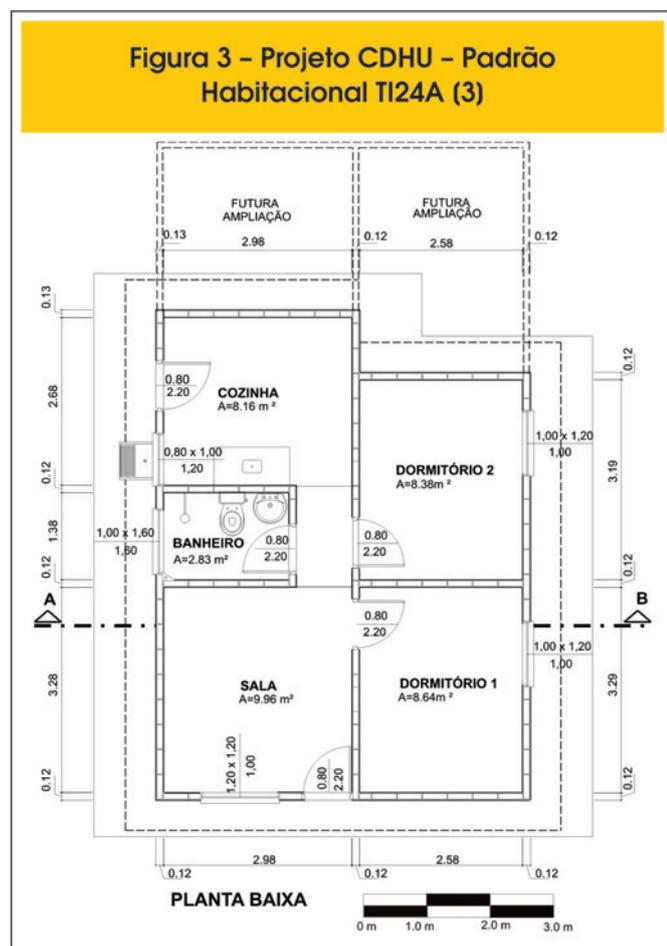
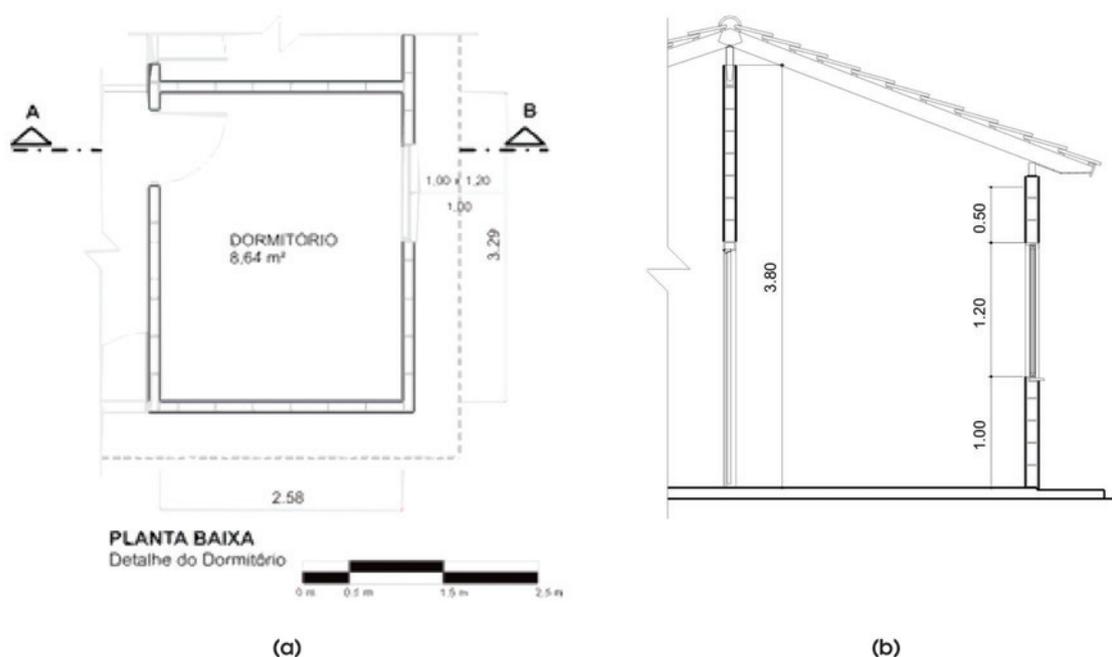


Figura 4 – Detalhe do dormitório - Projeto CDHU – Padrão Habitacional TI24A (a) e elevação da tipologia TI24A-CDHU com cobertura de telha cerâmica sem laje (b) (3)



2.2 Determinação da Tipologia Térrea

Na consulta à CDHU [9][10][11] verificou-se que a tipologia de habitação térrea mais executada era a TI24A, daí optou-se por utilizar essa tipologia para o estudo em questão (Figuras 3 e 4).

2.3 Características dos Painéis de Concreto

Foram utilizados nas simulações, painéis de concreto com massas específicas de 1600, 1800, 2000, 2200 e 2400 kg/m³ de forma a abranger desde o concreto leve (com agregados leves) ao concreto tradicional; e espessuras de 8, 10 e 12 cm.

Foram utilizados os seguintes materiais para produção dos concretos cujos dados foram posteriormente inseridos no software de simulação: cimento Portland composto com escória de alto forno (CPII E32), fabricado pela empresa CIMINAS S.A. (grupo Holdercim), com massa específica de 2,96 g/cm³ e área específica Blaine de 4.023 cm²/g; aditivo mineral Metacaulim, cuja massa específica é de 2,65 g/cm³, área específica em torno de 327.000 cm²/g e teor de SiO₂ de 51,6 %; areia natural quartzosa, brita basáltica 01 e dois tipos de argila expandida, Cinexpan 0500 (D_{max} = 5,0mm) e Cinexpan 1506 (D_{max} = 12,5mm) (Tabela 8) e o superplastificante do tipo Glenium 51 (poli-carboxilato) com massa específica entre 1,067 a 1,107 g/cm³ e teor de sólidos

Tabela 1 – Características dos agregados

Agregado	D _{max} (mm) NBR7211	Massa Específica (g/cm ³) NBR9776	Massa unitária (g/cm ³) NBR7251	Absorção de água (% em massa)	
				30 min.	24 hs
Areia	2,4	2,63	1,49	-	-
Brita basáltica 01	19,0	2,87	1,32	-	-
Argila expandida 0500 (CINEXPAN 0500)	5,0	1,51	0,86	1,8	6,0
Argila expandida 1506 (CINEXPAN 1506)	12,5	1,11	0,59	2,7	7,0

Tabela 2 – Cidades adotadas para simulação do desempenho térmico das habitações

Cidade	Zona Bioclimática
São Paulo – SP	3
São Carlos – SP	4
Santos – SP	5
Presidente Prudente – SP	6

entre 28,5 a 31,5%. A Tabela 1 apresenta as características dos agregados utilizados nos concretos.

2.4 Levantamento de Dados Comportamentais dos Usuários

Para a execução das simulações computacionais observou-se a necessidade de adotar precisamente algumas variáveis solicitadas pelo software Arqitrop 3.0, relacionadas à condição de ocupação e à ventilação, isso com a intenção de obter informações mais exatas sobre o comportamento de moradores de habitações de interesse social, 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. Mesmo sendo executado somente para a cidade de São Carlos, tal levantamento permitiria maior precisão na execução das simulações caso as variáveis relacionadas à ocupação e ventilação fossem somente estimadas.

2.5 Determinação das Cidades para as Simulações Computacionais

Neste artigo serão apresentados os dados referentes às simulações de habitações térreas para 4 cidades do Estado de São Paulo (Tabela 2). A escolha por 4 cidades do Estado de São Paulo (São Paulo, São Carlos, Santos e Presidente Prudente) justifica-se pela

intenção de avaliar as quatro distintas regiões bioclimáticas presentes nesse Estado.

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

As simulações foram realizadas utilizando como parâmetro as diretrizes e recomendações da NBR 15575-1. Segundo essa última norma, para edificações na fase de projeto, a avaliação de desempenho térmico deve ser feita nos dias considerados críticos de projeto para verão (22 de dezembro) e inverno (22 de junho), utilizando os dados climáticos da cidade, que nesse caso já estavam inseridos no banco de dados do software. As orientações das unidades habitacionais foram estabelecidas também de acordo com as recomendações da NBR 15575-1, que são: no verão a janela do quarto 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.

Na simulação computacional foi utilizado o software Arqitrop, versão 3.0, desenvolvido por Roriz e Basso [12], que é um sistema integrado de rotinas e bancos de dados para apoio às atividades de projeto em arquitetura e engenharia visando conforto térmico e eficiência energética em edificações. Trata-se de um software que possui algumas limitações, porém atendeu às tipologias de edificações simuladas em termos de simplificação dos dados de entrada. Salienta-se que nas versões iniciais (projetos) da norma NBR 15575 utilizadas na fase de simulação desta pesquisa, ainda não era exigido o uso do software *Energy Plus* como ocorre na versão final da norma publicada em maio de 2008.

Neste estudo adotou-se o quarto como ambiente padrão para análise, por ser o ambiente de maior permanência dos usuários de acordo com o levantamento de dados comportamentais executado e para simplificar o processo de análise.

Os dados de entrada solicitados pelo software Arqitrop 3.0 são: pé direito, número de fachadas expostas, área de ventilação, Período de ventilação, orientação solar, área envidraçada, dispositivos de proteção solar, dimensões do ambiente, cores das fachadas, ocupação do ambiente, existência de equipamentos fontes de calor, materiais, localização e reno-

Tabela 3 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de inverno (2)

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 Celsius;

$T_{e, \min}$ – é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius.

¹NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

Tabela 4 – Critério de avaliação de desempenho térmico para condições de verão (2)

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 Celsius;

$T_{e,max}$ – é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação, em graus Celsius;

¹ NOTA: Zonas Bioclimáticas de acordo com a ABNT NBR 15220-3.

vações de ar.

2.7 Níveis de Desempenho

Os níveis de desempenho foram adotados de acordo com as tabelas 2 e 3 retiradas do Anexo E da norma NBR 15575-1 e avaliados para cada localidade. Tanto para as condições de inverno quanto para as condições de verão, os níveis de desempenho devem ser entendidos (Tabelas 3 e 4) 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.

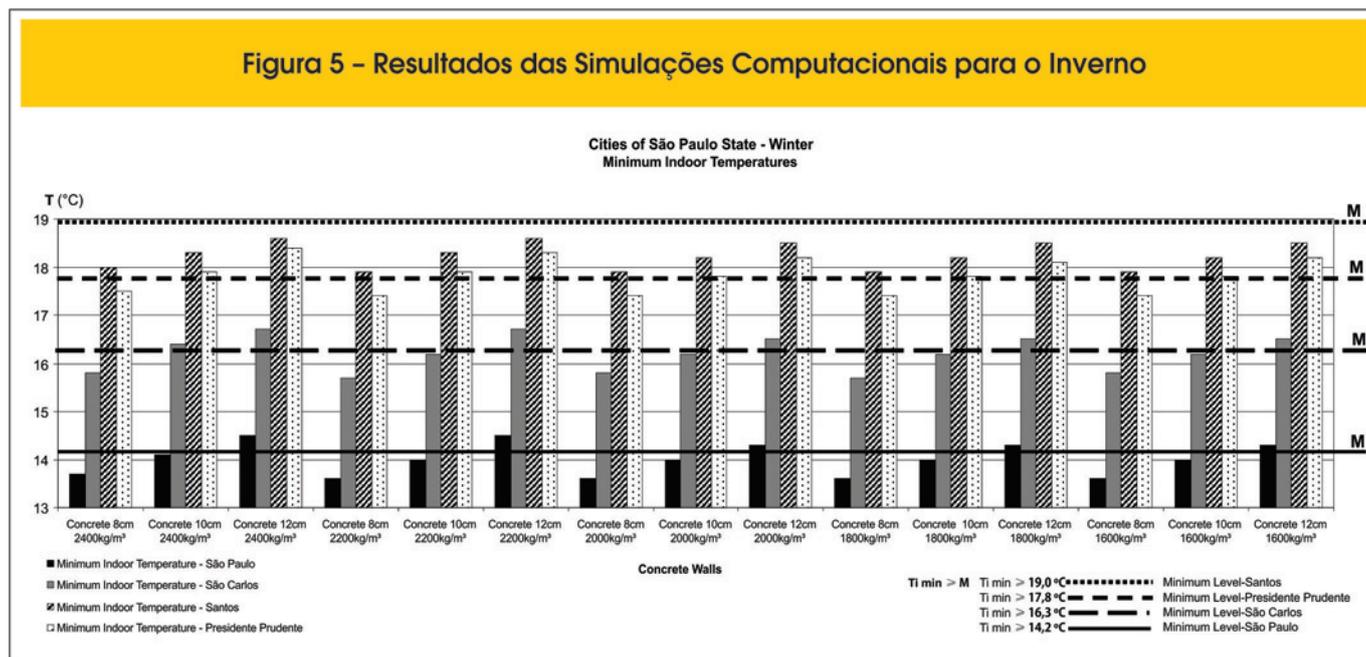
Os níveis de desempenho I (Intermediário) e S (Superior) que excedem o M (Mínimo) são indicados na norma considerando a possibilidade de melhoria da qualidade da edificação. Nas análises dos resultados das simulações computacionais foram considerados tanto para inverno quanto para verão os critérios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

3. Resultados e Discussões

3.1 Levantamento de Dados Comportamentais dos Usuários

A partir do resultado das entrevistas foi determinado que o número médio de ocupantes por ambiente foram 2 pessoas, o horário de início da ocupação foi 21h00 e a duração da ocupação foi 9h00. Em relação à ventilação o horário de

Figura 5 – Resultados das Simulações Computacionais para o Inverno



abertura da janela foi de 9h00 até as 22h30, ou seja, as janelas ficavam abertas cerca de 13h30. Esses dados relativos à condição de ocupação e ventilação das habitações foram de extrema importância para uma maior precisão para as simulações computacionais.

3.2 Resultados das Simulações Computacionais para o Inverno

Por meio dos resultados das simulações computacionais foram obtidas para a edificação, com suas respectivas características,

Tabela 5 – Temperaturas internas para análise das condições de inverno

Nível de Desempenho por Cidade – Inverno			
Cidade	M	I	S
São Paulo	$T_{i,min} \geq 14,2 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 16,2 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 18,2 \text{ }^\circ\text{C}$
São Carlos	$T_{i,min} \geq 16,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 18,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 20,3 \text{ }^\circ\text{C}$
Santos	$T_{i,min} \geq 19,0 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 21,0 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 23,0 \text{ }^\circ\text{C}$
Presidente Prudente	$T_{i,min} \geq 17,8 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 19,8 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,min} \geq 21,8 \text{ }^\circ\text{C}$

* $T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação no inverno, em graus Celsius.

Figura 6 – Resultados das Simulações Computacionais para o Verão

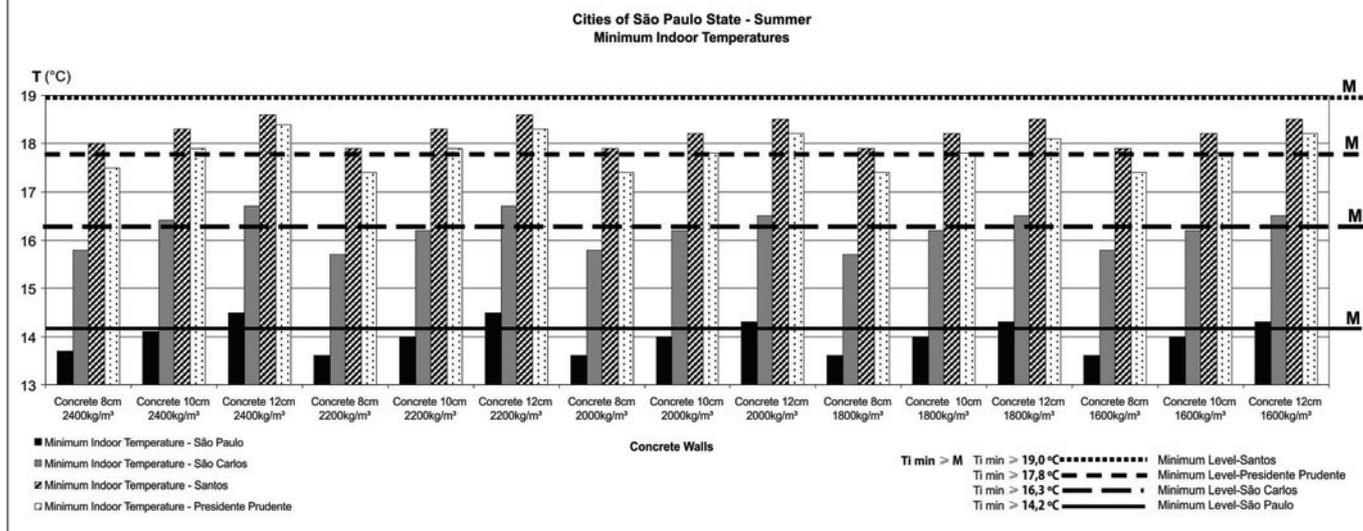


Tabela 6 – Temperaturas internas para análise das condições de verão

Nível de Desempenho por Cidade – Verão			
Cidade	M	I	S
São Paulo	$T_{i,max} \leq 25,9 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 23,9 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 21,9 \text{ }^\circ\text{C}$
São Carlos	$T_{i,max} \leq 26,9 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 24,9 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 22,9 \text{ }^\circ\text{C}$
Santos	$T_{i,max} \leq 27,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 25,5 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 23,5 \text{ }^\circ\text{C}$
Presidente Prudente	$T_{i,max} \leq 30,2 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 28,2 \text{ }^\circ\text{C}$	$T_{i,max} \leq 26,2 \text{ }^\circ\text{C}$

* $T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação no verão, em graus Celsius.

as tabelas de variação horária das temperaturas mínimas internas e externas (Inverno e Verão). Os resultados das simulações encontram-se na forma de gráficos e são apresentados na Figura 5. A Tabela 5 apresenta as temperaturas de acordo com os níveis de desempenho por cidade e de acordo com a estação, para dar suporte às análises para inverno.

Analisando os resultados na Figura 5, observou-se que para o inverno pelo menos o nível mínimo de desempenho (M) ($T_{\text{mínima interna}} \geq T_{\text{mínima externa}} + 3^{\circ}\text{C}$) foi atendido para algumas das localidades. Para São Paulo as tipologias com painéis de 12 cm, independente da massa específica atenderam ao nível mínimo de desempenho. Para São Carlos todas as tipologias com painéis de espessura 12 cm atenderam ao nível mínimo de desempenho, sendo que a tipologia com massa específica 2400 kg/m^3 e espessura 10 cm também atendeu ao nível mínimo de desempenho. Para a cidade de Santos nenhum dos níveis de desempenho foi atendido para o inverno. Para Presidente Prudente, apesar de dispensada a verificação para o inverno é atendido o nível mínimo de desempenho para todas as tipologias analisadas.

3.3 Resultados das Simulações Computacionais para o Verão

Na Figura 6 são apresentados os resultados das simulações computacionais para o verão.

A Tabela 6 apresenta as temperaturas internas para a análise dos resultados das simulações computacionais para o verão.

De acordo com o gráfico da Figura 6, observou-se que para o verão, nem mesmo o nível mínimo de desempenho foi atendido para as localidades analisadas, com exceção de São Paulo, onde a tipologia com painéis de 12 cm de espessura e massa específica 2400 kg/m^3 foi a única a atender ao nível mínimo de desempenho (M) ($T_{\text{máxima interna}} \leq T_{\text{máxima externa}}$).

3.4 Análise Geral dos Resultados

Durante a realização desta pesquisa foi possível acompanhar o desenvolvimento da norma NBR 15575. Observou-se, a partir dos resultados das simulações computacionais, que os requisitos de desempenho térmico (M, I e S) da versão final utilizada nesta pesquisa (maio de 2007) ficaram mais rigorosos que a versão inicial utilizada (outubro de 2002). Ocorreram mudanças nos parâmetros de desempenho, especificamente nas exigências para os valores das temperaturas mínimas (inverno) e máximas (verão) internas, tornando esses parâmetros mais rigorosos, principalmente em relação às temperaturas para inverno. Por isso, observa-se de forma geral nos resultados que somente o nível mínimo de desempenho foi atendido pelas tipologias analisadas.

A influência das espessuras dos painéis nos resultados das simulações pode ser explicada com base na condução térmica (W/m^2), fenômeno de transferência térmica de calor causado por uma diferença de temperatura entre duas regiões em um mesmo meio, ou entre dois meios em contato [13]. Tais trocas térmicas, que ocorrem através do material (concreto), somadas as trocas térmicas superficiais (interior e exterior) resultam no coeficiente de transmissão térmica U ($W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$), que quantifica a capacidade do material de ser atravessado por um fluxo de calor induzido por uma diferença de temperatura entre dois ambientes.

O fato da espessura de 12 cm do concreto destacar-se em termos

de desempenho térmico pode ser explicado pelo valor da intensidade do fluxo térmico por condução (W/m^2) que é inversamente proporcional à espessura da parede. Sendo assim, quanto maior a espessura da parede, menor a intensidade do fluxo térmico e conseqüentemente são menores as trocas de calor por condução entre o ambiente interno e externo. Além disso, o coeficiente de transmissão térmica U ($W/m^2\text{ }^{\circ}\text{C}$) que engloba as trocas térmicas na superfície interna, através do material e na superfície externa também é inversamente proporcional a espessura, e quanto menor esse valor, maior a capacidade isolante da parede.

Os casos observados de “não atendimento” dos requisitos de desempenho térmico de acordo com a NBR 15575-1 principalmente para o verão pode ser explicado por um acréscimo na temperatura interna, devido à cobertura não possuir laje, esse fator exerce grande influência nas condições de conforto térmico. Em outros casos analisados, a utilização de laje ocasionou uma diminuição das temperaturas internas das habitações no verão, pois a telha cerâmica aliada à vedação horizontal forma um ático e o ar acumulado entre telha e laje funciona como isolante térmico. Segundo Sacht [14] [15], os resultados para simulações desta mesma tipologia considerando a utilização de laje do tipo plana apresentaram uma diminuição das temperaturas internas no verão em torno de 1 a 2°C .

Observou-se que para o inverno em três das quatro cidades analisadas, o parâmetro para a temperatura interna adequada esteve abaixo dos valores normalmente encontrados na literatura, por exemplo, estariam adequadas de acordo com a norma: tipologias com temperaturas acima de $14,2^{\circ}\text{C}$ para São Paulo; tipologias com temperaturas acima de $16,3^{\circ}\text{C}$ para São Carlos e tipologias com temperaturas acima de $17,8^{\circ}\text{C}$ para Presidente Prudente; sendo que de acordo com estudos realizados por Givoni [16] esse valor deveria estar acima de 18°C .

Salienta-se que o fato de determinada tipologia não atender aos níveis de desempenho estabelecidos por norma pode ser contornado com a utilização de recursos adicionais, principalmente soluções passivas de adequação climática quando possível, por tratar-se de habitação de interesse social, na qual soluções complexas implicam em gastos adicionais. Em relação ao desempenho diferenciado de acordo com a estação do ano, recomenda-se a adequação climática para a estação mais rigorosa que ocorra na localidade.

4. Conclusões

Observou-se que para inverno e verão, nas tipologias térreas analisadas, o uso de diferentes massas específicas para o concreto pouco influenciou nos resultados. Já a variação de espessura dos painéis representou maiores diferenças nas temperaturas internas das tipologias. Isso se deve ao fato de uma maior a espessura da parede, implicar numa menor intensidade do fluxo térmico e conseqüentemente uma diminuição das trocas de calor por condução entre o ambiente interno e externo.

No inverno pelo menos o nível mínimo de desempenho (M) ($T_{\text{mínima interna}} \geq T_{\text{mínima externa}} + 3^{\circ}\text{C}$) foi atendido para grande parte das localidades analisadas, com exceção da cidade de Santos. Destacaram-se as tipologias com vedação vertical de concreto com massas específicas mais elevadas e maiores espessuras, com temperaturas pouco mais elevadas.

As condições de desempenho térmico para o verão, em grande parte dos casos, não atendeu aos requisitos mínimos da NBR 15575-1. Para a cidade de São Paulo somente a tipologia com painéis de 12 cm de espessura e massa específica 2400 kg/m³ atendeu ao nível mínimo de desempenho (M) ($T_{\text{máxima interna}} \leq T_{\text{máxima externa}}$). Isso mostra que para essa estação, quase totalidade dos tipos de painéis empregados nas habitações térreas sem laje não estão adequados em relação ao desempenho térmico.

Diante dos resultados obtidos, salienta-se que deve ser evitada a recorrente 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. Agradecimentos

Os autores agradecem à instituição de fomento à pesquisa 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).

6. Referências bibliográficas

- [01] LORDSLEEM JUNIOR, A. C. et al. Estágio atual do uso de paredes maciças moldadas no local em São Paulo. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS - SOLUÇÕES PARA O TERCEIRO MILÊNIO, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Civil – PCC, nov, 1998.
- [02] LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. O processo de produção das paredes maciças. In: SEMINÁRIO TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS VEDAÇÕES VERTICIAS – TECNOLOGIA E GESTÃO NA PRODUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCC, jul. 1998 b.
- [03] ABIKO, A.K.; ORNSTEIN, S. W. (Organizadores). Inserção Urbana e Avaliação Pós-Ocupação (APO) da Habitação de Interesse Social. Coletânea Habitar/Finep, 1São Paulo: FAUUSP. 2002. 373p.
- [04] MORELLO, A.; SATTLER, M. A. Avaliação do desempenho térmico de um protótipo habitacional construído na cidade de Porto Alegre - Período de inverno de 2003. . In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. São Paulo, julho de 2004.
- [05] VITTORINO, F.; AKUTSU, M. Validação de softwares aplicativos para simulação do comportamento térmico de habitações. São Paulo: IPT, 2004. (IPT, relatório técnico, 72).
- [06] RAUBER, D.L., VAN BELLEN, II.M., SCHUCH, L.M.S., NARCISO FILHO, P. A. L.; LAMBERTS, R. Comparação de softwares de análise térmica de edificações : Resultados para um projeto padrão e interface programa – usuário. In: II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído - ENCAC. Florianópolis: Anais... ENCAC, 1993.
- [07] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até 5 pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro, 2008.
- [08] 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.
- [09] COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL E URBANO DO ESTADO DE SÃO PAULO (CDHU). Padrão Habitacional TI24A - Arquivo de Auto CAD. São Paulo, 2007.
- [10] _____ (CDHU). Manual Técnico de Projetos. São Paulo, 1998.
- [11] _____ (CDHU). Memorial Descritivo/Especificações Técnicas - Unidades Habitacionais Térreas TI24A/ TG23A/ TI24C/ TI23C/ TI23D/ TG22B-01. São Paulo, 2005.
- [12] 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.
- [13] PÉREZ, J. P. H.; ROMULUS, A. M. Thermodynamique. Fondements et Applications. Masson, Paris, 1993.
- [14] SACHT, H. M. Painéis de vedação de concreto moldados in loco: Avaliação de desempenho térmico e desenvolvimento de concretos. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos USP/ EESC, 2008.
- [15] SACHT, H. M.; ROSSIGNOLO, J. A. Habitações térreas de interesse social: o uso e vedações em concreto com diferentes massas específicas e as condições de conforto térmico no estado de São Paulo. In: Anais... NUTAU 2008 Seminário Internacional, O Espaço Sustentável – Inovações em Edifícios e Cidades. São Paulo, 2008.
- [16] GIVONI, B. (1992). Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. Energy and Buildings, v. 18, n. 1, p. 11-23.
- [17] ROSSIGNOLO, J. A. Levantamento Fotográfico em Santa Maria da Serra – SP, 2006.