

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS PARA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL POR MEIO DE SIMULAÇÃO PARA O CLIMA DE BRASÍLIA

Márcio Hissashi Komeno (1); Rosa Maria Sposto (2); Eduardo L. Krüger (3).

(1) Acad. Engenharia Civil, UNB
e-mail: marciohk@hotmail.com

(2) Profª Drª, Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil Depto de Eng. Civil e Ambiental da Universidade de Brasília – PECC – ENC -UnB
e-mail: rmsposto@unb.br

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

RESUMO

No Brasil, um dos graves problemas sociais nos dias atuais é o grande déficit habitacional, relacionado tanto à quantidade (falta de habitações) quanto à qualidade (habitações precárias ou insalubres). No que se refere à qualidade ou desempenho da habitação, o desempenho térmico é um requisito muito importante, já que envolve o bem-estar e o conforto do morador, bem como a economia de energia. O presente trabalho trata da avaliação de desempenho térmico de sistemas construtivos utilizados na Vila Tecnológica de Curitiba e de alguns sistemas convencionais usualmente utilizados em Brasília, por meio de simulações com o software ARQUITROP. Após a análise dos resultados, foram propostas algumas melhorias nos sistemas construtivos tendo em vista a necessidade de seu melhor desempenho térmico.

ABSTRACT

In Brazil, an important issue nowadays is the lack of appropriate housing, regarding not only its quantity (insufficient houses) but also its quality (precarious housing conditions). With regard to the quality and performance of dwellings, thermal performance in a very important aspect to be considered, once it is related to user's well-being and comfort and also to energy savings. The present paper consists of an evaluation of the thermal performance of building systems used in the Vila Tecnológica de Curitiba and of conventional ones, which are used in Brasília, carried out with simulations with the ARQUITROP software. After analyzing the results, some improvements in the building systems were proposed regarding their thermal performance.

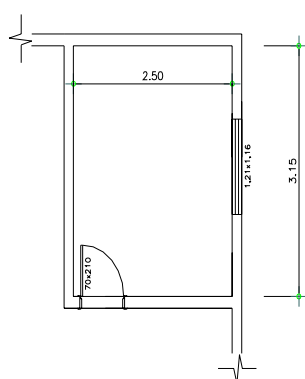
1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Diversos programas habitacionais têm sido desenvolvidos e implementados nas últimas décadas. No entanto, pouca atenção tem sido dada ao desempenho de habitações de interesse social, principalmente no que se refere ao conforto térmico das mesmas. É desejável que as habitações apresentem temperaturas internas confortáveis aos usuários, sem a necessidade do uso de aparelhos de ar condicionado ou

aquecedores, cumprindo assim a função de abrigo às condições adversas do meio ambiente. Um projeto bem avaliado antes da fase da implantação pode minimizar estes problemas, no qual estudos prévios dos materiais e componentes a serem utilizados na habitação, assim como a orientação solar, considerando-se as condições de exposição podem garantir um conforto térmico maior aos usuários (SPOSTO, 1995). Muitos novos sistemas construtivos tem sido pesquisados nos últimos anos, dentre os quais ressaltam-se os sistemas das Vilas Tecnológicas implantadas em diversas cidades brasileiras, as quais foram criadas por meio do PROTECH (Programa de Difusão de Tecnologia para Construção de Habitação de Baixo Custo, criado por Decreto Presidencial em 28 de julho de 1993), iniciativa do Governo Federal que tinha como objetivo, dentre outros, a divulgação de novos sistemas construtivos. O presente trabalho possui como objetivos: a avaliação de desempenho térmico de vários sistemas construtivos, incluindo alguns sistemas utilizados na Vila Tecnológica de Curitiba e alguns sistemas convencionais, considerando sua implantação em Brasília; e propor algumas melhorias para os mesmos.

2 – METODOLOGIA

As simulações foram realizadas por meio do software ARQUITROP (RORIZ E BASSO,1989), considerando-se a implantação dos sistemas construtivos em Brasília. Considerou-se para a simulação um cômodo padrão, sendo que todos os sistemas construtivos foram submetidos às mesmas condições de exposição. O cômodo padrão adotado e suas características são apresentados na figura 1.



Pé-Direito: 2,70 m
Paredes: 2 externas e 2 internas
Área Ventilação: 1,4 m²
Período Ventilação: 8:00 às 20:00 h
Dimensões Ambiente: 2,5 × 3,15 m
Ocupação: 2 pessoas – 19:00 às 6:00 h
Equipamentos: 60 W
Taxa renovação ar: 6,5 volume/h (definido pelo software)

Fig.1: Croqui do cômodo adotado

Foi considerada no estudo a orientação mais crítica para verão e inverno, obtida a partir de simulações de um dos sistemas construtivos em estudo (sistema Castellamare).

Os sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba possuem as características apresentadas na tabela 1.

Tab.1: Sistemas construtivos da Vila Tecnológica

Sistema	Paredes	Cobertura	Forro
Kurten	Painel de Madeira <i>Pinus</i>	Telha cerâmica Francesa	Madeira <i>Pinus</i>
Epotec	Chapa madeira preenchida com isolante térmico	Telha cerâmica Francesa	Forro aglomerado com revestimento acrílico
Castellamare	Bloco de Concreto	Telha de Fibrocimento	Madeira <i>Pinus</i>

Os sistemas construtivos convencionais considerados no estudo são constituídos por cobertura de telha de barro ou de fibrocimento, com forro de madeira tipo Pinus; e vedação com bloco cerâmico, tijolo maciço,

bloco de concreto celular ou bloco de concreto (constituindo sempre uma parede acabada de 15cm de espessura). Estes sistemas foram considerados como referência para comparação com os sistemas da Vila Tecnológica. Em virtude dos resultados encontrados, foram simuladas melhorias no projeto original. Todas as simulações foram realizadas utilizando-se o banco de dados climáticos do software ARQUITROP (Roriz e Basso,1989) . A tabela 2 apresenta as alternativas de componentes utilizadas na simulação dos vários sistemas construtivos.

Tab.2 - Simulações realizadas para o cômodo padrão

Sistemas Construtivos				Condição padrão			Melhoria	
				Vila Tecno - lógica	Telhado		1	2
					Fibro - cimento	Barro		
Sistemas construtivos da Vila Tecnológica				S	-	-	-	-
Sistemas Construtivos Convencionais	Bl. Cerâmico	9cm	$e_r = 6\text{cm}$	-	S	S	S	S
		12cm	$e_r = 3\text{cm}$	-	S	S	S	S
	Tijolo Maciço	9,5cm	$e_r = 5,5\text{cm}$	-	S	S	S	S
		11,5cm	$e_r = 3,5\text{cm}$	-	S	S	-	-
	Bl. Concreto	9cm	$e_r = 6\text{cm}$	-	S	S	S	S
		12cm	$e_r = 3\text{cm}$	-	S	S	S	S
	Bl. Concr. Celular	10cm	$e_r = 5\text{cm}$	-	S	S	S	S
		12,5cm	$e_r = 2,5\text{cm}$	-	S	S	S	S
Período Simulado				Verão/ Inverno	Verão/ Inverno	Verão/ Inverno	Verão	Verão

S – Simulações realizadas

e_r – espessura do revestimento

Obs 1- Laje de concreto 10cm, orientação solar Norte e sombreamento na janela.

Obs 2- Laje de concreto 10cm, orientação solar Norte, sombreamento na janela e pintura do telhado.

Para avaliação do desempenho térmico utilizou-se o critério proposto pelo IPT (s.d.p), onde são estabelecidos 3 níveis de desempenho térmico da habitação de acordo com o intervalo de temperatura interna (T_i): Níveis A, B e C, conforme a tabela 3.

Tab.3 - Intervalos de temperatura para classificação das habitações. Fonte: IPT (s.d.p.)

	A	B	C
Verão	$T_i \leq 29^\circ\text{C}$	$29^\circ\text{C} < T_i \leq T_{\text{ext}}$	$T_i > T_{\text{ext}}$
Inverno	$T_i \geq 17^\circ\text{C}$	$17^\circ\text{C} > T_i \geq 12^\circ\text{C}$	$T_i < 12^\circ\text{C}$

Onde: T_{ext} -valor máximo diário da temperatura do ar exterior

3 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1 - Determinação das orientações críticas de Brasília

Primeiramente, foram definidas as orientações mais críticas de verão e inverno para Brasília, a partir das simulações para o sistema construtivo Castellamare com quatro diferentes orientações da janela: Norte, Sul, Leste e Oeste. A partir dos resultados analisados, adotou-se a orientação mais crítica como sendo Leste para verão e Sul para inverno.

3.2 - Sistemas construtivos utilizados na Vila Tecnológica de Curitiba

Após determinadas as orientações críticas, realizou-se simulações com os sistemas construtivos utilizados na Vila Tecnológica de Curitiba.

Com a condição mais crítica de orientação solar para verão e inverno, obteve-se as temperaturas apresentadas nas figuras 2 e 3, respectivamente.

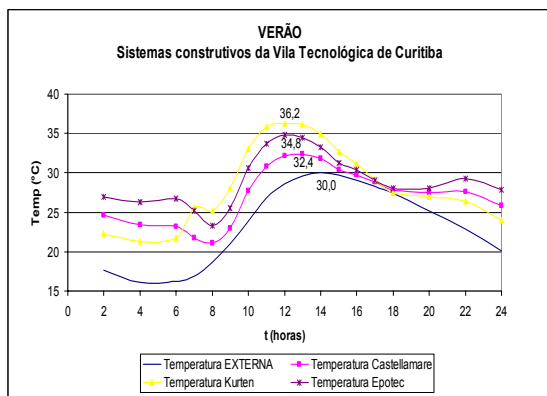


Fig.2: Curvas temperatura interna para os sistemas construtivos da Vila Tecnológica no verão

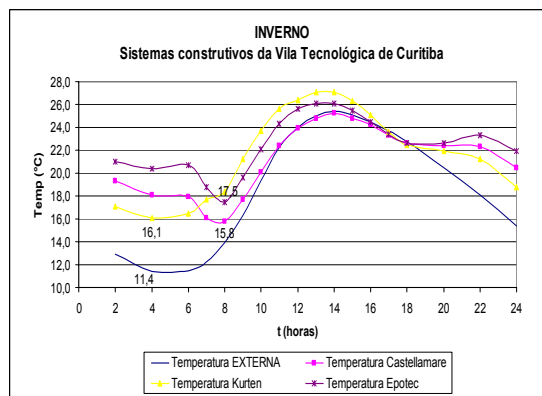


Fig.3: Curvas temperatura interna para os sistemas construtivos da Vila Tecnológica no inverno

Quanto ao verão, todos os sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba apresentaram um desempenho ruim quando simulados para o clima de Brasília. As temperaturas máximas internas são sempre superiores à temperatura máxima externa (30°C), classificando-se portanto como de nível C, de acordo com o critério do IPT (s.d.p). Verifica-se, na figura 2, que os componentes utilizados no sistema Kurten (madeira) são mais suscetíveis às influências externas, apresentando as maiores temperaturas nos períodos da manhã e da tarde, e temperaturas mais baixas no período da noite. O sistema Castellamare (bloco de concreto) apresenta a menor temperatura máxima interna (32,4°C) dentre aqueles em estudo. Observa-se também que os picos de temperatura máxima interna dos ambientes ocorrem antes do pico de temperatura máxima externa pelo fato dos ambientes em consideração estarem voltados para a orientação Leste, recebendo maior quantidade de calor pela manhã.

Quanto ao inverno, as habitações apresentaram nível B para os sistemas Castellamare e Kurten, com as temperaturas mínimas acima do limite de 12°C (para o nível B, referente à temperatura mínima de conforto no inverno à noite, para uma pessoa dormindo). Na figura 3, é possível, ainda, visualizar a curva do sistema Epotec acima da temperatura de referência de 17°C durante todas as horas do dia, sendo o sistema classificado como nível A no inverno.

3.3 - Sistemas construtivos convencionais

a) Com telha de fibrocimento

Primeiramente, considerou-se o telhado constituído por telha de fibrocimento e forro de madeira tipo Pinus com 1cm de espessura. As variações de parede consideradas foram: blocos cerâmicos (BCER), tijolo maciço (TMAC), bloco de concreto (BCON) e bloco de concreto celular (BCCA), em diferentes espessuras de revestimento, sendo que os resultados para as condições de verão e inverno são apresentados nas figuras 4 e 5.

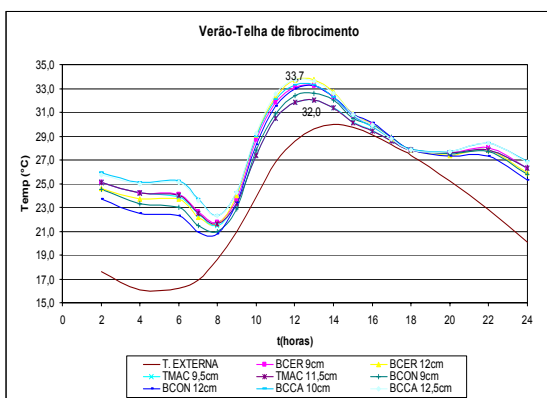


Fig.4: Curvas de temperatura interna com telha de fibrocimento e parede convencional para verão

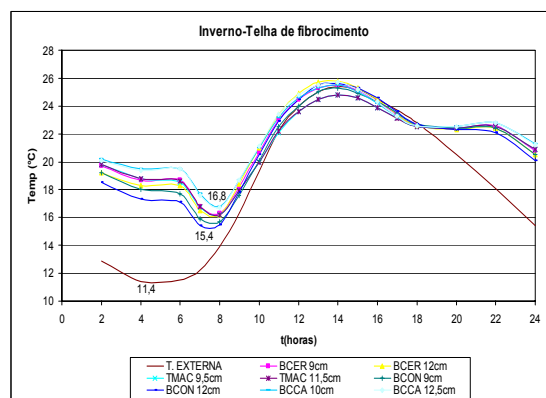


Fig.5: Curvas de temperatura interna com telha de fibrocimento e parede convencional para inverno

Todos os sistemas construtivos apresentaram um desempenho semelhante para a condição de verão, classificando-se como de nível C. Pela figura 4, visualiza-se que os mesmos apresentam temperatura superior à temperatura de referência de 29°C (nível A). A máxima temperatura de 33,7°C foi obtida pelo bloco de concreto celular (12,5 cm de espessura) e pelo bloco cerâmico (12cm).

Para a situação de inverno (figura 5), visualiza-se que todos os diferentes sistemas construtivos analisados apresentam a temperatura mínima abaixo da temperatura de referência de 17°C (limite para classificação como nível A). No entanto, os valores mínimos não foram inferiores a 12°C, sendo portanto todos os sistemas construtivos do nível B. Ao contrário da orientação Leste (verão), a orientação Sul (inverno) resulta em uma temperatura máxima interna no mesmo horário da temperatura máxima externa (às 14 horas).

b) com telha de barro

O mesmo processo foi repetido com as configurações adotadas anteriormente, utilizando-se, porém, a telha de barro como cobertura do cômodo.

Para o verão, os sistemas construtivos com a telha de barro apresentaram um desempenho térmico ligeiramente inferior comparativamente à telha de fibrocimento, com conforto no nível C. A temperatura interna simulada, porém, apresentou resultado um pouco superior à temperatura para a telha de fibrocimento. As maiores temperaturas foram obtidas novamente pela alvenaria de 12cm de espessura (34,5°C) e pelo bloco de concreto celular (34,6°C). Os tijolos maciços apresentaram resultados semelhantes para as diferentes espessuras. Durante as horas mais quentes do dia, a temperatura interna deste sistema construtivo foi sempre inferior às demais, apresentando um pico de 32,7°C.

Na tabela 4, observa-se o acréscimo de temperatura ao se utilizar a telha de barro ao invés de fibrocimento. Verificou-se que a temperatura interna é ligeiramente superior para a telha de barro. Esta diferença se deve provavelmente às considerações do software quanto à cor dos componentes, com a telha de barro absorvendo maior quantidade de calor proveniente da radiação solar, pelo fato de ser mais escura. Entretanto, há que se considerar ainda o efeito da absorção de água pelas telhas de barro, que proporciona uma redução da temperatura da telha (parte do calor absorvido pela telha é gasta no processo de evaporação). Este fator não é simulado pelo software usado.

Comparando-se as temperaturas internas obtidas para os sistemas construtivos com diferentes tipos de componentes e espessuras de revestimento, verifica-se que, quanto maior a espessura do revestimento, menor a temperatura interna máxima, com exceção do tijolo maciço, devido provavelmente a sua maior inércia térmica. Para este sistema construtivo, a temperatura máxima foi a mesma para ambas espessuras de revestimento.

Tab.4: Temperaturas máximas [°C] para as diferentes coberturas - Verão

Telhado	Bloco Cerâmico		Tijolo maciço		Bloco de concreto		Bloco Concreto Celular	
	9cm	12cm	9,5cm	11,5cm	9cm	12cm	10 cm	12,5cm
	E _r -6cm	E _r -3 cm	E _r -5cm	E _r -3,5cm	E _r -6cm	E _r -3 cm	E _r -5 cm	E _r -2,5cm
Telha de Fibrocimento (T _F)	33,2	33,7	32,0	32,0	32,6	33,2	33,3	33,7
	C	C	C	C	C	C	C	C
Telha de Barro(T _B)	34,0	34,5	32,7	32,7	33,3	33,9	34,2	34,6
	C	C	C	C	C	C	C	C

E_r-espessura revestimento

C - Classificação pelo critério do IPT

Para a condição de inverno, os sistemas construtivos com telha de barro são classificados como de nível B, com exceção do sistema com paredes constituídas de bloco de concreto celular, classificado como de nível A. Na tabela 5, pode-se visualizar estes resultados.

Tab.5 - Temperaturas mínimas[°C] para as diferentes coberturas – Inverno

Telhado	Bloco Cerâmico		Tijolo maciço		Bloco de concreto		Bloco Concreto Celular	
	9cm	12cm	Tipo 1 (9,5cm)	Tipo 2 (11,5cm)	9cm	12cm	10cm	12,5cm
	Telha de Fibrocimento (T _F)	16,3	16,2	16,2	16,2	15,7	15,4	16,8
B		B	B	B	B	B	B	B
Telha de Barro(T _B)	16,6	16,5	16,4	16,4	16	15,6	17,1	17,1
	B	B	B	B	B	B	A	A

A e B - Classificação pelo critério do IPT

Verificou-se que as temperaturas internas para o caso do bloco de concreto celular apresentaram valores superiores à temperatura de referência de 17°C, classificando-se como sendo de nível A. As menores temperaturas foram obtidas pelos sistemas constituídos com paredes de bloco de concreto, sendo as temperaturas mínimas de 15,7°C e de 15,4°C para os blocos de concreto de 9cm e 12cm e telha de fibrocimento, respectivamente.

Com a telha de barro, as temperaturas internas foram um pouco superiores às apresentadas pela telha de fibrocimento, novamente devido à dificuldade de não se considerar o efeito de absorção de água desse tipo de telha e, conseqüentemente, as perdas por evaporação. Este acréscimo de temperatura permitiu a passagem do bloco de concreto celular do nível B para o nível A com a utilização da telha de barro para as condições de inverno.

3.4 - Melhorias propostas

Verificou-se anteriormente que nenhum dos sistemas construtivos simulados apresentou resultados satisfatórios para verão, classificando-se todos como de nível C. Como proposta de melhoria do desempenho térmico foram sugeridas algumas alterações e incluídos novos dispositivos que resultassem em maior conforto térmico no interior da habitação. Estas simulações foram realizadas somente com os sistemas construtivos convencionais e telhado de fibrocimento para a condição de verão, já que para o inverno a situação não é tão crítica, uma vez que os sistemas foram classificados em sua maioria como nível B, que é uma condição mais satisfatória.

Como melhoria foram consideradas primeiramente (figura 6): alterações na orientação da janela, utilizando-se a Norte ao invés da Leste; inclusão de veneziana externa do tipo lâmina delgada da cor

branca; e inclusão da laje de concreto maciço de 10cm de espessura ao invés do forro de madeira. As demais condições permaneceram idênticas às anteriores.

As alterações nas condições padrões contribuíram para a melhoria do desempenho térmico no interior das habitações. A maioria passou para a classificação B. O único sistema que continuou com a classificação C foi o sistema construtivo de bloco de concreto 12cm, mas que apresentou uma melhora significativa, encontrando-se próximo ao limite de classificação nível B. Essa primeiras melhorias efetuadas na condição padrão permitiram uma melhora significativa de desempenho térmico. Foi possível uma redução da temperatura interna de até 4K como no caso do bloco de concreto celular de 12,5cm, o que corresponde quase a 12% de diferença, com a implantação destas modificações.

Além de todas as melhorias adotadas anteriormente, utilizou-se a pintura do telhado de fibrocimento na cor branca, já que a cobertura é uma das principais responsáveis pelo ganho térmico de uma habitação. Com a realização da pintura do telhado, todos os sistemas construtivos passam à classificação nível A (figura 7).

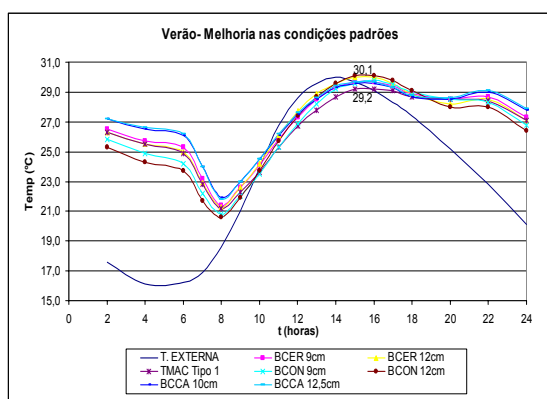


Fig.6: Curvas temperatura interna com telha fibrocimento e melhorias das condições de exposição no período de verão

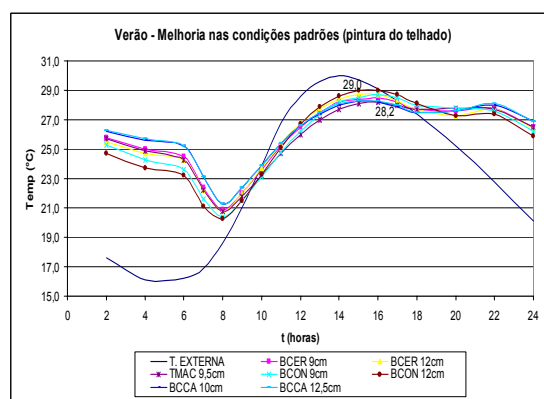


Fig.7: Curvas temperatura interna com telha fibrocimento e melhorias condições das exposição, com pintura do telhado, no período de verão

Obs: o Tijolo maciço foi simulado somente com uma espessura (9,5cm), pelo fato dos resultados anteriores serem semelhantes para as duas espessuras.

O bloco de concreto de 12cm encontrou-se no limite de classificação (29°C) do nível A, sendo o sistema construtivo que apresentou a maior e menor temperaturas internas durante o dia, sofrendo maior influência às condições externas. O sistema constituído por tijolo maciço foi o que apresentou a menor temperatura, sendo que sua temperatura alcançou no ápice o valor de 28,2°C. Pôde-se observar melhoras no desempenho térmico dos sistemas da ordem de até 16% com as medidas de melhoria e pintura do telhado na cor branca.

4 - CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, pode-se afirmar que o maior problema de Brasília é quanto às temperaturas no período do verão. Durante este período, todos os sistemas simulados nas condições padrões apresentaram níveis C, com a temperatura interna sempre superior à externa. Ainda, para as condições padrão de simulação, verifica-se que o período de inverno não é tão crítico quanto o de verão, pois para estas condições a maioria das habitações foi classificada no nível B de conforto.

Quanto aos sistemas construtivos em estudo, pôde-se observar que os sistemas construtivos convencionais tiveram, em sua maioria, um desempenho ligeiramente superior aos sistemas da Vila Tecnológica, desempenho porém de nível não satisfatório em termos de conforto (nível C). Com a introdução de

melhorias (estas de caráter extremamente simples), o cômodo simulado com sistemas construtivos convencionais apresentou desempenho mais satisfatório.

Com a introdução de melhorias, como o uso da laje de concreto armado de 10cm de espessura, orientação Norte e sombreamento da janela e pintura da cobertura, observou-se que as habitações, apontadas como nível C, passaram a apresentar um conforto nível A no verão. A melhoria da habitação é alcançada devido à maior inércia da cobertura (laje de concreto em substituição ao forro de madeira); pintura na cor branca do telhado, que reduz a quantidade de calor absorvida devido a cor da telha; e proteção da área envidraçada, reduzindo o ganho térmico proveniente da radiação solar direta.

Ainda, verificou-se que quanto maior a espessura de revestimento (reboco), menor a temperatura interna máxima para maioria dos componentes considerados neste estudo, com exceção do tijolo maciço. Provavelmente esta diferença de temperatura se deve à inércia térmica do revestimento, o que resulta em um maior amortecimento do fluxo de calor externo. Neste caso, é recomendável a realização de mais estudos sobre o assunto, objetivando-se a investigação da influência do revestimento no desempenho térmico de alvenarias.

5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPT. “Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social”. IPT/MPO/SPU, São Paulo, s.d.p.
- RORIZ, M. e BASSO, A. ARQUITROP, versão 3.0. São Carlos, SP, 1989.
- SPOSTO, R. M. “Painéis de argamassa armada compostos com isolantes térmicos para vedos da habitação de baixo custo em São Paulo”. Tese de doutorado, FAU-USP, São Paulo, 1995.