

Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira

Application of thermal performance evaluation methods for assessing wood wall panels

Thalita Gorban Ferreira Giglio
Miriam Jerônimo Barbosa

Resumo

O objetivo deste trabalho consiste em analisar a aplicabilidade dos métodos de avaliação de desempenho térmico de edificações em um sistema construtivo alternativo em madeira. O método de pesquisa adotado baseia-se em uma análise comparativa, na qual se variam os painéis de vedação em um protótipo habitacional. Através de ferramenta de simulação, foram obtidos dados anuais de temperatura interna, os quais foram analisados segundo o método do projeto de norma de desempenho de edificações e também pelo método das horas de desconforto. Além dessa análise, fez-se uma avaliação a partir de métodos simplificados. Ao final, fez-se uma análise acerca da compatibilidade dos resultados oriundos da aplicação dos diferentes métodos. Divergências foram constatadas entre resultados obtidos da aplicação dos métodos normativos, as quais contribuíram para a discussão de alguns aspectos que devem ser revistos para uma melhor avaliação térmica de sistemas construtivos alternativos.

Palavras-chave: desempenho térmico, painéis de madeira, conforto térmico, normas.

Abstract

The aim of this research work is to analyse the applicability of building thermal performance evaluation methods for assessing wood wall panels. The method consists of comparative analysis, in which wood wall panels were alternated in a house prototype. Through a simulation tool, indoor temperature data were obtained, which were analyzed through the application of the building performance standard proposal, and also through application of the discomfort hours method. In addition, an evaluation was carried out based on existing simplified methods. Finally, an analysis on the compatibility of the results from different methods was carried out. Some differences were found in the results obtained from different methods, which contributes for the discussion of aspects that should be revised in those standards, in order to improve the thermal performance evaluation of alternative construction systems.

Keywords: thermal performance; wood wall panels; thermal comfort; standards.

Thalita Gorban Ferreira Giglio
Departamento de Construção Civil
Universidade Estadual de Londrina
Campus Universitário, Caixa Postal 6001
Londrina - PR - Brasil
CEP 86051-660
Tel./Fax.: (43) 3371-4455
E-mail: thalitag@uel.br

Miriam Jerônimo Barbosa
Departamento de Construção Civil
Universidade Estadual de Londrina
E-mail: mjb@uel.br

Recebido em 07/04/06
Aceito em 14/08/06

Introdução

Dentro do panorama atual brasileiro referente ao desenvolvimento normativo para avaliação do desempenho térmico, tem-se o ano de 2005 marcado pela consolidação da primeira norma brasileira de desempenho térmico para avaliação de componentes construtivos (ABNT, 2005a; ABNT, 2005b), já em discussão desde 1998. Além dessa norma, apresenta-se em fase final de aprovação o projeto de norma de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2002a; ABNT, 2002b), com tópico específico para avaliação térmica de componentes e edificações.

A princípio, evidencia-se uma contradição entre eles. Enquanto a norma brasileira recomenda paredes externas leves e refletoras para algumas zonas bioclimáticas – segundo a classificação da norma brasileira de desempenho térmico (NBR 15220-3) –, o projeto de norma de desempenho expõe valores mínimos de capacidade térmica que atendem apenas às paredes de maior massa, deixando os sistemas construtivos leves, de baixa capacidade de armazenar calor, inadequados a essas mesmas zonas bioclimáticas. Nesse sentido, o projeto de norma direciona a avaliação de sistemas alternativos de baixa capacidade térmica para um método por desempenho, induzindo a uma avaliação mais detalhada acerca do seu desempenho térmico. Tais questionamentos e o evidenciado crescimento dessa área no Brasil demonstram a necessidade de discussão sobre os procedimentos definidos pelas normas brasileiras, a fim de aprimorar seu processo de avaliação.

Nesse enfoque, o presente artigo apresenta os resultados de uma pesquisa que aplicou os dois textos normativos brasileiros, como ferramenta de avaliação térmica, em um sistema construtivo de painéis de vedação em madeira, dispostos a uma condição climática específica. Considerando que os painéis de vedação em madeira apresentam baixa capacidade térmica, foi aplicado o método por desempenho para a avaliação pelo projeto de norma brasileira.

Métodos de avaliação do desempenho térmico

A norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005b), em vigor desde maio de 2005, apresenta um método simplificado de avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos. O método consiste de recomendações de limites para as propriedades térmicas de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, além da

proposição de estratégias bioclimáticas, todos variáveis conforme a zona bioclimática em estudo. É um método simplificado, pois depende apenas do cálculo das propriedades térmicas de um componente construtivo isoladamente.

O projeto de norma de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2002a; ABNT, 2002b) apresenta dois métodos de avaliação do desempenho térmico, um a partir de procedimento simplificado e outro por desempenho a partir de procedimento detalhado. O método simplificado apresenta parâmetros de capacidade térmica e transmitância térmica, com valores diferentes dos estabelecidos pela norma brasileira de desempenho térmico. Já o método por desempenho detalhado considera a resposta térmica global de uma edificação com exposição dinâmica a um clima específico. Nesse método, evidencia-se a necessidade de obtenção de dados horários de temperatura interna, ou pelo procedimento de medição ou por simulações. A avaliação consiste na verificação da temperatura máxima obtida para o dia típico de verão e da mínima para o dia típico de inverno, e classifica a edificação com desempenhos mínimo, intermediário ou superior.

Ressalta-se que os parâmetros de temperatura utilizados como requisitos de desempenho pelo projeto de norma (ABNT, 2002a) seguem os critérios do método desenvolvido inicialmente pelo Instituto de Pesquisa Tecnológica (IPT) (AKUTSU; VITTORINO; PEDROSO, 1995), com base na norma internacional ISO 7730, que, por sua vez, está fundamentada nos experimentos de Fanger com pessoas aclimatadas ao clima frio.

Além dos métodos normativos, diferentes métodos alternativos também podem ser abordados para avaliação térmica de sistemas construtivos. O método das horas de desconforto desenvolvido por Barbosa (1997) para aplicação em habitações de interesse social utiliza a zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento, com intervalo de temperatura de conforto entre 18 °C e 29 °C. O método consiste na verificação da quantidade de horas de desconforto obtidas para um ano inteiro, tanto pelo frio como pelo calor, e apresenta parâmetro de 1.000 horas de desconforto como limite máximo para que uma habitação de interesse social apresente desempenho térmico mínimo.

A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros para avaliação do desempenho térmico de paredes segundo especificações dos textos normativos brasileiros e do método das horas de desconforto.

MÉTODO	TIPO		PARÂMETROS							
			ZONAS BIOCLIMÁTICAS							
			1	2	3	4	5	6	7	8
Norma de Desempenho Térmico	Método Simplificado		$U \leq 3,00 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U \leq 3,00$	$U \leq 3,60$	$U \leq 2,20$	$U \leq 3,60$	$U \leq 2,20$	$U \leq 2,20$	$U \leq 3,60$
			$\Phi \leq 4,3 \text{ horas}$	$\Phi \leq 4,3$	$\Phi \leq 4,3$	$\Phi \leq 6,5$	$\Phi \leq 4,3$	$\Phi \leq 6,5$	$\Phi \leq 6,5$	$\Phi \leq 4,3$
			$FCS \leq 5,0\%$	$FCS \leq 5,0$	$FCS \leq 4,0$	$FCS \leq 3,5$	$FCS \leq 4,0$	$FCS \leq 3,5$	$FCS \leq 3,5$	$FCS \leq 4,0$
Projeto de Norma de Desempenho de Edifício de até Cinco Pavimentos	Método Simplificado		$U \leq 2,50 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$\alpha < 0,6$	$U \leq 3,70$					
				$\alpha \geq 0,6$	$U \leq 2,50$					
			$C_T \geq 130 \text{ kJ/m}^2 \cdot \text{K}$							
Projeto de Norma de Desempenho de Edifício de até Cinco Pavimentos	Método por desemp	M	Verão	$\text{Temp. máxima interna} \leq \text{Temp. máxima exterior}$						
			Inverno	$\text{Temp. mínima} \geq 12 \text{ }^\circ\text{C}$				Sem verificação do critério		
		I	Verão	$\text{Temp. máxima interna} \leq 29 \text{ }^\circ\text{C}$				Tem. Máxima interna < 28 °C		
			Inverno	$\text{Temp. mínima} \geq 15 \text{ }^\circ\text{C}$				Sem verificação do critério		
		S	Verão	$\text{Temp. máxima interna} \leq 27 \text{ }^\circ\text{C}$				$\text{Temp. máxima interna} \leq 26 \text{ }^\circ\text{C}$		
			Inverno	$\text{Temp. mínima} \geq 17 \text{ }^\circ\text{C}$				Sem verificação do critério		
Horas de desconforto	Método por desemp		Verão e inverno	$\text{Quantidade anual de horas de temperatura interna fora dos intervalos de } 18 \text{ }^\circ\text{C} \text{ e } 29 \text{ }^\circ\text{C} \text{ devem ser } < 1.000 \text{ horas}$						

U = Transmissão térmica

Φ = Atraso térmico

FCS = Fator de calor solar

α = Absorvitividade

C_T = Capacidade térmica

M = Desempenho mínimo

I = Desempenho intermediário

S = Desempenho superior

Tabela 1 - Parâmetros para avaliação do desempenho térmico de paredes

Método de pesquisa

A avaliação do desempenho térmico dos painéis de vedação em madeira foi realizada para a cidade de Londrina, norte do Paraná, caracterizada como clima subtropical úmido e pertencente à zona bioclimática 3, segundo a classificação da norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005b).

O método de pesquisa adotado foi conduzido por uma análise do comportamento térmico dos painéis de vedação isoladamente e também segundo a resposta térmica global de uma edificação, exposta ao clima da cidade de Londrina. Para tanto, adotou-se o procedimento por simulação térmica através da ferramenta francesa COMFIE, versão 3.4.

Para a análise dos painéis de vedação isoladamente, foram considerados os métodos simplificados da norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005b) e do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002b). Os cálculos das propriedades térmicas foram efetuados segundo procedimento da norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005a).

Para a análise dos painéis de vedação por desempenho, adotou-se o método do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002a), além do método das horas de desconforto (BARBOSA, 1997). Embora o objetivo do artigo seja avaliar a aplicabilidade de métodos normativos, o método das horas de desconforto foi adotado a fim de se obter uma análise comparativa e de melhor compreensão dos resultados.

As simulações foram realizadas com base em um protótipo habitacional de interesse social, fixando uma única condição de cobertura, de carga térmica interna, de ocupação, ventilação e clima externo, variando apenas as cinco composições de painéis e paredes adotadas.

Definição dos painéis de vedação para avaliação térmica

A definição dos painéis duplos de vedação avaliados foi norteada a partir da deficiência daqueles formados por chapas de madeira de pouca espessura, em que o armazenamento de calor é baixo. Pesquisas como as de Atem (2002) e Silva (2001) já comprovaram a inadequação

térmica de fechamentos simples de chapas de madeira de apenas 2,2 cm de espessura à maioria das regiões brasileiras. Dessa forma, foram selecionadas três composições de painéis duplos de vedação que apresentam acréscimo de espessura e de resistência térmica, de forma a compensar a sua baixa capacidade térmica.

Definidos como painéis P1, P2 e P3, todos são compostos de fechamento em madeira de pinus de 2,2 cm e câmara de ar (Figura 1). O painel P1 é

composto de duplo fechamento (interno e externo) e uma câmara de ar de 5 cm, não ventilada. O painel P2 apresenta o acréscimo de lã de vidro preenchendo a câmara de ar, e o painel P3, sem o acréscimo de isolante térmico em sua composição, possui uma segunda câmara de ar não ventilada, com inserção de uma chapa de OSB (painel de lascas de madeira orientadas de forma cruzada e unidas com resina – Oriented Strand Board) entre as câmaras.

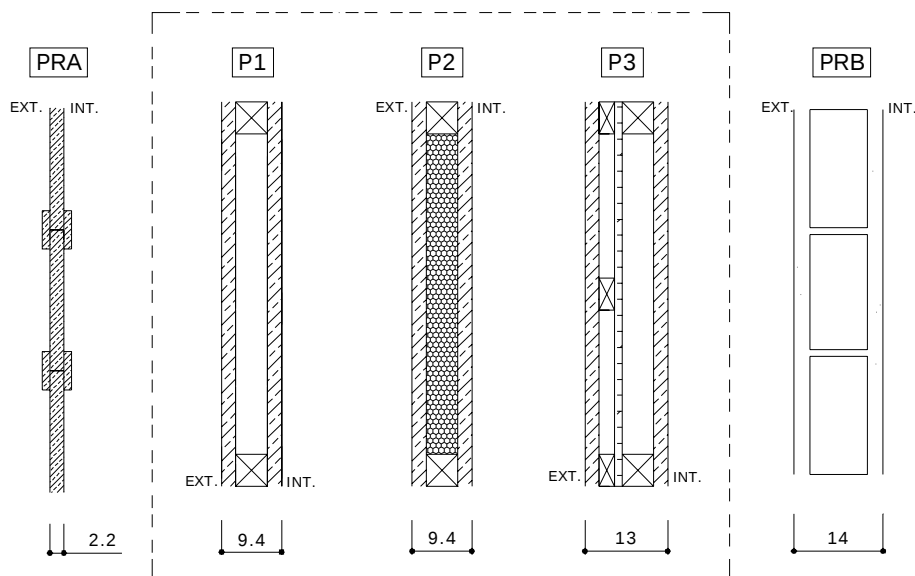


Figura 1 – Composições dos painéis e parede avaliados

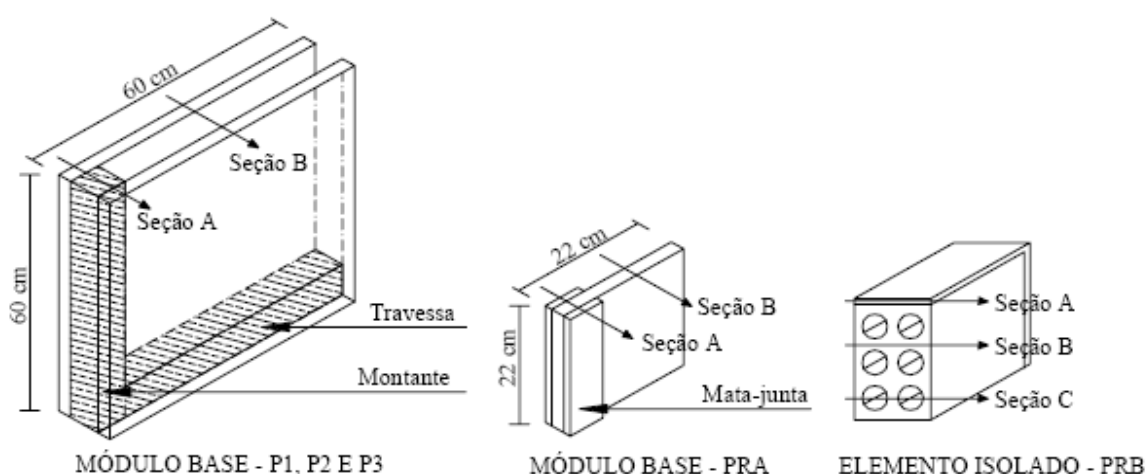
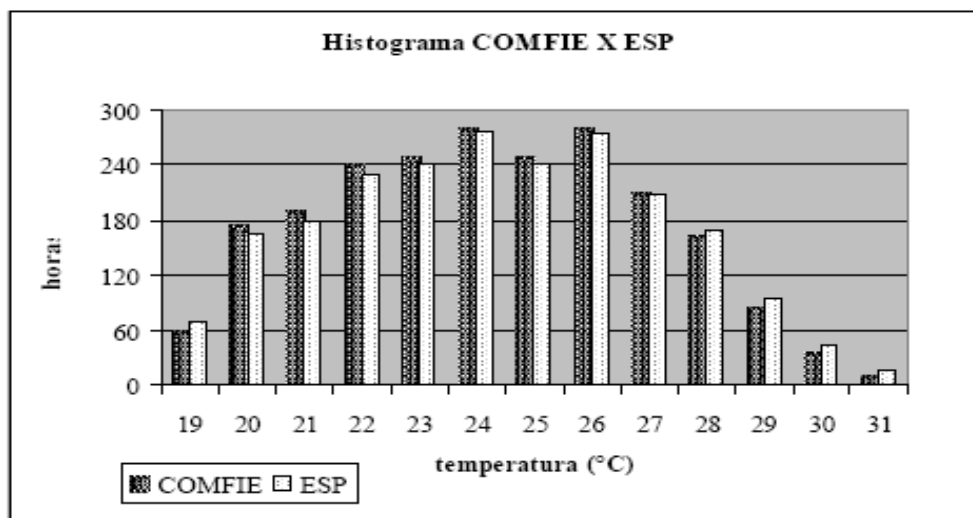


Figura 2 – Elementos isolados dos painéis e parede avaliados



Fonte: Reconstituído de Peuportier; Sommereux (1991)

Figura 3 – Exemplo de resultados comparativos gerados pelas ferramentas COMFIE e ESP, para validação da ferramenta

Os painéis selecionados para avaliação foram comparados com duas paredes referenciais, a PRA (parede referencial A) e a PRB (parede referencial B). A PRA representa uma parede de baixo desempenho térmico (já comprovado por diversos estudos), formada por apenas tábuas de madeira de pinus de 2,2 cm de espessura. A PRB representa uma parede de bom desempenho térmico, formada por tijolos cerâmicos de seis furos e reboco, sendo este um sistema construtivo já consolidado no país e na região em estudo. A Figura 1 apresenta as composições de painéis de vedação avaliadas nesta pesquisa.

Procedimento para a determinação das propriedades térmicas dos painéis

As propriedades térmicas dos painéis foram calculadas conforme procedimento definido na parte 2 da norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005a). Para a aplicação dos procedimentos de cálculo, houve preocupação com a presença de montantes e travessas existentes na estrutura dos painéis de vedação, e sua influência no desempenho térmico do conjunto. Assim, foi considerado um módulo de 60 cm de largura e de 60 cm de altura (correspondente ao espaçamento médio entre montantes), composto de um montante de 5 cm x 5 cm x 60 cm (altura) e uma travessa de 5 cm x 5 cm x 55 cm, para cada uma das três variações de painéis. Quanto à parede referencial A (PRA), foi considerada a presença de mata-junta tanto na face externa como na interna da parede. Para a parede referencial B (PRB), os cálculos foram definidos em relação a um módulo padrão

composto de um tijolo de seis furos, reboco externo e interno, e argamassa de assentamento na face superior e lateral. A Figura 2 ilustra os módulos das seções isoladas dos fechamentos adotados para cálculo das propriedades térmicas.

Em relação às propriedades térmicas da madeira de pinus, adotaram-se os valores de 0,15 W/(m.K) para condutividade térmica, com densidade correspondente a 500 kg/m³ e calor específico de 1,34 kJ/(kg.K). Para a lã de vidro inserida em P2, adotaram-se condutividade térmica de 0,045 W/(m.K), densidade de 100 kg/m³, e calor específico de 0,70 kJ/kg.K. Para a chapa derivada de madeira OSB, inserida na composição do painel P3, adotaram-se condutividade térmica de 0,14 W/(m.K), densidade de 650 kg/m³ e calor específico de 2,30 kJ /kg.K, a partir de sua classificação com aglomerado de partículas de madeira. Todos esses valores, assim como a resistência térmica da câmara de ar de alta emissividade presente nas composições de P1 e P3, estão de acordo com o especificado pela norma de desempenho térmico (ABNT, 2005a).

Configurações e procedimentos para simulações

Optou-se pelo processo de simulação devido à praticidade para avaliação de várias composições de parede; por monitoramento, seria necessária a construção de um protótipo para cada variação, além de maior disponibilidade de tempo e de recursos financeiros. As simulações foram realizadas por meio da ferramenta francesa COMFIE (PEUPORTIER; SOMMEREUX, 1991).

A ferramenta fornece dados horários anuais de temperatura interna. Esses dados puderam ser avaliados a partir do método por desempenho do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002a) e do método das horas de desconforto (BARBOSA, 1997). Foi utilizado o arquivo do ano climático de referência (TRY) para Londrina, correspondente ao ano de 1996, montado no formato do COMFIE, conforme Barbosa (1999). Totalizam-se 8.736 dados horários para as variáveis envolvidas. Ressalta-se que, durante o processo de elaboração da ferramenta COMFIE, foi feita sua validação a partir de comparação com dados gerados pela ferramenta ESP, de simulação detalhada, obtendo-se, assim, resultados muito próximos (Figura 3).

As variações de configurações foram simuladas para todas as condições de fechamento vertical, sendo eles os painéis P1, P2, P3, PRA e PRB. Embora todos esses fechamentos tivessem sido simulados com pintura exterior e interior na cor branca (absortividade = 0,3 e emissividade = 0,9), procurando fixar uma única condição de cor, foi introduzido também o painel com pintura da cor natural da madeira de pinus (absortividade média de 0,5 e emissividade de 0,9), comumente empregado nas habitações em madeira.

A escolha do protótipo adotado para simulações foi feita considerando um projeto de simplicidade formal e eficiência do sistema de ventilação e iluminação natural. Adotou-se como base o projeto do protótipo construído no campus da Universidade Estadual de Londrina, com área interna de 42,9 m² (Figura 4). Na simulação, as paredes originais em blocos cerâmicos foram substituídas pelos painéis em madeira. Para a definição da composição da cobertura, adotou-se uma solução compatível ao sistema leve em madeira. Tendo em vista que na pesquisa de Alves e Ino (2001) não se pode atingir todos os objetivos em relação à pesquisa com painéis devido à ineficiência da cobertura do protótipo, buscou-se adotar uma composição bem isolada e protegida para as simulações, composta de forro de madeira de pinus, câmara de ar não ventilada de 45 cm, manta de alumínio, outra pequena câmara de ar seguindo a espessura das ripas e telha cerâmica com pintura branca. Os procedimentos adotados para alimentar a ferramenta COMFIE com os dados de projetos podem ser visto em detalhes em Giglio (2005).

Para a aplicação do método por desempenho do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002A), tem-se como requisito para a região bioclimática 3 a configuração da edificação sem carga térmica interna, o que representa a ausência de equipamentos, iluminação e pessoas no interior do protótipo simulado. Além dessa condição, é sugerida a configuração de 1 renovação de ar por hora (1 ren/h) ocorrendo tanto no dia típico de verão como no de inverno. O dia típico de verão foi representado pelo dia 19 de dezembro de 1996, e para o dia típico de inverno foi adotado o dia 12 de julho de 1996, a partir do ano climático de referência para Londrina, conforme Barbosa (1999).

Para a aplicação do método das horas de desconforto, foi considerado um esquema de ocupação que ocorre normalmente numa habitação de interesse social em uso, conforme Barbosa (1997). As simulações foram realizadas com fontes internas de calor. Para a condição de verão o protótipo foi simulado com 10 ren/h (número de renovações de ar recomendado para salas e dormitórios de residências segundo Silva (2005)). Todas as aberturas foram configuradas com dispositivo de sombreamento (cortinas), protegendo, dessa forma, o ambiente interno contra a radiação solar direta (recurso bem utilizado pela população). Para a condição de inverno adotaram-se 1 ren/h e aberturas sem dispositivos de sombreamento. Essas configurações representam a forma básica de controle pelos ocupantes dos recursos comumente disponíveis no interior de habitações de interesse social.

Ainda com relação ao método das horas de desconforto, fez-se o tratamento dos dados gerados pela ferramenta COMFIE. Os dados horários de um ano inteiro, resultantes das simulações realizadas para a configuração de verão (10 ren/h, fluxo de calor descendente para cobertura e dispositivo de sombreamento), que ficaram acima de 29 °C, foram somados, resultando na quantidade de horas de desconforto pelo calor. Já os dados horários de um ano inteiro, resultantes das simulações realizadas para a configuração de inverno (1 ren/h, fluxo de calor ascendente para cobertura e sem dispositivos de sombreamento), que ficaram abaixo de 18 °C, foram somados, resultando na quantidade de horas de desconforto pelo frio.

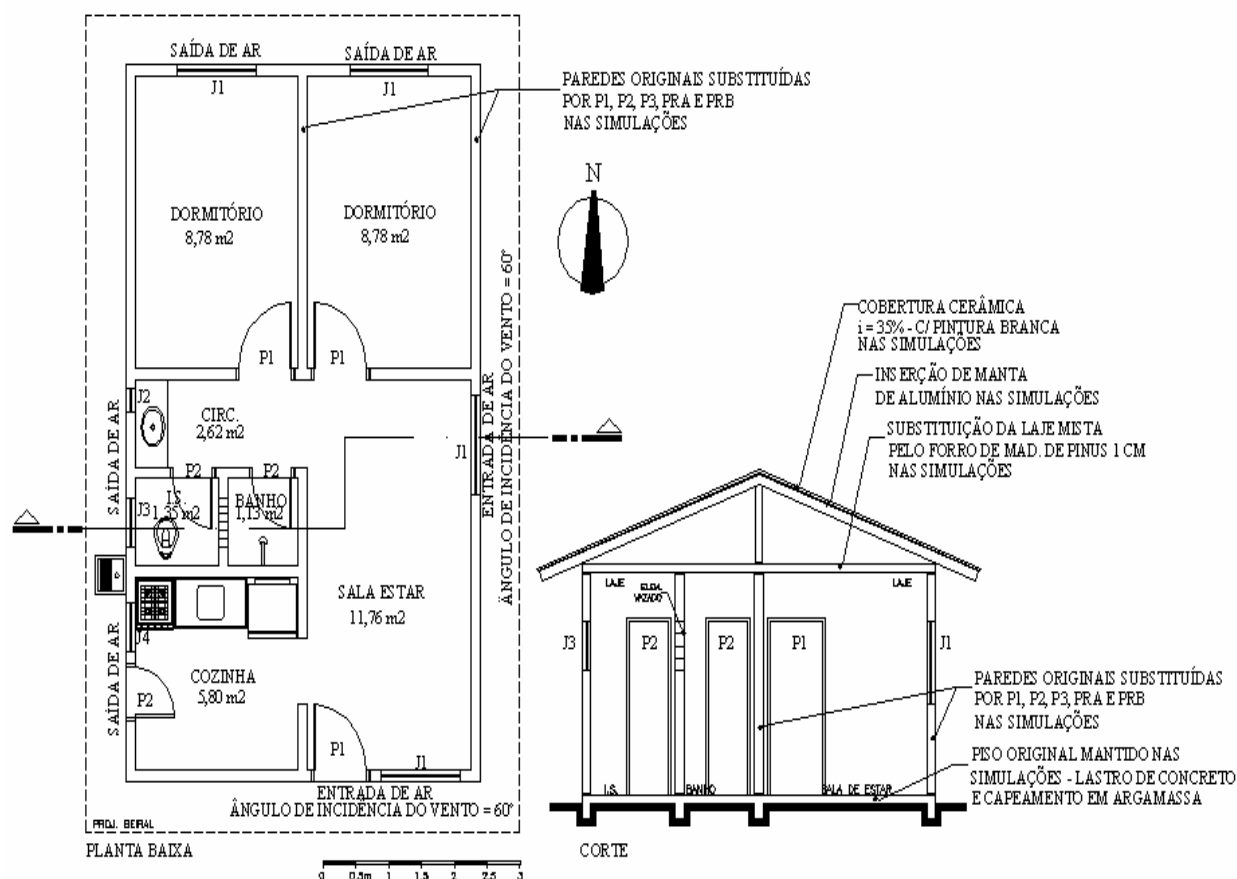


Figura 4 – Planta e corte do protótipo adotado para as simulações

Tipologia de Pannel	Valores obtidos	Transmitância Térmica	Atraso Térmico	Fator de Calor Solar
		$U \leq 3,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\phi \leq 4,3 \text{ horas}$	$\text{FCS} \leq 4,0 \%$
PRA - tábuas	$U = 2,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 1,1 \text{ horas}$ $\text{FCS} = 3,5\%$	A	A	A
P1 - tábuas + câmara de ar 5 cm + tábuas	$U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 2,4 \text{ horas}$ $\text{FCS} = 1,9\%$	A	A	A
P2 - tábuas + lâ de vidro 5 cm + tábuas	$U = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 3,7 \text{ horas}$ $\text{FCS} = 0,9\%$	A	A	A
P3 - tábuas + câmara de ar 5 cm + OSB + câmara de ar 2,4 cm + tábuas	$U = 1,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 3,7 \text{ horas}$ $\text{FCS} = 1,3\%$	A	A	A
PRB - tijolo cerâmico + reboco	$U = 2,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 3,6 \text{ horas}$ $\text{FCS} = 2,9\%$	A	A	A
I - Desempenho Inadequado				
A - Desempenho adequado				

Tabela 2 – Avaliação de desempenho térmico segundo a NBR 15220 (ABNT, 2005a)

Tipologia de Paineis	Valores Obtidos	Transmitância Térmica	Capacidade Térmica
		$U \leq 3,7$ ($p/\alpha < 0,6$)	$C_T \geq 130$
PRA – tábuas	$U = 2,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
	$C_T = 14 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		
P1 – tábuas + câmara de ar 5 cm + tábuas	$U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
	$C_T = 33 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		
P2 – tábuas + lã de vidro + tábuas	$U = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
	$C_T^* = 20 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		
P3 – tábuas + câmara de ar 5 cm + OBS + câmara de ar 2,4 cm + tábuas	$U = 1,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
	$C_T = 51 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		
PRB – tijolo cerâmico + reboco	$U = 2,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	A
	$C_T = 160 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		

I – Desempenho Inadequado

A – Desempenho Adequado

* C_T de P2 foi recalculado para atender aos requisitos do projeto de norma devido a existência de isolante térmico com valor de condutividade térmica menor do que $0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ e resistência térmica maior do que $0,5 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$. Assim, o cálculo da capacidade térmica foi realizado desprezando-se o fechamento em tábuas de pinus (ssp) voltado para o ambiente externo, posicionando a partir do isolante térmico. Ver cálculo em anexo C.

Tabela 3 – Avaliação de desempenho térmico segundo a PNBR (ABNT, 2002b)

Apresentação e análise dos resultados

Análise de desempenho térmico a partir de métodos simplificados

Inicialmente foram aplicados os métodos simplificados presentes nos dois textos normativos brasileiros. A partir da aplicação do método simplificado da norma de desempenho térmico (ABNT, 2005b), verifica-se, na Tabela 2, que todos os painéis e paredes avaliados neste artigo são considerados adequados à zona bioclimática 3, inclusive a parede PRA, com apenas 2,2 cm de espessura, referenciada por vários pesquisadores como uma vedação de baixo desempenho térmico.

Já com a aplicação do método simplificado do projeto de norma (ABNT, 2002b), verifica-se, na Tabela 3, a inadequação de todos os painéis em madeira avaliados, devido à baixa capacidade térmica. Somente a parede PRB (alvenaria de tijolos cerâmicos rebocados) apresenta condições térmicas mínimas para sua inserção na zona bioclimática 3.

A partir dos resultados, evidencia-se a contradição entre os métodos normativos ao avaliar sistemas construtivos de baixa capacidade térmica, sendo a avaliação simplificada insuficiente para verificar se os painéis em madeira são adequados ou não à

zona bioclimática 3. O projeto de norma (ABNT, 2002B) especifica que, na inadequação de um sistema construtivo ao método simplificado, deve-se direcionar a avaliação para o método por desempenho, a partir de uma análise mais detalhada. Assim, as avaliações foram encaminhadas para o procedimento de simulação, a qual possibilitou a realização de uma análise mais profunda do desempenho térmico dos painéis quando submetidos à exposição dinâmica de um clima específico.

Avaliação de desempenho térmico a partir de método de desempenho

Método do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002A) – Condição de verão

Inicialmente, para a aplicação do método por desempenho do projeto de norma (ABNT, 2002a), as simulações foram realizadas considerando-se o número máximo de renovações de ar que ocorre no protótipo adotado, de 37 ren/h. Esse valor foi obtido através do algoritmo de cálculo de ventilação por efeito do vento segundo procedimento definido por Lamberts, Ghisi e Papst (2000), e inserido como dado para a ferramenta de simulação. A Figura 4 apresenta as aberturas de entrada e de saída de ar, bem como o ângulo de incidência do vento adotado para o cálculo.

Entretanto, foi observado nas simulações realizadas com 37 ren/h que as constantes renovações que ocorriam no interior dificultavam a análise das variações térmicas com os diferentes painéis aplicados (Figura 5). As curvas de temperatura apresentaram-se muito próximas umas das outras, o que dificultou o estudo do desempenho entre os painéis. Devido a essa situação, o protótipo foi simulado novamente com apenas 1 ren/h (Figura 6) para a condição de verão, assim como é recomendado pelo projeto de norma para edificações ainda em fase de projeto, quando não se tem ainda a definição das áreas de abertura.

A partir do gráfico da Figura 6, podem ser observadas, de forma mais nítida, as variações de temperatura simuladas no interior do protótipo para o dia típico de verão em Londrina. Observa-se que o protótipo com a parede referencial A (PRA) apresenta a curva que mais acompanha as variações climáticas exteriores. A temperatura interna eleva-se rapidamente com o aumento da temperatura exterior e diminui na medida em que a temperatura do ar externo baixa, o que promove elevada amplitude térmica no interior do protótipo. No protótipo com PRA, atinge-se a temperatura

interna mais alta do dia, com 28,57 °C, que se assemelha à temperatura máxima exterior, de 28,5 °C.

O projeto de norma especifica que, para a obtenção do nível de desempenho mínimo, a temperatura máxima no interior do protótipo deve ser menor do que a máxima exterior, neste caso, de 28,5 °C. O protótipo com PRA ficou no limite de desempenho mínimo, com 28,57 °C. Já para a obtenção do nível de desempenho intermediário, a temperatura interna não deve ser superior a 29 °C. Nota-se que este valor é superior à temperatura tomada como base para a obtenção do desempenho mínimo, situação que deveria ser o inverso e que, por isso, torna confusa a análise. O projeto de norma não especifica nada sobre o caso da temperatura exterior máxima ser menor do que a temperatura-limite para se obter desempenho intermediário. Mesmo assim, segundo a aplicação da norma, pode-se afirmar que todos os painéis e paredes simulados podem ser adequados ao nível de desempenho intermediário, pois não atingiram 29 °C, inclusive o protótipo com PRA, o qual alcançou o pico da temperatura exterior.

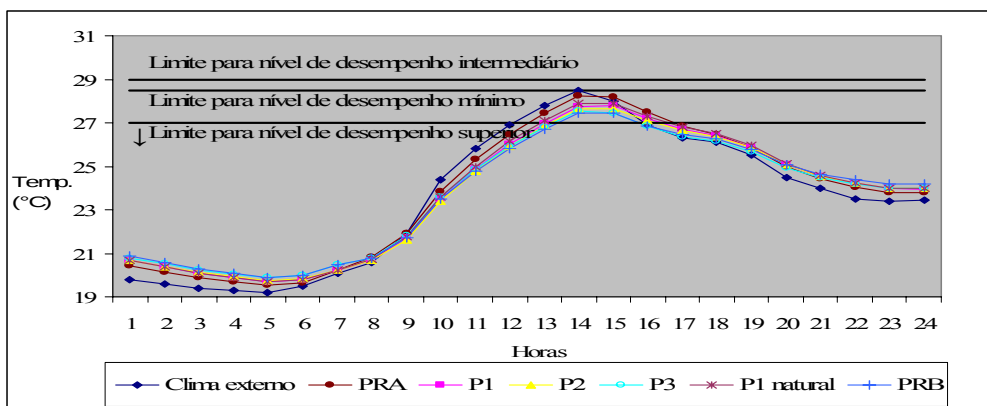


Figura 5 – Temperaturas simuladas para o dia típico de verão (19/12/96) de Londrina, em um protótipo sem fontes internas de calor e com 37 ren/h

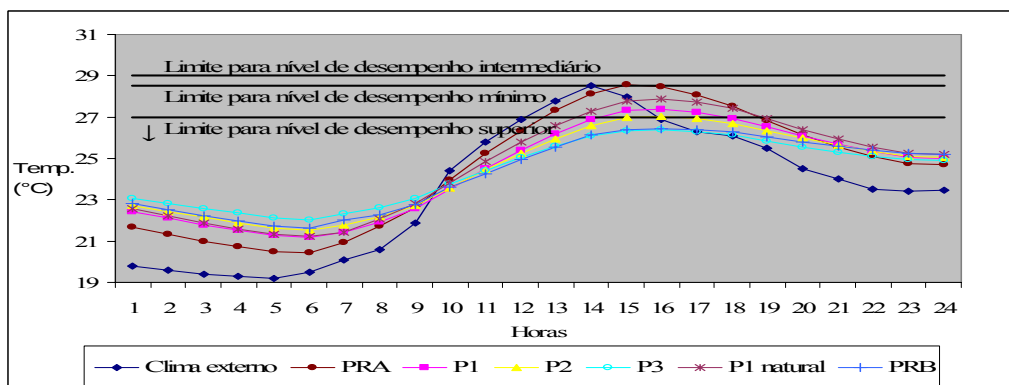


Figura 6 – Temperaturas simuladas para o dia típico de verão (19/12/96) de Londrina, em um protótipo sem fontes internas de calor e com 1 ren/h

Já para a obtenção do nível de desempenho superior, a temperatura interior não deve exceder 27 °C. Nessa condição, têm-se os fechamentos verticais com P2 (com isolante térmico), com P3 (duas câmaras de ar) e com PRB (alvenaria de tijolos cerâmicos). A linearidade da curva do protótipo com esses três fechamentos também atesta o bom desempenho térmico deles. Nota-se que o protótipo com P3 assume comportamento térmico similar ao da parede de alvenaria de tijolos cerâmicos (PRB) para esse dia de verão, chegando a uma temperatura máxima de 26,39 °C e de 26,43 °C, respectivamente.

Método do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002a) – Condições de inverno

O gráfico da Figura 7 apresenta os resultados das simulações e da avaliação pelo método do projeto de norma para o dia típico de inverno. Para a obtenção do desempenho mínimo, a temperatura interna mínima deve ser superior a 12 °C. A configuração do protótipo se mantém sem fontes internas de calor e com 1 ren/h. Nessa situação, nota-se que apenas o protótipo com o painel P3 atende ao nível de desempenho mínimo, com temperatura interna mínima de 12,44 °C, obtida às 24h00. Sua curva apresenta-se como a mais linear entre todas, respondendo bem ao frio devido à baixa transmitância térmica do painel. Já o protótipo com os demais painéis e paredes atingem temperaturas mínimas inferiores ao nível permitido, entre eles o protótipo com PRB, tomado como parâmetro de bom desempenho, o qual atinge temperatura mínima de 11,65 °C às 8h00. O protótipo com PRA, de alta transmitância térmica e baixa capacidade térmica, atinge a menor temperatura neste dia, com 9,07 °C às 8h00.

A observação de que nem mesmo o protótipo com PRB atingiu o desempenho mínimo conduz à

dúvida de que as simulações configuradas sem fontes internas de calor possam não ser adequadas para se avaliar o desempenho térmico de sistemas construtivos para a zona bioclimática 3. O projeto de norma recomenda que somente as zonas 1 e 2 devem apresentar 1.000 W de fontes internas de calor. Devido a essa dúvida, foi realizada uma nova simulação adicionando fontes internas de calor.

Nota-se a partir do gráfico da Figura 8 que, com a influência de fontes internas de calor, ocorre uma melhoria nas condições térmicas no interior do protótipo para o dia típico de inverno. Nesse caso, o protótipo com PRB, P2 e P3 atinge os melhores desempenhos influenciados pela baixa transmitância e/ou alta capacidade térmica do fechamento vertical. Respectivamente, eles assumem temperaturas mínimas de 13,05 °C às 9h00, 13,45 °C às 9h00 e 13,69 °C às 24h00. Os outros dois painéis, P1 e P1 natural, apresentaram mínima de 12,25 °C e de 12,35 °C, respectivamente, às 9h00. Apenas o protótipo com PRA não atende ao desempenho mínimo e vai ao encontro dos resultados apresentados até aqui que demonstram baixo desempenho térmico no protótipo com esse tipo de fechamento.

Método das horas de desconforto

A avaliação do desempenho térmico dos painéis pelo método de horas de desconforto de Barbosa (1997) permitiu uma análise comparativa com os resultados obtidos a partir dos métodos normativos. No gráfico da Figura 9, são apresentados os resultados da aplicação do método, com base nos estudos de Givoni (1992), que define como zona de conforto o intervalo de temperatura que varia de 18 °C a 29 °C.

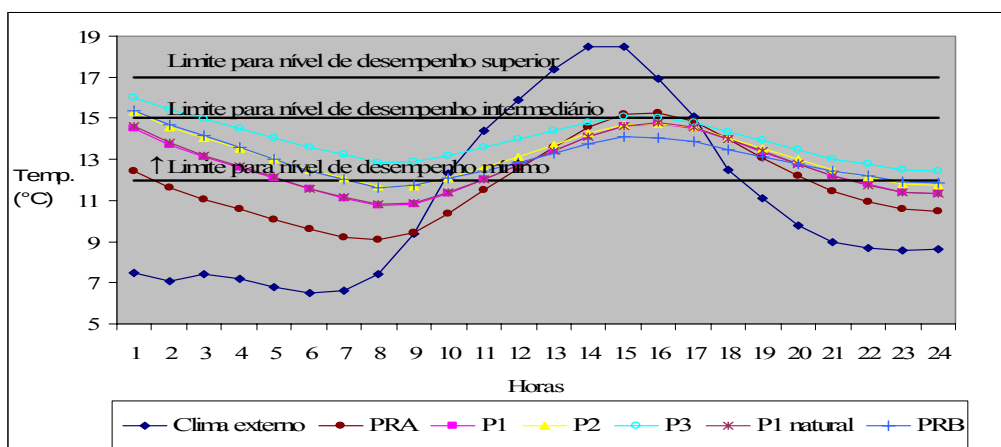


Figura 7 – Temperaturas simuladas para o dia típico de inverno (12/07/96) de Londrina, em um protótipo sem fontes internas de calor e com 1 ren/h

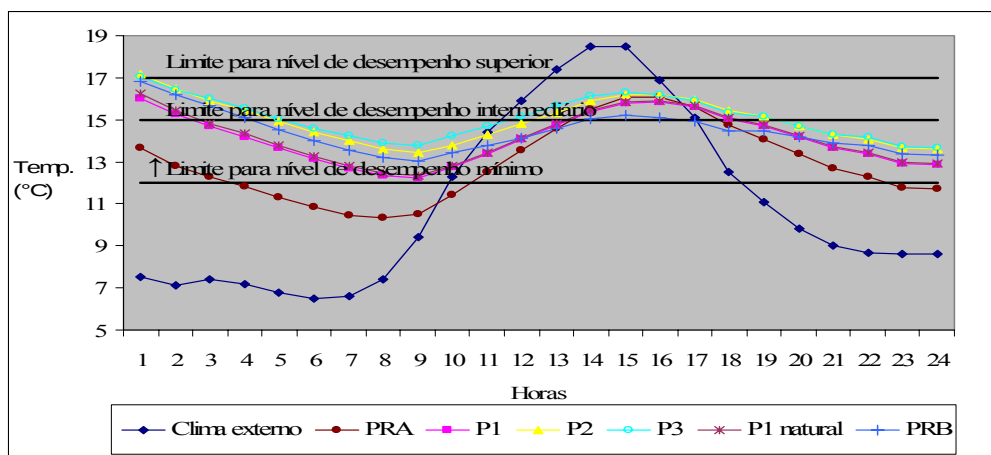


Figura 8 - Temperaturas simuladas para o dia típico de inverno (12/07/96) de Londrina, em um protótipo com fontes internas de calor (1.000 W) e com 1 ren/h

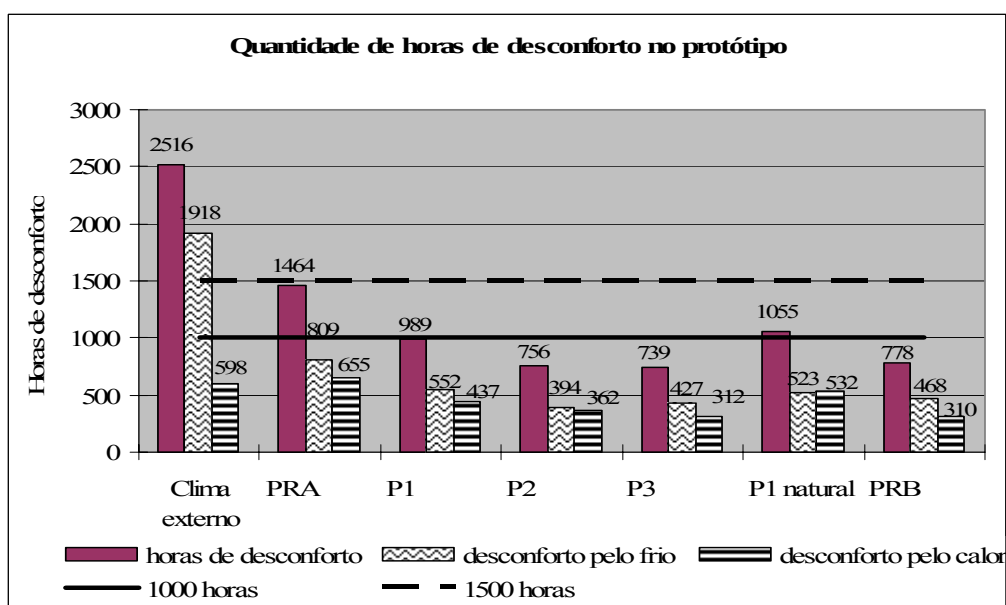


Figura 9 - Gráfico comparativo das horas de desconforto obtidas por simulação, em um protótipo configurado com dispositivo de sombreamento nas aberturas, 10 ren/h no verão e 1 ren/h no inverno

A partir do protótipo configurado com as características das habitações de interesse social em uso, constata-se que os painéis P1, P2 e P3 são aptos termicamente para introdução em habitações na cidade de Londrina, pois não ultrapassaram o limite de 1.000 horas de desconforto. Entretanto, existem algumas limitações para que o protótipo com os respectivos painéis apresentem tais condições de desempenho. A cobertura do protótipo deve ser bem protegida e isolada (transmitância em torno de $1,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) e as condições de ventilação devem promover 10 ren/h nos dias quentes. Nessas condições, o protótipo com P1 na cor natural da madeira ultrapassa o mínimo de 1.000 horas de desconforto, assim como PRA, que chega quase a 1.500 horas de desconforto.

Conclusão

Embora a norma brasileira de desempenho térmico (NBR 15220) (ABNT, 2005b) considere adequados os painéis em madeira de apenas 2,2 cm de espessura à zona bioclimática 3, as análises por desempenho mediante procedimento de simulação comprovaram grandes oscilações climáticas no interior do protótipo com esse fechamento, ocasionando grande amplitude térmica interna e picos de temperatura elevados.

O projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002a) apresenta procedimentos e parâmetros conflitantes para avaliação térmica por desempenho. Na condição de verão, neste estudo, o limite de temperatura máxima para obtenção do desempenho mínimo foi menor do que o limite

para obtenção do desempenho intermediário. Dessa forma, faz-se necessário uma distinção do procedimento para climas com temperatura maior e menor do que 29 °C. Já na condição de inverno, a ausência de fontes internas de calor na configuração do protótipo resultou na não-adequação térmica de um sistema de vedação (PRB – tijolos cerâmicos de seis furos e reboco) já consolidado e largamente utilizado no país. Diante dessa dúvida, é necessário que se faça o monitoramento de edificações em condições de uso e a aplicação do método do projeto de norma para a condição de inverno nos climas definidos pela zona bioclimática 3.

As simulações propiciaram a avaliação térmica dos painéis de vedação em madeira, permitindo a análise ao longo de um ano inteiro, quando submetidos às condições dinâmicas do clima da cidade de Londrina. A visualização do comportamento assumido pelas curvas de temperatura permitiu a compreensão do bom desempenho dos painéis em madeira de maior resistência térmica (P2 e P3) e da parede de alvenaria de tijolos cerâmicos, além do baixo desempenho de paredes de pouca espessura.

O método das horas de desconforto (BARBOSA, 1997) apresentou resultados com maior facilidade de interpretação. A configuração do protótipo com as condições reais de uso assim como o emprego de fontes internas de calor e de dispositivos de sombreamento contribuíram para obter resultados próximos da realidade e atestaram o bom desempenho da parede de alvenaria de tijolos cerâmicos e o baixo desempenho térmico da parede de apenas 2,2 cm de espessura.

Acredita-se que ferramentas detalhadas e mais atuais, como o Energy Plus, podem contribuir para a obtenção de resultados de simulação mais precisos. A ferramenta permite a entrada de dados de composições de fechamentos a partir do valor de transmitância térmica, o que reduz as possíveis distorções favorecidas pela equivalência de espessuras, adotadas nesta pesquisa para que a ferramenta interpretasse a estrutura dos painéis simulados. Assim, adotando-se uma ferramenta de simulação adequada, além de parâmetros únicos para avaliar tanto a condição de verão como de inverno, como é proposto no método das horas de desconforto, pode-se obter resultados objetivos acerca do desempenho térmico de edificações.

Em relação à norma brasileira NBR 15220 (ABNT, 2005b), sugere-se uma reavaliação das recomendações sugeridas como parâmetros para a propriedade de atraso térmico. Valores mínimos para essa propriedade poderiam limitar a

introdução de fechamentos de pouca espessura na zona bioclimática 3.

Sobre o projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002a) sugere-se como procedimento normativo para avaliar as condições de verão que, na ocorrência da máxima exterior de um dia típico ser inferior a 29 °C, o parâmetro de temperatura interna mínima deve ser equivalente ao parâmetro para obtenção do desempenho intermediário, de 29 °C.

Para a dúvida em relação à configuração de fontes internas de calor, para a condição de inverno, acredita-se que estudos de monitoramento em regiões como Florianópolis ou Porto Alegre, pertencentes à zona bioclimática 3, devam ser realizados a fim de se verificar se tecnologias já consolidadas atingem o nível de desempenho mínimo no protótipo configurado com e sem fontes internas de calor, segundo o método do projeto de norma (ABNT, 2002a).

Referências

- ALVES, S.; INO, A. Análise comparativa de conforto térmico entre um protótipo de madeira e outro de alvenaria, inseridos no clima de São Carlos – SP. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro. **Anais...** 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220**: desempenho térmico de edificações: parte 2: métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR15220**: desempenho térmico de edificações: parte 3: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- _____. **PNBR 02:136.01-001:2002**: Desempenho de edificações de até cinco pavimentos: parte 1: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2002a.
- _____. **PNBR 02:136.01-004:2002**: desempenho de edificações de até cinco pavimentos: parte 4: fachadas e paredes internas. Rio de Janeiro, 2002b.

ATEM, C. G. Desempenho térmico de uma habitação em madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E EM ESTRUTURAS EM MADEIRA, 8., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: [s.n.], 2002.

BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

BARBOSA, Miriam Jerônimo et. al. (Orgs.). **Arquivos climáticos de interesse para a edificação nas regiões de Londrina e Cascavel (PR)**. Londrina: Editora da UEL, 1999. v. 1. 62 p.

GIGLIO, T. G. F. **Avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina – PR**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento. Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2005.

GIVONI, B. Confort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, v. 18, p. 11-23, July 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Moderate thermal environments**: determinations of PMV and PPD indices and specification of conditions for thermal comfort. 1984. (ISO 7730 – 1984).

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PAPST, A. L. **Desempenho térmico de edificações**. Apostila da disciplina ECV 5161 do Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Estadual de Londrina. Florianópolis: UFSC, 2000.

PEUPORTIER, B.; SOMMEREUX, I. COMFIE: a software for passive solar design. **Building Simulation**. Nice, França, 1991. p. 521-527.

SILVA, P. **Acústica arquitetônica & condicionamento de ar**. 5. ed. Belo Horizonte: EDTAL, 2005.

SILVA, R. D. **Análise de sistemas construtivos de madeira na região de Londrina**: aplicação de requisitos de habitabilidade e de projeto. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

Agradecimentos

As autoras agradecem ao CNPq pela bolsa concedida, e à professora Ercília Hitomi Hirota, pelas contribuições realizadas neste artigo.