

Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, aplicada a Londrina-PR

Miriam Jerônimo Barbosa

Departamento de Construção Civil, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, PR
mjbs@sercomtel.com.br.

Roberto Lamberts

Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC
lamberts@ecv.ufsc.br

Recebido em 10/07/1998, aceito em 12/11/2001

Este trabalho consiste no desenvolvimento de uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico em edificações térreas residenciais unifamiliares. A estrutura para montagem da metodologia constou do estabelecimento de limites de conforto térmico para a população local, o ajustamento de uma ferramenta de simulação térmica horária anual frente a diferentes sistemas construtivos, e o estabelecimento do limite de horas anuais de desconforto, com base em um sistema construtivo referencial. No trabalho de campo, realizado em Londrina PR, mediu-se no verão e inverno as temperaturas internas, as características construtivas e sensações dos usuários em unidades habitacionais de sistemas construtivos diferentes. Os resultados foram usados para estabelecer os limites de conforto e ajustar a ferramenta de simulação. Com o ano climático de referência local, simulou-se várias alternativas construtivas, estabelecendo-se as horas anuais de desconforto para cada alternativa. O limite de horas anuais de desconforto aceitável foi escolhido frente à realidade econômica e ao sistema construtivo referencial. No método desenvolvido é possível fazer-se a avaliação por prescrição com base nas características térmicas do sistema construtivo referencial e por desempenho, simulando-se qualquer sistema construtivo, quantificando-se as horas anuais de desconforto e comparando-as com o limite aceitável estabelecido.

Palavras-chave: *desempenho térmico; conforto térmico; avaliação de desempenho térmico de edificações.*

This article presents the development of a methodology to specify and evaluate the thermal performance for one-floor single family houses. The structure for devising the methodology was: establishing the thermal comfort limits to be used, adjusting an hourly thermal simulation tool with field data from different building systems, and establishing the annual number of hours of discomfort to be accepted based on a reference building system. The methodology was applied in Londrina, PR, where a field work was carried out in different building typologies. The data was used to adjust the hourly thermal simulation tool and to confirm a thermal comfort limit. The number of hours of indoor temperature outside the comfort limits was defined as the number of annual hours of discomfort. Using the Thermal Reference Year (TRY) developed for Londrina, simulations were performed for several building system alternatives. A limit for the number of annual hours of discomfort was established based on the economics reality and on the reference building system. The evaluation by performance can be made by using an annual hourly simulation tool to quantify the hours of discomfort of a given building and comparing it to the established limit.

Keywords: *thermal performance; thermal comfort; evaluation of thermal performance of buildings.*

Introdução

Os principais trabalhos existentes no Brasil, para avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais, foram desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (1981), Akutsu e Vittorino (1991), Akutsu, et al (1995), e pela CIENTEC-RS, conforme Sattler (1991).

O trabalho desenvolvido no IPT em São Paulo, no período de 1981 a 1995, evoluiu, chegando a uma proposta de classificação por níveis A, B e C, na qual uma edificação é classificada com base na norma ISO 7730 (ISO, 1984) e dentro do intervalo de temperaturas

aceitáveis de 12°C a 29°C. A avaliação pode ser feita por simulação ou através de medições no local.

Os procedimentos para medição no local são baseados nas recomendações da ANSI/ASHRAE 55-81 (ANSI, 1981), que são semelhantes às recomendações da norma ISO 7726 (ISO, 1998). Para o cálculo por simulação, sugere-se o uso de *softwares* e menciona-se o Programa NBSLD. Na caracterização das condições climáticas, são utilizadas representações por dias típicos de inverno e de verão.

A CIENTEC, no Rio Grande do Sul, conforme Sattler (1991), tem condições de realizar a avaliação de desempenho térmico de edificações por meio de

instrumentação (medições no local) ou através de simulação por computador. A avaliação por simulação é efetivada através do programa THEDES para verão e inverno. Para isto, são considerados os dias típicos de verão e inverno com nível de probabilidade de ocorrência de 2,5% para Porto Alegre. Na avaliação considera-se o conforto ótimo de Fanger (1972) e faz-se também uma comparação com um sistema padrão. No trabalho de Becker (1993), a casa AGLOTEC, construída no campus da CIENTEC, foi avaliada seguindo-se os critérios da norma ANSI/ASHRAE 55-81 (ANSI, 1981) e os critérios descritos na publicação do IPT (1981). Segundo Sattler (1991), os critérios e requisitos para avaliação não estão claramente estabelecidos, não sendo possível aprovar ou desaprovar sistemas construtivos, apenas recomendando qual poderia atingir melhor desempenho.

A análise dos principais trabalhos existentes destaca três itens que podem ser revistos.

O primeiro refere-se à sensação térmica do usuário, que é baseada nas normas internacionais ISO 7730 (ISO, 1984) e ANSI/ASHRAE 55 (ANSI, 1981). A norma ISO 7730 (ISO 1984), apesar de ser internacional, é fundamentada na equação de Fanger (1972), que por sua vez teve como base experimentos com pessoas dinamarquesas e americanas, em ambientes climatizados, tornando-se distante da realidade climática no Brasil e sem a devida confirmação de sua aplicabilidade a usuários adaptados a climas tropicais e subtropicais. Xavier (1997) estudou esta questão e constatou diferenças entre a norma ISO 7730 e a resposta térmica de usuários no Brasil. Quanto à norma ANSI/ASHRAE 55 (ANSI, 1981), a versão de 1992 foi questionada por Dear e Foutain (1994) que, após estudos no clima da Austrália, recomendou uma revisão nesta norma antes de ser adotada como internacional, em função de evidências de diferenças na sensibilidade térmica de pessoas aclimatadas a climas quente e úmido.

O segundo item refere-se ao uso de dados climáticos na forma de dias típicos. Esta representação climática leva à análise de extremos (dias com baixa probabilidade de ocorrência) de verão e de inverno e não contempla a ocorrência de seqüências climáticas comuns no sul do país, onde o clima é governado pela entrada de frentes frias, o que pode gerar grandes variações de temperatura de um dia para o outro. O uso, portanto, de dados climáticos mais detalhados, como o ano climático de referência, possibilitaria analisar com mais propriedade os sistemas construtivos frente a esta dinâmica climática.

Por fim, o intervalo de temperaturas adotado no estudo do IPT apresenta um limite mínimo de 12°C, que é extremo em relação às metodologias estrangeiras estudadas, nas quais o limite mínimo de temperaturas é de 18°C.

Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma proposta metodológica para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, com base em levantamento de dados realizado em Londrina PR, adotando uma representação de dados climáticos horária anual e limites térmicos fundamentados em estudos realizados para climas quente e úmido.

Metodologia

Revisão bibliográfica

Inicialmente foi feita uma revisão bibliográfica para conhecimento das experiências realizadas no Brasil e no exterior, envolvendo a questão de metodologias para avaliação de desempenho térmico e energético de edificações.

Outras questões interdependentes foram surgindo, como consequência da primeira questão abordada, tais como a questão do estabelecimento de limites de conforto térmico; os dados climáticos e as ferramentas para simulação de desempenho térmico.

Após a análise bibliográfica de diversos índices e zonas de conforto térmico, a zona de conforto térmico de Givoni (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, foi escolhida como representativa para pessoas adaptadas aos climas existentes no Brasil.

Para processar as simulações necessárias à formulação da metodologia de avaliação de desempenho térmico, escolheu-se a ferramenta de simulação COMFIE desenvolvida por Peuportier e Sommereux (1992) por permitir uma análise horária anual e devido à sua facilidade de operação em micro computador.

Levantamento de dados

Para tornar possível o balizamento técnico e econômico da realidade construtiva brasileira, foi realizada uma pesquisa entre as 40 COHABs existentes, através de questionários. Esta pesquisa teve o objetivo de verificar o sistema construtivo mais utilizado em edificações residenciais unifamiliares. O sistema construtivo identificado como o mais utilizado foi denominado de casa COHAB padrão ou sistema construtivo referencial.

Uma pesquisa de campo foi realizada em Londrina, com cinco sistemas construtivos diferentes, para edificações residenciais unifamiliares. Nesta pesquisa foram registradas, no interior de um exemplar de cada um dos sistemas construtivos escolhidos para estudo, as sensações térmicas dos usuários e as temperaturas internas no verão e no inverno do ano de 1994. Paralelamente, foram levantados os dados construtivos das unidades habitacionais estudadas e o clima externo dos períodos de medição, além de dados climáticos da região, disponíveis na estação meteorológica, para um período mínimo de dez anos. Os detalhes deste levantamento encontram-se descritos por Barbosa (1997).

Tratamento dos dados

Aos dados climáticos do período de 1979 a 1990, foi aplicada a metodologia da ASHRAE, conforme Goulart (1993), para identificação do ano climático de referência (TRY), sendo este identificado como o ano de 1986.

Os registros de sensação térmica dos usuários foram usados para confirmar a validade dos limites de temperaturas da zona de conforto térmico escolhida.

Etapas de simulações

A primeira etapa de simulações foi realizada para ajustar a ferramenta de simulação com base nas temperaturas internas e nos dados construtivos coletados e com um arquivo climático do mesmo ano da coleta de dados. A segunda etapa de simulações foi realizada para definir os limites dos parâmetros térmicos necessários para a montagem do método de avaliação. Nesta etapa a ferramenta de simulação já havia sido ajustada aos cinco sistemas construtivos e foram realizadas simulações com várias alternativas construtivas, usando-se o arquivo climático do ano climático de referência 1986 (determinado para o período de 1979 a 1990). Para cada simulação foram quantificadas as horas anuais de desconforto (horas em que as temperaturas internas simuladas se apresentam fora dos limites de conforto).

Escolha do limite de horas de desconforto aceitável

Com os resultados das horas anuais de desconforto para cada simulação, partiu-se para a escolha do limite de horas anuais de desconforto aceitável frente à realidade econômica e ao sistema construtivo referencial, estabelecido na pesquisa com as COHABs.

Montagem da metodologia proposta

Com o limite das horas de desconforto anuais estabelecido, foi possível parametrizar o desempenho térmico do sistema construtivo referencial em função das seguintes características térmicas da edificação: transmitância, absorvidade e capacidade térmica ou massa de paredes e coberturas, além de áreas de aberturas para ventilação e sistemas de sombreamento. Esta parametrização visou facilitar a avaliação térmica por prescrição. Uma forma de avaliação por desempenho foi também estruturada através da simulação com qualquer sistema construtivo, comparando-se as horas de desconforto quantificadas após a simulação, com o limite de horas de desconforto aceitável estabelecido.

Observação

Neste trabalho, o conceito de avaliação por desempenho e por prescrição é o mesmo estabelecido pela norma ASHRAE/IES 90-1 (ASHRAE, 1992), onde os critérios de desempenho são usados quando muitas inovações de projeto ou flexibilidade são desejadas, e os critérios prescritivos são usados quando uma quantidade mínima de esforço para determinação da conformidade é desejada. O termo avaliação por desempenho é entendido como a avaliação que é feita verificando-se o cumprimento de limites estabelecidos para as características térmicas do ambiente. Especificamente para este trabalho, esta característica é representada pela quantidade de horas de desconforto anual no ambiente interno. O termo avaliação por prescrição é entendido como a avaliação que é feita verificando-se o cumprimento de limites estabelecidos para as características térmicas ou físicas dos elementos

construtivos. Neste trabalho estas características são representadas pela transmitância e massa ou capacidade térmica de paredes e coberturas, absorvidade de radiação solar, aberturas para ventilação e sombreamento de aberturas.

Resultados

Tipologia construtiva representativa (sistema construtivo referencial)

Para a determinação das características físicas dos sistemas construtivos nas várias regiões do Brasil no que diz respeito à produção de habitação popular, fez-se uma pesquisa através de questionários encaminhados às 40 Companhias de Habitação Popular (COHABs) existentes no Brasil, na qual obteve-se respostas de 27 destas.

As questões argüidas referiam-se a: **ÁREA MÉDIA DE CONSTRUÇÃO**: por unidade habitacional; **COBERTURAS**: tipo de material, espessura e inclinação do telhado; existência e comprimento de beiral; existência, tipo de material, espessura e cor de forro; material e tipo de estrutura; **PAREDES**: tipo de material constituinte e espessura de paredes; tipo de material, espessura e cor de revestimento; acabamento interno e externo das mesmas; **JANELAS**: área média; tipo de material opaco e transparente; tipo de caixilho e existência e tipo de proteção solar de janelas.

Tomando-se por base a área e os elementos construtivos mais frequentemente utilizados entre as 27 companhias habitacionais que responderam ao questionário, montou-se uma tipologia construtiva representativa da habitação popular unifamiliar mais construída no Brasil atualmente. Esta tipologia pode ser descrita com as seguintes características: a área de construção é de aproximadamente 34,00m² (valor médio); a cobertura em telha cerâmica vermelha é a que mais aparece, com 74% de uso; a espessura média da telha é de 0,011 m; o beiral tem comprimento médio de 0,50 m; a estrutura de madeira é a mais utilizada (87%); a forma da cobertura em duas águas é a mais frequente, com 96% de ocorrência. O forro é inexistente em 70% das unidades construídas pelas COHABs, entretanto, nas regiões Sudeste e Sul, onde a ocorrência do forro é mais frequente, o material mais usado é a laje pré - moldada (mista), com espessura média de 0,07m; as paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos são as mais usadas em 92% dos casos; o acabamento interno e externo composto de emboço e reboco tem espessura média de 0,02 m; a pintura na maioria (em mais de 72%) é branca dos dois lados; a espessura total média é de 0,11 m; as janelas têm área média em torno 1,20 m², sendo em sua maioria do tipo basculante, com o caixilho de ferro aparecendo em 55% dos casos. O vidro é simples e sem proteção, com 90% de ocorrência. A Tabela 1 apresenta os valores de transmitância térmica dos principais elementos construtivos e as relações entre as áreas de aberturas para ventilação por áreas de paredes e área de construção da tipologia representativa

Elemento	U (W/m ² K)
1 - cobertura com forro	Fluxo descendente: 1,73 W/m ² K
2 - paredes	2,31 W/m ² K
3 - janelas	5,79 W/m ² K
Relação área de aberturas/área de fachada	0,12 a 0,23
Relação área de aberturas/área de construção	0,06 a 0,12

Tabela 1 - Características térmicas da casa COHAB padrão ou sistema construtivo referencial

Esta tipologia construtiva, definida como representativa da habitação popular mais construída no Brasil, foi denominada casa *COHAB padrão*, ou *sistema construtivo referencial*, e foi adotada neste trabalho como referencial para a determinação dos limites mínimos aceitáveis para o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, com o mesmo propósito adotado por Turik (1990), que considerou a casa COHAB tipo RS 16-I. 3-42 como padrão de referência por ser a mais construída no Rio Grande do Sul. Em sua pesquisa, Turik (1990) procurou apontar uma metodologia com base nas técnicas construtivas convencionais conhecidas e aceitas pelos usuários, com o objetivo de evitar os obstáculos entre os meios técnicos, políticos e o usuário final, e facilitar a aplicabilidade da metodologia, partindo do usual conhecido.

Confirmação dos limites de conforto

A zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento e de clima quente, foi tomada como base para este estudo e realizada uma verificação de sua adequação. Em sua zona de conforto, Givoni recomenda, para o interior, temperaturas variando de 18°C a 29°C.

Para confirmação desta zona de conforto, as respostas de sensação térmica dos usuários das cinco unidades habitacionais estudadas foram plotadas na carta psicrométrica para Londrina junto com a zona de conforto de Givoni para países em desenvolvimento e de clima quente.

Nos pontos encontrados foram registrados os valores correspondentes às respostas dos usuários sobre a sensação térmica. Os valores plotados foram: -3, -2, -1, 0, +1, +2 e +3 da escala de sete pontos da ASHRAE, que correspondem, respectivamente, às seguintes respostas verbais dos usuários de Londrina: Muito frio; Frio; Pouco frio; Bom; Pouco quente; Quente; Muito quente.

A Figura 1 mostra a carta psicrométrica para Londrina com a zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento e de clima quente e os pontos de respostas de sensação térmica, coletados no levantamento de dados realizado nas cinco unidades habitacionais estudadas em Londrina.

No total, foram coletadas 223 horas de dados, sendo 107 horas no verão e 116 horas no inverno. A distribuição dos pontos de registros de sensação térmica se encontra dentro do intervalo de temperaturas medidas de 9,6°C a 32,5°C e umidades relativas medidas de 36% a 94%.

Os pontos localizados à direita da linha vertical que passa pela TBS de 29°C, foram considerados à direita da zona de conforto (D), somando 31 pontos. Os pontos localizados à esquerda da linha vertical que passa pela TBS de 18°C, foram considerados à esquerda da zona de conforto (E) e somaram 23 pontos. Os pontos localizados acima da zona de conforto somaram 74 pontos.

O total de respostas de conforto (valor igual a zero) foi de 64 pontos. Deste total, 60% caíram dentro da zona de conforto e 30 % caíram acima da zona de conforto de Givoni (1992), o que indica a existência de boa aceitação das condições de umidade acima de 80%, combinados com valores de TBS de 18 a 29°C. Considerando a boa aceitação acima da zona de conforto de Givoni, pode-se concluir que 90% das respostas de conforto no levantamento de campo em Londrina caíram dentro ou acima da zona de conforto de Givoni. Isto confirma a adoção do intervalo de temperaturas desta zona de conforto para a região estudada.

Etapas de simulações

Etapas de simulação para ajuste da ferramenta de simulação

O ajuste da ferramenta de simulação foi feito comparando-se as curvas de temperaturas medidas no local e as obtidas por simulação. Neste caso, as simulações foram feitas com um arquivo climático preparado com os dados do ano de 1994, sendo este o ano do levantamento de dados de campo nas cinco unidades habitacionais com sistemas construtivos diferentes. Os sistemas construtivos estudados foram: 1 - Sistema com paredes monolíticas de concreto de 10 cm de espessura, laje de concreto maciço de 10 cm de espessura e telhas de cimento amianto; 2 - Sistema em paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos 6 furos rebocada dos dois lados, com espessura total de 13 cm, laje mista e telhas de cimento amianto; 3 - Sistema em paredes de alvenaria de blocos de concreto sem reboco, com espessura total de 10 cm, laje mista e telhas de cimento amianto; 4 - Sistema com paredes de placas de ardósia de 4 cm, envernizadas, com forro de madeira de 0,5 cm e telhas de ardósia de 1 cm de espessura; 5 - Sistema com paredes e forro em painéis estruturais de argamassa armada com espessura de 2 cm, e telhas de cimento amianto. O ajuste foi feito variando-se os dados de entrada dentro de suas faixas de incertezas, visando uma melhor aproximação entre as curvas de temperaturas internas medidas e simuladas.

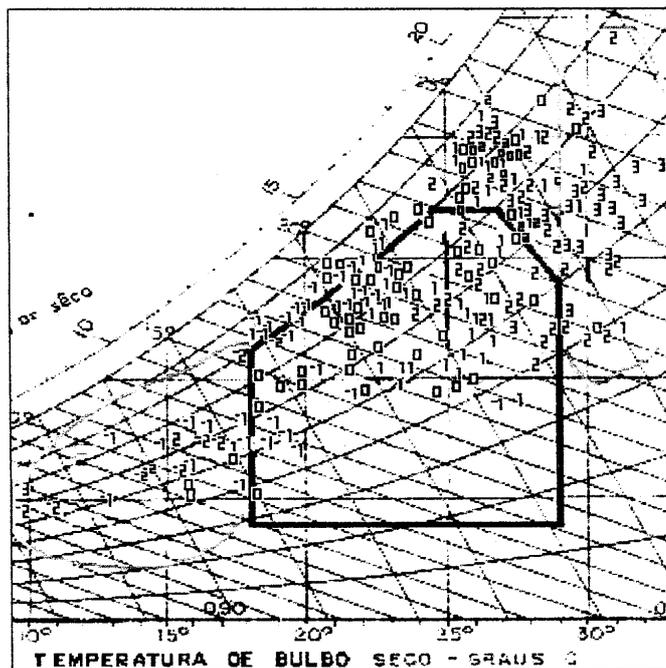


Figura 1 - Carta psicrométrica de Londrina com a zona de conforto de Givoni para países de clima quente e em desenvolvimento, plotados os registros de sensação térmica coletados nas cinco unidades habitacionais estudadas

As Figuras 2, 3, 4, 5, e 6 são exemplos das curvas de temperaturas medidas, obtidas do levantamento de campo e das curvas de temperaturas obtidas por simulações após o ajuste. Em cada gráfico consta também a curva de temperaturas externas obtidas do arquivo climático usado na simulação, correspondentes ao dia de medição e ao dia anterior.

A Tabela 2 mostra um resumo geral do resultado da diferença entre a curva de temperaturas medidas e a curva de temperaturas simuladas. A quarta coluna da tabela apresenta o somatório das diferenças entre as temperaturas medidas e simuladas para cada hora de medição, dividida pelo número total de horas de medições realizadas naquele dia.

A diferença entre as curvas medidas e simuladas foi resultado de vários fatores de erros e incertezas que podem ser subdivididos em três grupos: fatores decorrentes dos dados climáticos, fatores decorrentes da medição realizada e os fatores decorrentes da representação das características da edificação para a simulação. Quanto aos dados climáticos, erros e incertezas podem ser decorrentes dos dados considerados da estação meteorológica, que se encontra a uma distância de mais de 8 km do local de medições, e das decisões tomadas na montagem do arquivo climático, principalmente com relação aos valores de umidade relativa e radiação direta e difusa, tendo sido estes últimos definidos como 80 e 20 por cento da radiação global horária. No grupo de erros e incertezas decorrentes das medições, pode-se apontar a incerteza relativa entre as

medições realizadas com os equipamentos utilizados e a imprecisão do registro manual dos valores medidos no local, representado pela resolução de cada equipamento.

Com relação às características e propriedades da edificação, os erros podem ser decorrentes de: 1) a dificuldade em adotar-se valores que representem o fenômeno real, devido à faixa de variabilidade em torno dos valores tabelados de condutividade térmica, densidade e absorvidade; 2) equivalências adotadas para paredes e coberturas compostas de materiais heterogêneos para entrada de dados no programa de simulação; 3) a equivalência das coberturas de duas águas para uma cobertura horizontal; 4) a adoção de uma única zona, considerando as paredes internas como paredes capacitivas na simulação; 5) a montagem do esquema de ocupação: quanto ao número de ocupantes por hora, os valores de potência por equipamentos por hora adotados e os valores de ventilação por períodos horários.

Todos estes fatores contribuíram para que ocorressem diferenças entre os valores simulados e os valores medidos. Estas diferenças apresentaram um valor máximo de 5,9°C e um valor médio de $\pm 1,0^\circ\text{C}$, com um desvio padrão de 0,85.

Portanto, com uma previsão média de erro de $\pm 1,0^\circ\text{C}$, foi realizada a segunda etapa de simulações com o objetivo de delimitar os valores dos parâmetros térmicos a serem adotados na proposta de especificação e avaliação de desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares.

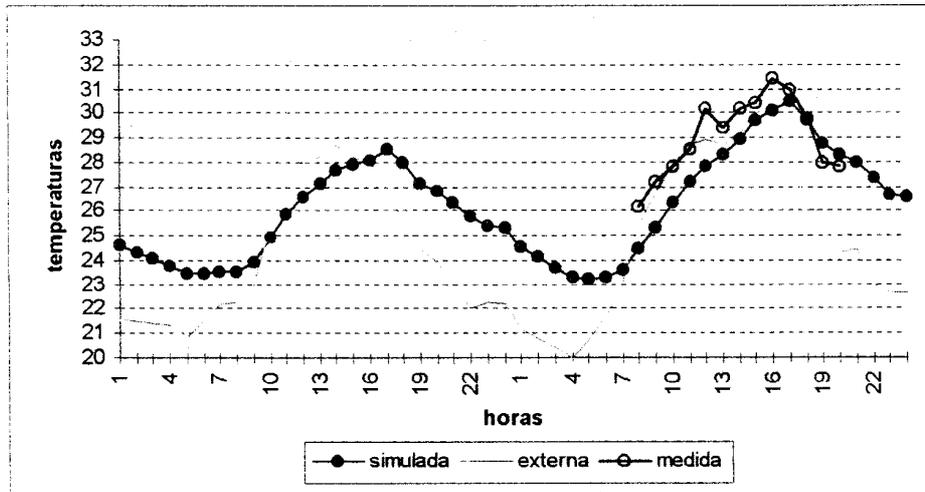


Figura 2 - Curvas de temperaturas externas e internas (simuladas e medidas), no dia 22 de fevereiro de 1994, na casa de blocos de concreto

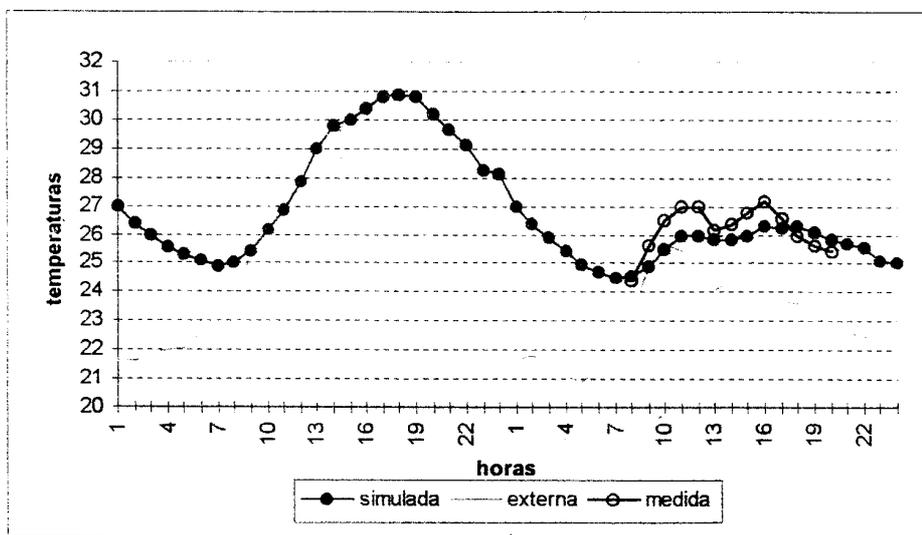


Figura 3 - Curvas de temperaturas externas e internas (simuladas e medidas), no dia 1º de março de 1994, na casa de tijolos cerâmicos

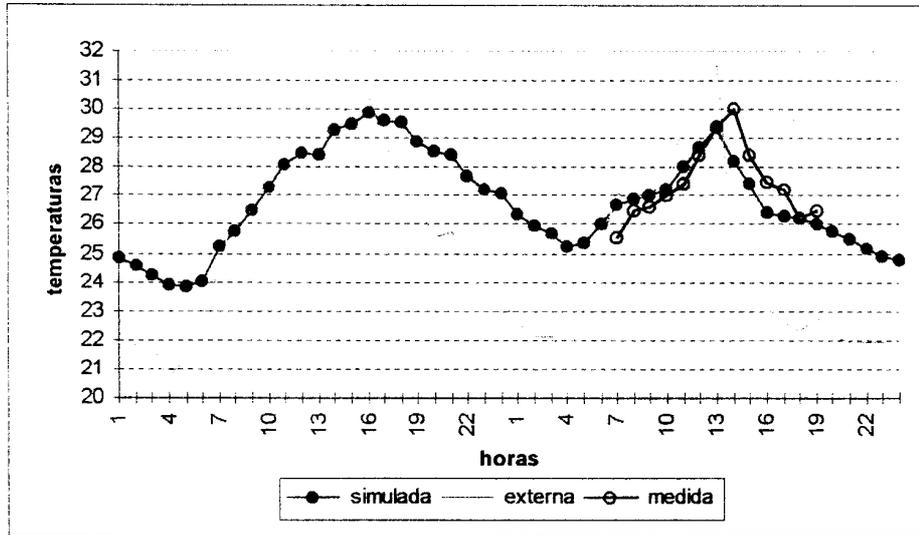


Figura 4 - Curvas de temperaturas externas e internas (simuladas e medidas), no dia 17 de fevereiro de 1994, na casa de concreto monolítico

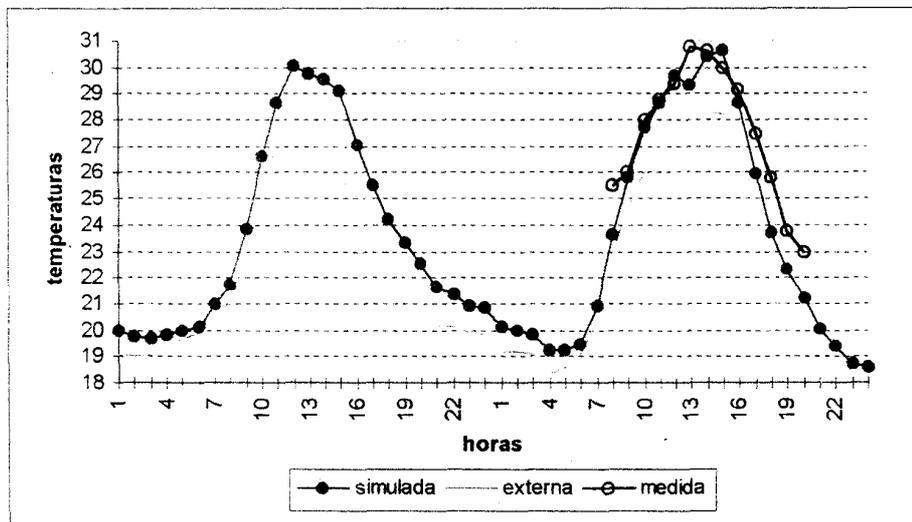


Figura 5 - Curvas de temperaturas externas e internas (simuladas e medidas), no dia 22 de março de 1994, na casa de ardósia

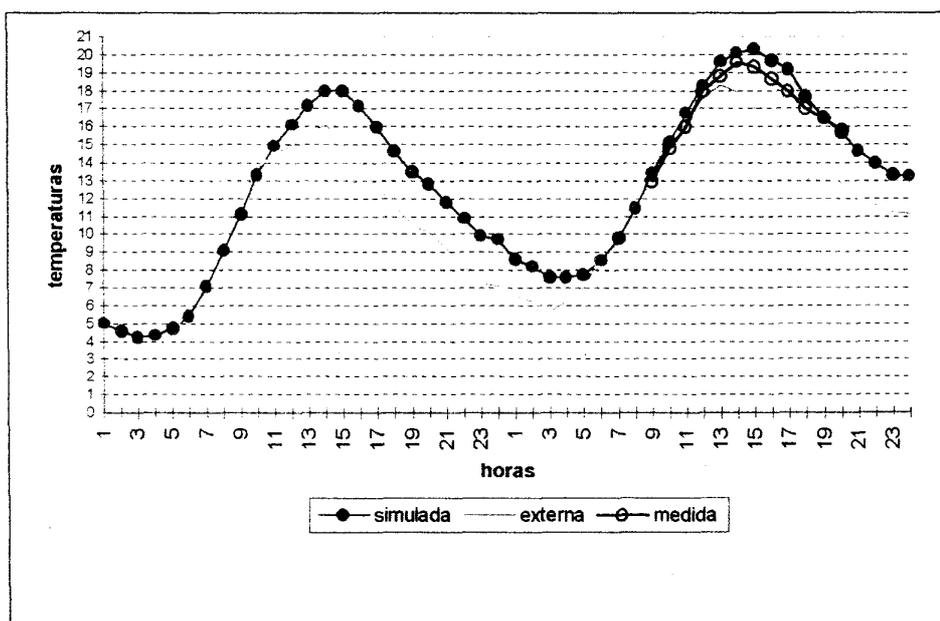


Figura 6 - Curvas de temperaturas externas e internas (simuladas e medidas) no dia 11 de julho de 1994, na casa de argamassa armada

CASA	DATA	Número de horas medidas	Diferença média horária (° C)*	Diferença máxima absoluta diária (° C)**
Concreto monolítico	17/02/94	13	0,16	1,80
Concreto monolítico	03/03/94	13	1,30	2,62
Concreto monolítico	27/06/94	13	0,84	3,15
Tijolos cerâmicos	01/03/94	13	0,36	1,19
Tijolos cerâmicos	15/03/94	13	0,93	2,46
Tijolos cerâmicos	24/06/94	13	0,18	2,86
Tijolos cerâmicos	15/07/94	13	2,16	4,32
Blocos de concreto	22/02/94	13	0,94	2,36
Blocos de concreto	08/03/94	13	2,43	3,86
Blocos de concreto	22/06/94	13	1,65	2,51
Blocos de concreto	18/07/94	13	0,04	2,11
Ardósia	19/03/94	5	1,39	1,85
Ardósia	22/03/94	13	0,82	2,07
Ardósia	04/07/94	13	0,79	2,33
Ardósia	28/07/94	13	1,23	2,91
Argamassa armada	16/03/94	12	0,33	2,09
Argamassa armada	01/07/94	13	3,19	5,88
Argamassa armada	11/07/94	12	0,57	1,19
SOMA			19,32	
MÉDIA			1,07	
DESVIO PADRÃO			0,85	

*Valor absoluto da somatória das diferenças entre as temperaturas medida e simulada, dividido pelo número de horas medidas

**Diferença absoluta máxima entre temperatura medida e simulada

Tabela 2 - Resultados obtidos de temperaturas internas nas simulações, comparados com os resultados de temperaturas internas medidas

Determinação de limites para especificação de desempenho térmico

A tipologia construtiva representativa da COHAB ou sistema construtivo referencial (casa COHAB padrão), foi usada como base na determinação dos limites para especificação de desempenho térmico. Entretanto, para o procedimento de simulações nesta etapa do trabalho, adotou-se como padrão o projeto mais construído em Londrina, correspondente ao sistema construtivo casa COHAB padrão ou sistema construtivo referencial. Este projeto tem área de construção de 23m², paredes em alvenaria de tijolos cerâmicos 6 furos, rebocados dos dois lados e espessura total de 13 cm e cobertura em duas águas com telhas de cimento amianto e laje mista de 10 cm. Para as simulações, considerou-se também uma implantação padrão no centro de um terreno padrão de 10 m de frente por 20 m de profundidade. O terreno foi considerado no meio da quadra e a casa com a fachada principal voltada para norte, conforme a Figura 7.

A cobertura foi simulada com telhas de cimento amianto e não com telhas cerâmicas, porque em Londrina a tipologia mais construída tem telhas de cimento amianto. Como as telhas de cimento amianto apresentam um desempenho térmico mais desfavorável, permitiu-se proceder assim a esta etapa de simulações sem riscos de minimizar o problema, porque as ferramentas atuais para simulação térmica não dispõem de recursos suficientes para simular os fenômenos de transferência acoplada de calor e umidade pelas telhas cerâmicas. Estes fenômenos afetam significativamente o desempenho térmico deste

tipo de cobertura, mas não são revelados nas simulações, e os resultados atuais são praticamente iguais, seja com coberturas de telhas cerâmicas, seja de cimento amianto.

O arquivo climático do ano de 1986, ano climático de referência de Londrina, foi compilado para permitir as simulações nesta etapa do trabalho. Os elementos construtivos da casa COHAB padrão, representada pelo projeto mais construído em Londrina, foram transformados em dados de entrada para o programa de simulação.

Os esquemas de ocupação adotados para esta etapa de simulação foram os mesmos adotados na primeira etapa de simulações. Como a ferramenta de simulação adotada só permite para cada simulação um único esquema de ocupação e considerando que para cada estação do ano ocorrem alterações no esquema de ocupação, para o cálculo das horas anuais de desconforto foi necessário realizar simulações em separado para cada estação do ano.

Assim, para cada estação foi preparado um esquema de ocupação com base nos esquemas de ocupação das unidades habitacionais estudadas e medidas in loco tio ano de 1994.

O levantamento de verão foi adotado como base para a montagem do esquema de ocupação de verão, outono e primavera.

O levantamento de inverno foi a base para a montagem do esquema de ocupação de inverno, pois as diferenças climáticas são mais acentuadas só no período de inverno.

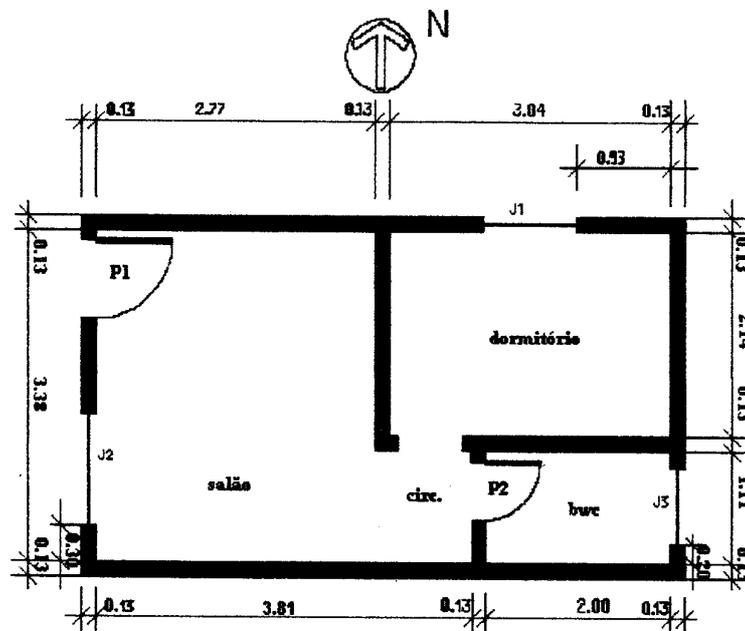


Figura 7 - Projeto mais construído em Londrina (casa COHAB padrão) ou sistema construtivo referencial

Inicialmente, a casa COHAB padrão, representada pelo projeto mais construído em Londrina, foi simulada para os períodos de verão, inverno, outono e primavera. A cada resultado de simulação foram feitos os cálculos da quantidade de horas de desconforto do período simulado, sabendo-se que as horas anuais de desconforto são aquelas nas quais as temperaturas internas ficaram fora dos limites de temperaturas da zona de conforto de Givoni, cujo intervalo é de 18 a 229°C.

O procedimento seguinte foi o de simular o mesmo projeto mantendo a mesma orientação, disposição no lote e na quadra, bem como o volume, a forma e a disposição dos espaços e aberturas nos quatro períodos integrais de cada estação, com algumas modificações ou substituições. A cada resultado de simulação verificou-se a quantidade de horas de desconforto.

As modificações ou substituições adotadas nas simulações foram as seguintes:

- (a) variação da ventilação - obtida aumentando-se a área de aberturas para o dobro da área de aberturas do projeto padrão;
- (b) variação no valor da absorvidade na cobertura - obtida considerando-se as telhas com pintura branca;
- (c) variação na quantidade de sombreamento nas aberturas - obtida considerando-se todas as janelas totalmente sombreadas por venezianas externas, mas permitindo a ventilação quando necessário;
- (d) variação na transmitância térmica da cobertura - obtida com a adição de uma camada de lã de vidro de 2 cm de espessura e 50 kg/m² sobre a laje;
- (e) variação na transmitância térmica das paredes - obtida com a adição de uma camada de lã de vidro entre a alvenaria de tijolos furados e o revestimento externo;
- (f) variação na capacidade térmica - obtida substituindo-se, inicialmente, as paredes externas e internas por placas de poliestireno expandido de um centímetro de espessura com capacidade térmica de 0,28 kJ/(m²K);
- (g) em seguida substituindo-se as paredes externas e internas por paredes de tijolos maciços de 9 cm revestidos dos dois lados com 2 cm de argamassa, tendo uma capacidade térmica de 204,5 kJ/(M² K).

Dessa forma, manteve-se o mesmo valor de resistência térmica e variou-se a capacidade térmica.

Complementando a etapa de simulação e análise, a casa COHAB padrão representado pelo projeto mais construído em Londrina, foi simulada para as quatro estações, mantendo-se as suas dimensões, implantação e esquemas de ocupação, e variando-se o sistema construtivo (substituindo o material das paredes e coberturas), conforme a variabilidade encontrada e estudada em Londrina, como a seguir:

- (h) variação substituindo as paredes por alvenaria de blocos de concreto com espessura total de 10 cm e o forro com laje mista de 10 cm;

- (i) variação substituindo as paredes por placas de ardósia de 4 cm, forro em madeira de 0,5 cm e telhas também em ardósia de 1 cm;

- (j) variação substituindo as paredes por paredes monolíticas de concreto com 10 cm e o forro por laje maciça de concreto de 10 cm;

- (k) variação substituindo as paredes por painéis autoportantes de argamassa armada de 2 cm e forro do mesmo material e espessura das paredes;

Finalmente, fez-se uma simulação, considerando todas as variações que apresentaram reduções nas quantidades de horas de desconforto por calor e por frio. Essas variações foram de quatro tipos: pintura branca na telha, aumento da área de aberturas, sombreamento nas aberturas e a adição de uma camada de 2 cm de lã de vidro sobre a laje. Em razão da obtenção de uma considerável redução nas horas de desconforto por calor e por frio, este conjunto de variações foi denominado de benefícios térmicos na casa COHAB padrão de Londrina.

No inverno, considerou-se que os usuários cuidariam para que os dispositivos de sombreamento não estivessem fechados e assim permitissem a penetração de alguma incidência de radiação solar e, estando as partes de vidro das janelas fechadas, a ventilação seria menor e compatível com a situação de inverno. Por esta razão, no inverno não foram feitas as simulações com o dobro das aberturas e com o sombreamento total, porque resultaria em um desempenho térmico desfavorável e não seria uma situação representativa da realidade para este período anual. Neste caso, para o período de inverno, a quantificação das horas de desconforto nas casas com o dobro de aberturas e sombreada foi feita com a casa COHAB padrão normal, no lugar da casa com o dobro de aberturas e com o sombreamento total.

A Tabela 3 e a Figura 8 mostram os resultados de horas anuais de desconforto referente ao ano climático de referência de Londrina, para cada variação de simulação adotada. O total de horas anuais de desconforto foi obtido somado-se os resultados parciais obtidos nas simulações para cada estação. Ou seja, para cada variação de simulação foram feitas quatro simulações, cada uma correspondente a um período sazonal.

As abreviações que aparecem ao final de cada descrição de variações na Tabela 3, representam as variações de simulações no gráfico de colunas da Figura 8, elaborado para visualizar as quantidades de horas anuais de desconforto por variação de simulações.

Análise dos resultados das simulações

Conforme a Figura 8, o resultado global de horas de desconforto (somadas as horas de calor e de frio) para o ano climático de referência de Londrina revela que a casa de ardósia é a mais desconfortável termicamente entre as opções simuladas, chegando a ser mais desconfortável que o próprio clima externo. Isto significa que termicamente é preferível permanecer fora do que dentro de uma habitação deste tipo. Na seqüência de horas de

desconforto térmico aparecem a casa de argamassa armada (arg. arm.) e a de isopor denotando que a massa tem uma importância significativa no desempenho térmico para o tipo de clima analisado.

O isolamento das paredes (lã parede) não contribui significativamente para a redução das horas de frio e de calor. Entretanto, o isolamento da cobertura (lã laje) é significativo na redução dessas horas.

As casas de blocos (blocos), tijolos maciços (tij. maciços) e concreto armado (conc. arm.) apresentam desempenho térmico melhor que a casa COHAB padrão (padrão), confirmando novamente que a capacidade térmica ou massa é significativa na redução das horas de desconforto por calor e por frio. Nota-se que a casa de concreto monolítico, com transmitância de paredes maior que a casa COHAB padrão, apresenta um total de horas de desconforto menor. Isto indica que o aumento de massa pode compensar o aumento na transmitância. Este é um problema que deve ser analisado futuramente com uma

parametrização por simulação para verificar até que ponto a massa compensa o aumento na transmitância de parede.

O aumento na área de aberturas (abert. x2) e o sombreamento (sombra), que são os benefícios de maior custo entre os quatro adotados, não são mais importantes que o isolamento na cobertura (lã laje) e a pintura branca na face externa da telha (cob. Branc.). O isolamento (lã laje) e a pintura branca na cobertura (cob. Branc.) referidos são os mais viáveis economicamente e mais eficientes termicamente, conforme mostra a Figura 8.

A casa COHAB padrão beneficiada (beneficiada) é a que apresenta menor quantidade de horas de desconforto. Sendo esta a casa COHAB padrão com 2 cm de lã de vidro na laje, com pintura branca na telha, com o dobro das aberturas para ventilação e com sombreamento total nas aberturas, sendo estes dois últimos benefícios reguláveis no inverno (janelas de vidro fechadas e sombreamento aberto durante o dia).

Variação no projeto da casa COHAB padrão para simulações	Horas de calor	Horas de frio	Horas de desconforto anual	% de desconforto anual**
casa COHAB padrão beneficiada com o dobro da área de aberturas para ventilação, com a telha pintada de branco, sombreamento total nas aberturas e 2 cm de lã de vidro sobre a laje (beneficiada)	412	216	628	7,2
casa COHAB padrão com a telha pintada de branco $\alpha=0,30$ (cob. branc.)	707	293	1000	11,44
casa COHAB padrão com 2 cm de lã de vidro sobre a laje (lã laje)	868	152	1020	11,67
casa COHAB padrão com as paredes de concreto monolítico de 10 cm (conc. arm.)	889	287	1176	13,46
casa COHAB padrão com sombreamento total nas aberturas (sombra)	1059	221	1280	14,61
casa COHAB padrão com o dobro das aberturas (abert. x2)	974	308	1282	14,63
casa COHAB padrão com as paredes internas e externas em alvenaria de tijolos maciços 9 cm revestidos com argamassa 2 cm de cada lado. Espessura total 13 cm (tij. maciço)	1046	247	1293	14,80
casa COHAB padrão com as paredes em blocos de concreto 10 cm (blocos)	1158	315	1473	16,86
casa COHAB padrão (padrão)	1268	210	1478	16,92
casa COHAB padrão com 2cm de lã de vidro na parte externa da parede, entre a alvenaria e o revestimento (lã parede)	1436	42	1478	16,92
casa COHAB padrão com as paredes internas e externas e o forro de poliestireno expandido 1 cm de espessura (isopor)	1783	550	2333	26,70
casa COHAB padrão com as paredes e o forro em painéis de argamassa armada de 2 cm (arg. arm.)	1663	846	2509	28,72
temperatura do ar exterior*	576	1953	2529	28,94
casa COHAB padrão com as paredes de placas de ardósia 1 cm (ardósia)	2325	544	2869	32,84

* Neste caso foram consideradas as condições de temperaturas do ar no exterior e quantificadas para o ano de 1986 as horas anuais de desconforto por frio e por calor para o ambiente externo, bem como as horas de conforto geral que é a soma das horas de desconforto por frio e por calor.

** : A porcentagem de horas de desconforto anual foi calculada considerando um ano com 8736 horas

Tabela 3 - Quantidade de horas de calor, de frio e de desconforto total para o ano de 1986, considerado como o ano climático de referência de Londrina (por ordem crescente de horas de desconforto anual) para cada variação de simulação

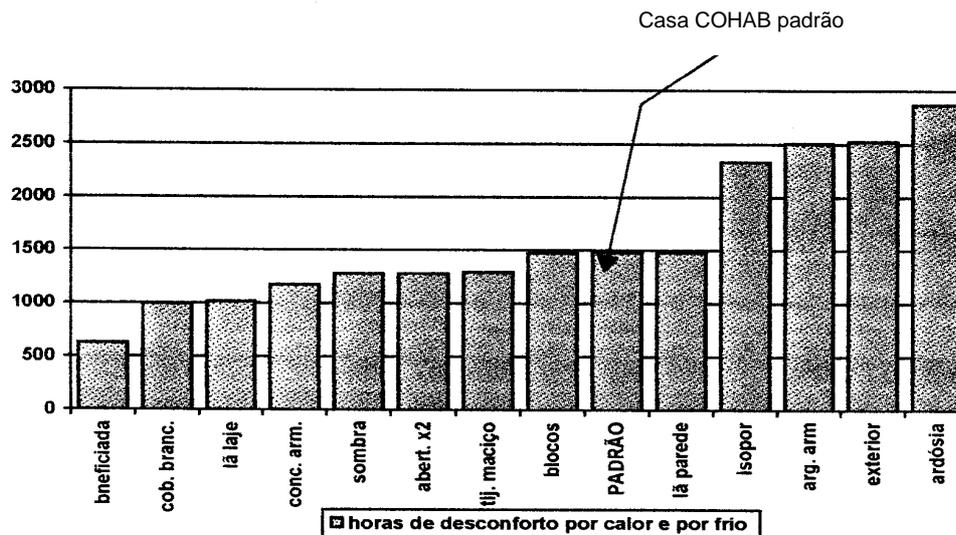


Figura 8 - Quantidade de horas anuais de desconforto total (soma de horas de calor mais horas de frio) por cada variação de simulação pra o ano climático de referência de Londrina

Critério para o estabelecimento de limites para especificação de parâmetros para avaliação de desempenho térmico

Considerando o estudo realizado por meio de simulações, percebe-se na Figura 8 que um grupo de 3 situações simuladas apresenta um total de horas anuais de desconforto menor ou igual a 1000hs. Outro grupo de 7 sistemas simulados apresenta um total de horas anuais de desconforto entre 1000hs e 1500hs. Um terceiro grupo de 3 sistemas mais o ambiente externo apresenta um total de horas anuais de desconforto acima de 1500. Observa-se que, dentro do grupo de tipologias que apresenta um total de horas anuais de desconforto acima de 1500, estão exatamente aquelas edificações mais leves, com espessura de parede menor que 0,05m e com transmitância de paredes maior que 5,00 W/m²°C. São estas as tipologias mais criticadas pelos usuários. O segundo grupo é de tipologias que apresentam espessura de paredes maior que 0,10m, com transmitância de paredes menor que 5,00 W/m²°C. Neste grupo se encaixam os sistemas em alvenaria de tijolos cerâmicos maciços, tijolos cerâmicos furados, blocos de concreto e o sistema em concreto monolítico. No grupo de sistemas construtivos que apresentam um total de horas de desconforto abaixo de 1000 horas por ano está a tipologia adotada como padrão, simulada com benefícios térmicos.

O critério para o estabelecimento dos limites mínimos de desempenho térmico pode ser adotado com base nas opções que se apresentam na Figura 8. Uma discussão com as partes interessadas (prefeituras, mutuários e setores técnicos) deve ser realizada visando o

estabelecimento deste limite mínimo a partir das condições de investimento. Conforme Aroztegui (1991), a metodologia para estabelecer uma exigência mínima deve fundamentar-se no conhecimento do máximo que é possível de se obter com a tecnologia disponível e o esforço social que as partes interessadas estejam dispostas a comprometer e aceitar.

Na Figura 8 observa-se que o sistema construtivo referencial (casa COHAB padrão) com uma pintura branca na telha, passa de 1500 para 1000 horas de desconforto anuais, sendo este um benefício de baixo custo que não compromete a viabilidade econômica. O risco de desgaste rápido desta pintura pode ser contornado através de uma prática de renovação periódica desta pintura por parte dos usuários. Este limite poderia ser inicialmente considerado como mínimo.

Existem, entretanto, outras soluções construtivas que virão atender a este limite de 1000 horas de desconforto anuais; um exemplo é o isolamento com uma camada de 2 cm de lã de vidro sobre a laje.

A decisão de tomar a casa COHAB padrão ou sistema construtivo referencial com um benefício mínimo viável para limite de desempenho térmico, justifica-se por representar a realidade da prática construtiva a nível popular e de interesse social em todo o país, conforme a pesquisa com as COHABs realizada e detalhada neste trabalho.

A situação da construção de habitação popular em Londrina reforça esta justificativa. De um total de 24.025 unidades construídas, 23.305 unidades (97%) são construídas em sistema tradicional com alvenaria de

tijolos cerâmicos de 6 furos, rebocado dos dois lados, a cobertura em duas águas com telhas de cimento amianto e laje mista e janelas do tipo basculante, ou seja, tipo casa COHAB padrão. Os sistemas não convencionais do total de casas construídas pela COHAB de Londrina somam apenas 720 unidades (3%).

Outra justificativa para propor o sistema construtivo referencial como limite é que, partindo-se da construção existente sem se desviar do viável, evita-se dificultar a adoção das recomendações estabelecidas.

Essas dificuldades são comuns de acontecer quando se procede mesmo a partir de estudos corretos, mas desvinculados da realidade prática, conforme Aroztegui (1991).

A Tabela 4 apresenta as características térmicas do sistema construtivo referencial, beneficiado com uma pintura branca na telha e/ou com uma camada de 2 cm de lã de vidro sobre a laje. Estes parâmetros ou características foram calculados conforme Lamberts (1996) e são representados pela transmitância, absorvidade e capacidade térmica das paredes e cobertura, aberturas para ventilação e sombreamento.

Conclusão

Após o estudo realizado, foi possível elaborar e apresentar uma proposta de metodologia para especificação e avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares, em um formato que pode ser discutido com a COHAB, visando permitir a adoção de medidas para implantação da mesma em futuros empreendimentos.

O método proposto apresenta duas formas de avaliar o desempenho térmico de habitações unifamiliares. A forma

por prescrição é mais rápida e mecânica, sendo necessário observar no projeto do edifício se os valores de transmitância, absorvidade e capacidade térmica das paredes e cobertura, aberturas para ventilação e sombreamento estão sendo cumpridos conforme os limites estabelecidos (Ver Tabela 4).

A forma de avaliar por desempenho exige mais esforço para ser aplicada, uma vez que é necessário proceder à simulação da edificação. A verificação é feita, então, comparando-se as horas anuais de desconforto quantificadas após a simulação, com o limite aceitável estabelecido para as horas de desconforto. Sendo entendido como horas de desconforto aquelas que estão fora dos limites de temperaturas da zona de conforto de Givoni (18°C a 29°C). Esta forma de avaliar é mais precisa e permite uma maior flexibilidade de opções para o projeto, podendo ser alcançada com opções mais viáveis técnica e economicamente.

A metodologia proposta pode ser aplicada a outras regiões climáticas, sendo para isto necessário ajustar uma ferramenta de simulação horária anual aos sistemas construtivos existentes na região, verificar os limites de temperatura da zona de conforto e montar um arquivo do ano climático de referência.

Com este estudo foi possível demonstrar que o desempenho térmico das casas de ardósia e argamassa armada é substancialmente inferior ao das demais tipologias estudadas, indicando que a massa é importante para a redução das horas de desconforto no clima de Londrina.

A metodologia estabelecida neste trabalho apresenta como inovação o critério de quantificar as horas anuais de desconforto, podendo-se denominá-lo: método das horas anuais de desconforto.

Elemento Construtivo	Parâmetros de Desenvolvimento Térmico	α	Direção do Fluxo	Valor	Unidade E
PAREDES	transmitância térmica	$\leq 0,3$	horizontal	2,31	W/m ² K
	capacidade térmica		-	156,24	kJ/m ² K
	absortividade		-	0,30	-
COBERTURAS		$\leq 0,3$	vertical ascendente	2,51	W/m ² K
	transmitância térmica	$\leq 0,3$	vertical descendente	1,83	W/m ² K
		$0,3 < 0,8$	vertical ascendente	1,19	W/m ² K
		$0,3 < 0,8$	vertical descendente	1,01	W/m ² K
	capacidade térmica		-	143,46	kJ/m ² K
ABERTURAS	aberturas para ventilação		-	10%	Av/Ac*
	sombreamento		-	beiral - 50	cm

* Av/Ac = área efetiva de ventilação/área útil de construção x 100

Tabela 4 - Características térmicas do sistema construtivo referencial (casa COHAB padrão), beneficiado com uma pintura branca na face externa da telha e/ou com uma camada de 2 cm de lã de vidro sobre a laje

Referências bibliográficas

- AKUTSU, M.; VITTORINO, F. Proposta de procedimento para avaliação do desempenho térmico de edificações condicionadas e não condicionadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1991. p. 157-171.
- AKUTSU, M.S.; VITTORINO, F.; PEDROSO, N. G.; CARBALLEIRA, L. **Crítérios mínimos de desempenho de habitações térreas unifamiliares**: Anexo 5: conforto térmico. São Paulo: IPT, 1995. (Relatório Técnico, n. 33.800).
- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE (ANSI). **ANSI/ASHRAE 55**: Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta: ANSI, 1981.
- AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS (ASHRAE). **ASHRAE/IES 90-1**: Energy efficient design of new buildings except low-rise residential buildings. Atlanta, GA: ASHRAE, 1992.
- AROSZTEGUI, J.M. Sobre la normativa de exigencias mínimas para la construcción de viviendas, en los países del cono sur de América. In: ENCONTRO NACIONAL DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1991. p. 10-15.
- BARBOSA, M.J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. 274 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- BECKER, M.F.M. Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1993, São Paulo. **Avanços em Tecnologia e Gestão de Edificações**: anais. São Paulo: ANTAC, 1993. p. 825-834.
- DEAR, R. J.; FOUNTAIN, M.E. Field experiments on occupants comfort and office thermal environments in a hot-humid climate. **ASHRAE transactions**, Atlanta, v. 100, n. 2, p. 475, 1994
- FANGER, P.O. **Thermal comfort**: analysis and applications in environmental engineering. New York: McGraw-Hill, 1972. 244 p.
- GIVONI, B. Comfort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- GOULART, S.V.G. **Dados climáticos para avaliação de desempenho térmico de edificações em Florianópolis**. 1993. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE SÃO PAULO (IPT-SP). Divisão de Edificação. **Conforto higratérmico**: avaliação de desempenho de habitações térreas unifamiliares. São Paulo, IPT, 1981. Apostila Mimeografada.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7726**: Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities. [S.l], 1998.
- _____. **ISO 7730**: Moderate thermal environments: determinations of PW and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. Genebra, 1984.
- LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações**: cálculo da transmitância térmica e da resistência térmica de elementos e componentes. Florianópolis: UFSC, [1996].
- PEUPORTIER, B.; SOMMEREUX, I. B. **COMFIE**: passive solar design tool for multizone buildings: user's manual. Version 2.0. Paris: École des Mines de Paris/Centre d'Énergétique, Jan. 1992.
- SATTLER, M.A.A. avaliação de desempenho térmico de edificações pela CIENTEC. In: ENCONTRO DE NORMALIZAÇÃO LIGADA AO USO RACIONAL DE ENERGIA E AO CONFORTO AMBIENTAL EM EDIFICAÇÕES, 1991, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1991. p. 145-149.
- TURIK, N. Exigências de desempenho higratérmico da envolvente de habitações populares térreas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1990, Gramado. **Anais...** Gramado: ANTAC, 1990, p. 109-114.
- XAVIER, A.P. Temperatura interna de conforto e percentagem de insatisfeitos para atividade escolar Diferença entre a teoria e a prática. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, BA: ANTAC, 1997, p. 198-204.