

DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS EM *LIGHT STEEL FRAMING*

Adriano Pinto Gomes (1); Henor Artur de Souza (2)

(1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil – e-mail: agomes_arq@yahoo.com.br

(2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil – e-mail: henor@ufop.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de uma edificação em *Light Steel Framing*, ventilada naturalmente, por meio de simulação numérica do comportamento térmico de ambientes para a região metropolitana de São Paulo. Realiza-se um estudo das temperaturas internas dos ambientes, considerando a resposta global da edificação e verificando o cumprimento das exigências de conforto térmico de seus usuários, para diferentes configurações de fechamentos e cobertura com atraso térmico indicados pela norma brasileira NBR 15220. Para a determinação do comportamento térmico do modelo utiliza-se o programa computacional de simulação numérica *EnergyPlus*, seguindo as seguintes etapas: caracterização da edificação, caracterização das condições típicas de exposição ao clima, caracterização e configuração do sistema de fechamento, caracterização do perfil de ocupação, caracterização das exigências humanas e avaliação das condições de conforto térmico dos ambientes. Os resultados obtidos permitem constatar que o uso dos fechamentos e cobertura, indicados pela norma brasileira NBR 15220, são capazes de amortecer o calor externo no dia típico de verão e minimizar a oscilação da temperatura no dia típico de inverno. Esses resultados se colocam ainda como uma contribuição ao estabelecimento de tipos de fechamentos verticais que garantam conforto térmico nas edificações em *Light Steel Framing* da região de interesse, oferecendo uma alternativa consistente aos sistemas construtivos comumente utilizados em habitações unifamiliares no Brasil.

Palavras-chave: *Light Steel Framing*, simulação numérica, desempenho térmico.

ABSTRACT

This paper intends to evaluate thermal performance in a naturally ventilated building, employing *Light Steel Framing*. The technique adopted is numerical simulation and the site considered is São Paulo metropolitan area. Internal temperatures are simulated, taking into consideration the overall response of the building and its compliance to personal comfort requirements for the occupants, to different outside wall systems with thermal insulation, according the Brazilian Standard NBR 15220. *EnergyPlus* software is adopted, following the stages of building characterization, climate characterization, outside wall system characterization, occupation model characterization, human requirements characterization and evaluation of thermal comfort conditions. The obtained results demonstrate that the use of outside walls and roofs according the Standard NBR 15220 are able to cushion the external heat temperatures of a typical summer and reduce temperature oscillation of a typical winter. This research has resulted in the establishment of adequate vertical enclosures that guarantee the building's internal thermal comfort, when *Light Steel Framing* is used instead of the construction systems commonly used for one-family homes in Brazil.

Keywords: *Light Steel Framing*, numerical simulation, thermal performance.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A qualidade ambiental dos espaços habitacionais está intimamente relacionada a uma resposta adequada aos condicionantes climáticos do local onde a edificação estiver inserida. Para se obter condições de conforto térmico compatíveis com as exigências dos usuários e racionalizar o consumo de energia, é necessário tratar a questão do desempenho térmico desde a concepção arquitetônica desses edifícios.

Para manter a qualidade térmica no interior das habitações estruturadas em aço, podem-se utilizar diversos recursos de projeto, como os dispositivos de proteção solar (*brises* e telas metálicas), novos sistemas de fechamento, elementos arquitetônicos que melhorem as condições da ventilação natural, novos materiais isolantes, dentre outros. Porém, dentre os sistemas complementares utilizados nas edificações estruturadas em aço, o sistema de fechamento é o mais importante, uma vez que está diretamente relacionado ao conforto térmico dos usuários.

Nesse sentido, a avaliação do desempenho térmico de edificações é outro fator importante, pois, verificando as condições do ambiente interno de uma habitação em relação ao conforto térmico proporcionado aos ocupantes, ainda em fase de projeto, garante-se uma edificação com resposta térmica adequada com mínimo gasto de energia. A pesquisa relacionada à avaliação do desempenho térmico de habitações em *Light Steel Framing* (LSF) é um assunto de grande importância para a adaptação, ampliação e consolidação desse sistema construtivo no contexto brasileiro (CRASTRO, 2005; GOMES, 2007).

1.2 Caracterização do problema

No Brasil, a tecnologia do sistema LSF é recente. Somente no final da década de 90 esse sistema começou a ser introduzido no país para a montagem de casas residenciais. Há ainda algumas adaptações climáticas dos projetos a serem feitas, por ser o sistema de concepção importado e com uma linguagem típica de seu país de origem. Segundo Crasto (2005), “no Brasil não há estudos sobre o comportamento e desempenho térmico de edificações construídas em LSF, portanto ainda não é possível avaliar quais condições de fechamento são melhores para determinadas regiões do país”.

Em relação ao sistema construtivo, existem trabalhos que visam à padronização do LSF no Brasil. O CBCA (Centro Brasileiro da Construção em Aço) disponibiliza dois manuais que tratam do sistema LSF: um sobre arquitetura do LSF (FREITAS e CRASTO, 2006) e um segundo sobre cálculo estrutural do LSF (RODRIGUES, 2006). A Caixa Econômica Federal (CEF, 2003) tem usado um manual baseado em normas americanas, a fim de fornecer subsídios suficientes para o estabelecimento de critérios de análise de solicitação de financiamento para a construção de edificações com este sistema.

1.3 O sistema *Light Steel Framing*

O sistema construtivo LSF possui concepção racionalizada e caracteriza-se por perfis de aço galvanizado, formados a frio, constituindo um esqueleto estrutural capaz de resistir às cargas que solicitam a edificação e por vários componentes e subsistemas inter-relacionados que possibilitam uma construção industrializada, com grande rapidez de execução e a seco (Figura 1). Os perfis de aço galvanizado são utilizados para compor painéis estruturais ou não-estruturais, vigas de piso, vigas secundárias, tesouras de telhado e demais componentes.

No sistema LSF, os fechamentos internos e externos da edificação são formados por seus componentes, posicionados externamente à estrutura, e pelos perfis galvanizados (Figura. 2). Os componentes de fechamento devem ser constituídos por elementos leves a fim de constituir um sistema de fechamento de baixo peso próprio, compatível com o conceito da estrutura. O fechamento vertical empregado deve ser um sistema racionalizado que propicie uma obra rápida e seca.

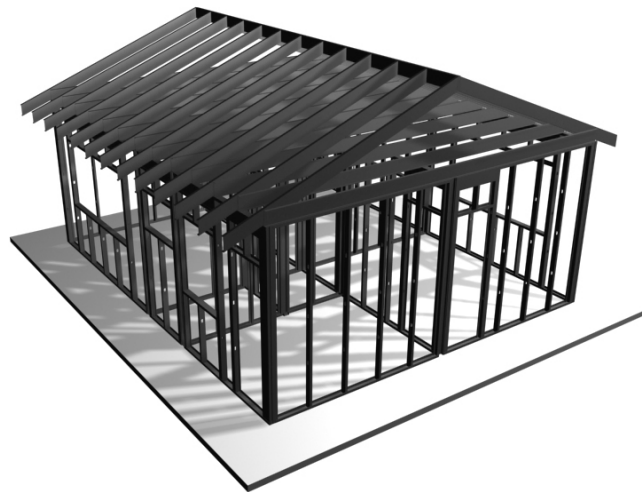


Figura 1 – Desenho esquemático da estrutura do modelo simulado em *Light Steel Framing*

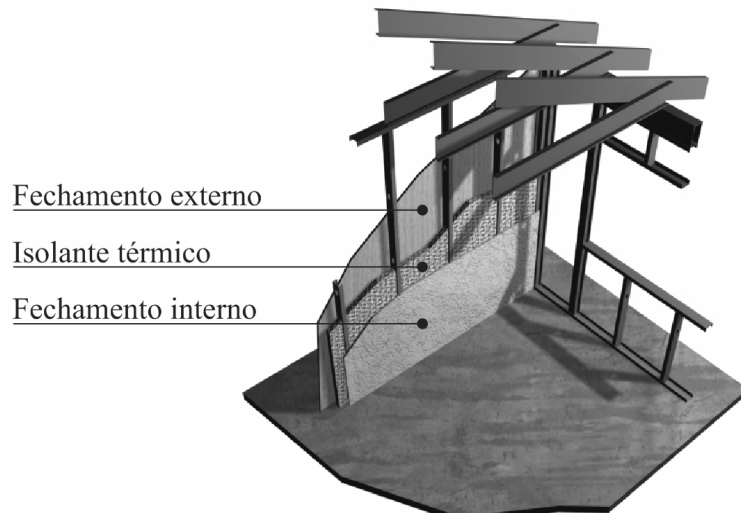


Figura 2 – Detalhe do fechamento empregado no sistema *Light Steel Framing*

No Brasil, são disponibilizadas placas em diversas espessuras para o fechamento de construções em LSF. Segundo Crastro (2005), os produtos mais utilizados no mercado nacional são: o OSB (*Oriented Strand Board*), a placa cimentícia e o gesso acartonado em aplicações internas.

O isolamento térmico dos fechamentos baseia-se no conceito de isolamento multicamada, que consiste em combinar placas leves de fechamento, deixando um espaço a ser preenchido com material isolante (lã mineral).

1.4 O zoneamento bioclimático brasileiro

A norma NBR 15220 (2005) de desempenho térmico de edificações, em um de seus capítulos, trata do zoneamento bioclimático brasileiro e sugere diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, adotando uma carta bioclimática adaptada a partir da sugerida por GIVONI (1992).

Nessa norma, os dados mensais de temperatura e umidade do ar foram representados por uma reta sobre a carta para cada mês do ano e para cada localidade. Dessa forma, por meio da plotagem dos dados das normais climatológicas de cada cidade, podem-se obter as percentagens de cada estratégia acumuladas ao longo de um ano, permitindo classificar o clima de uma cidade em uma das oito zonas bioclimáticas definidas. Para as cidades que não tinham dados climáticos medidos, o clima foi estimado por meio de interpolação.

Posteriormente, foi estabelecido um zoneamento bioclimático que dividiu o território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima. Para cada região delimitada no zoneamento formulou-se um conjunto de recomendações técnico-construtivas que conjugam as estratégias de

condicionamento térmico passivo com os limites aceitáveis de indicadores do desempenho térmico.

De acordo com o anexo “A” da norma NBR 15220 (2005), a cidade de São Paulo está classificada como *zona bioclimática 3*. Segundo essa norma, para esta zona deve ser atendida as diretrizes que são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estratégias e diretrizes para a zona bioclimática 3

Estratégias	Diretrizes
Ventilação	Tamanho das aberturas (A) = Médias
	$15 \% < A < 25 \%$
	A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Proteção solar	Permitir sol durante o período frio
Massa térmica - fechamentos	Fechamento externo leve (atraso térmico $\phi \leq 4,3$ h, $U \leq 3,0$ W/m ² . K)
	Fechamento interno pesado (atraso térmico $\phi \geq 6,5$ h, $U \leq 2,2$ W/m ² . K)
	Cobertura leve isolada (atraso térmico $\phi \leq 3,3$ h, $U \leq 2,0$ W/m ² . K)

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de uma edificação em LSF, ventilada naturalmente, por meio de simulação numérica do comportamento térmico de ambientes para a região metropolitana de São Paulo. Realiza-se um estudo das temperaturas internas dos ambientes, considerando a resposta global da edificação e verificando o cumprimento das exigências de conforto térmico de seus usuários, para diferentes configurações de fechamentos e cobertura com atraso térmico indicados pela norma brasileira NBR 15220 (2005).

3 METODOLOGIA

As etapas relevantes no processo de avaliação do desempenho térmico de uma edificação, por meio de simulação numérica, abrangem principalmente a caracterização da edificação, a caracterização das condições típicas de exposição ao clima, caracterização e configuração do sistema de fechamento vertical, horizontal e cobertura, caracterização do perfil de ocupação e também a caracterização das exigências humanas de conforto térmico (AKUTSU, 1998).

3.1 Caracterização da edificação

O projeto arquitetônico do modelo da edificação analisado é baseado em um protótipo residencial em LSF construído em Indaiatuba, cidade do interior do Estado de São Paulo, que segue as recomendações propostas pela Caixa Econômica Federal (CEF, 2003) para edificações residenciais em LSF.

As modificações e complementações foram realizadas para adequar a edificação ao sistema construtivo. A planta modificada apresenta o mesmo programa de necessidades do protótipo. A diferença básica no modelo simulado é a adequação da planta e da elevação do protótipo a uma malha de 600 x 600 mm (Figura 3 e 4). As dimensões das janelas de correr também foram modificadas para atender as diretrizes da norma NBR 15220 (2005), ou seja, área de janela entre 15 % a 25 % da área de piso em ambientes de longa permanência.

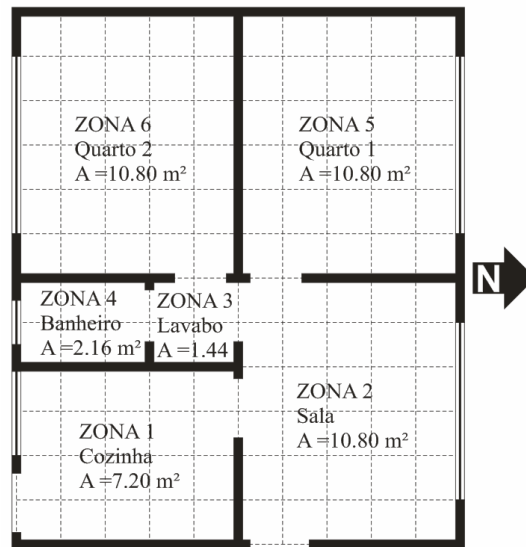


Figura 3 – Planta baixa do modelo simulado (malha de 600 x 600 mm)

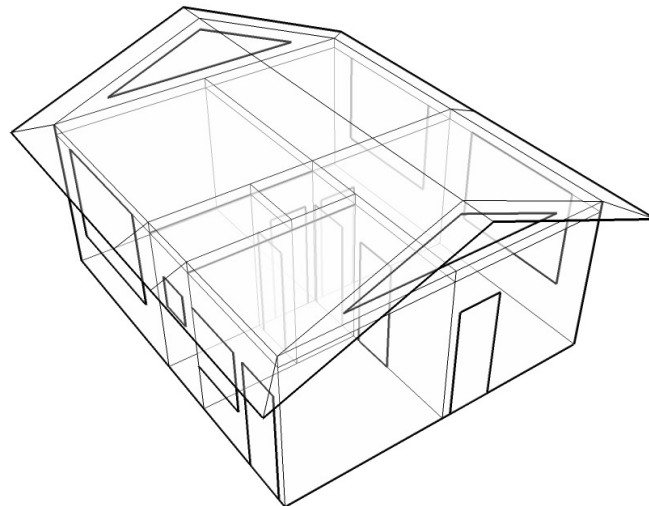


Figura 4 – Perspectiva do modelo (gerada após a simulação)

3.2 Caracterização do clima e período simulado

As informações climáticas são caracterizadas pelos valores horários de temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar global e pela velocidade média do vento predominante; nos *dias típicos de projeto* para o período de verão e de inverno.

O modelo foi simulado no *EnergyPlus* considerando o ano climático de referência para São Paulo. Embora a duração da simulação tenha sido de 1 ano, são apresentados resultados somente para um dia típico de verão e inverno. Foi considerado o passo de tempo, ou número de intervalos de tempo por hora da simulação, com valor 4 (15 minutos entre interações).

3.3 Caracterização dos fechamentos analisados

Os fechamentos foram classificados em leves e pesados conforme o atraso térmico. Na definição da composição dos fechamentos leves, procuraram-se valores de atraso térmico próximos daquele referente a uma parede de tijolos de 6 furos quadrados, assentados na menor dimensão, com 2,5 cm de argamassa nas duas faces ($\phi = 3,3$ h). Na composição das coberturas o atraso térmico é maior que o recomendado pela norma NBR 15220 (2005), uma vez que a laje foi contemplada nos cálculos de inércia térmica.

Na Tabela. 2 são apresentados os tipos de fechamentos analisados. Nesses fechamentos, a parede possui estrutura metálica simples (Perfil Ue de 90 mm) e distância entre eixos dos montantes (perfis verticais) de 600 mm. As cotas apresentadas nas composições dos fechamentos estão em milímetros.

Tabela 2 – Composições dos fechamentos e cobertura

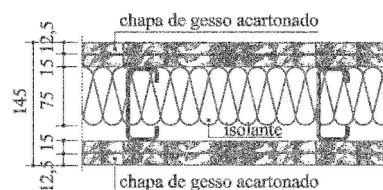
Fechamento interno

Atraso Térmico:

6,81 h

Amortecimento:

83 %



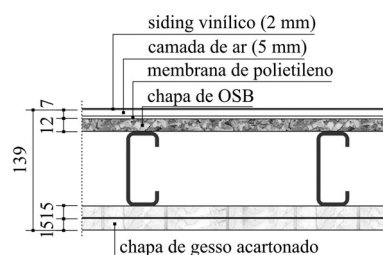
Fechamento externo

Atraso Térmico:

3.18 h

Amortecimento:

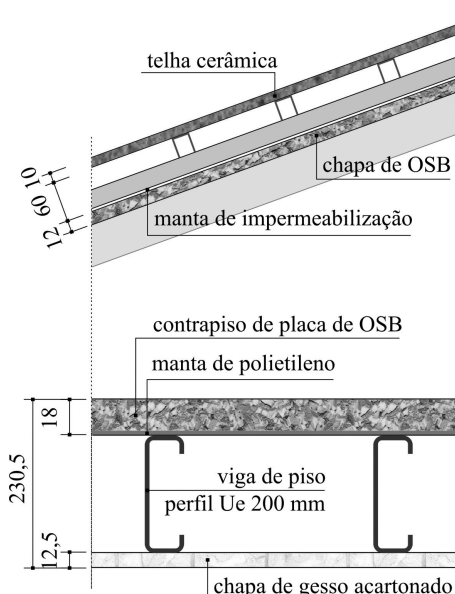
56 %



Composição da cobertura com laje seca leve

Atraso Térmico: 4.28 h

Amortecimento: 67%



3.4 Caracterização do perfil de ocupação

Por meio do item *Schedule* do programa *EnergyPlus*, define-se a rotina de ocupação ao longo do dia de projeto. Como se trata de uma proposta de projeto de edificação popular considera-se uma família composta por quatro pessoas. Os ocupantes foram considerados utilizando roupas com resistência de 1,0 CLO e realizando atividades sedentárias, liberando uma taxa de calor de 131 W por pessoa (71 sensível e 60 latente), sendo adotada a parcela radiante de 60% (*default* do programa).

Na iluminação utiliza-se o tipo fluorescente para uso residencial com potência dissipada de 10 W/m², considerando a parcela radiante de 40% e a visível de 20%. A rotina de ocupação corresponde ao acendimento das lâmpadas às 18:00 h (100 %) e ao desligamento total às 22:00 h. Nos ganhos internos de calor, também foram considerados equipamentos como chuveiro elétrico e um fogão comum.

Para uma mesma região definida no zoneamento bioclimático brasileiro da norma NBR 15220 (2005), existem diversas condições reais de ventilação. Além disso, sabe-se que não é possível obter o mesmo número de renovações de ar em todos os ambientes de uma edificação. Mas, como na caracterização da infiltração de ar em cada zona térmica a taxa de renovação de ar é um item que deve ser considerado, na simulação foram estipuladas quatro renovações de ar por hora (4 ren/h) por ambiente.

3.5 Caracterização das exigências de conforto térmico

Não existe uma temperatura exata para definir o conforto térmico. Um indivíduo que sente conforto numa determinada condição climática pode não sentir desconforto imediato quando a temperatura do ar sofrer uma variação.

O critério de avaliação para edificações não condicionadas desenvolvido pelo IPT (1998) classifica o desempenho térmico da edificação em função do seu comportamento nos dias típicos de verão e inverno, respectivamente, segundo níveis “A”, “B”, ou “C”; adotando-se como parâmetro de avaliação, a temperatura do ar interior.

No verão, uma habitação será classificada como nível A quando seu ambiente interno apresentar temperatura inferior a 29 °C durante todo o dia; nível B, se o valor máximo diário da temperatura do ar interior não ultrapassar o valor máximo diário da temperatura do ar exterior, adotada como temperatura máxima de referência; e será classificada como nível C, quando o valor máximo diário da temperatura do ar interior for superior ao valor máximo diário da temperatura do ar exterior.

Já no inverno, uma habitação será considerada nível A quando a temperatura do ar interior for maior ou igual a 17 °C durante todo o dia; nível B quando o valor mínimo diário da temperatura do ar interior for maior ou igual a 12 °C; e será classificada como nível C quando o valor mínimo diário de temperatura do ar interior for menor do que 12 °C. Não sendo aceitas edificações com desempenho classificado dentro do nível C, tanto para o inverno quanto para o verão (IPT, 1998).

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Simulação numérica

Por meio da simulação numérica, pode-se prever o desempenho energético de um projeto arquitetônico e conhecer o comportamento dos elementos construtivos propostos. Além disso, conhecendo-se o clima local, a proposta arquitetônica pode otimizar os sistemas naturais e artificiais de iluminação e de condicionamento.

Os *softwares* de simulação energética de edificações utilizam modelos matemáticos complexos que simulam no interior dos ambientes o efeito do armazenamento térmico e das trocas de calor (convecção e radiação). Esses programas foram desenvolvidos devido ao grande número de variáveis envolvidas na simulação energética de um ambiente construído.

O *EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (CRAWLEY *et al*, 2000). Utilizando um arquivo climático da região de interesse e considerando dados como caracterização geométrica da edificação, componentes construtivos, cargas elétricas instaladas, sistemas de condicionamento de ar e padrões de uso, o programa *EnergyPlus* estima o consumo de energia considerando as trocas térmicas da edificação com o exterior. Este *software* também permite a solicitação de diversos relatórios, incluindo a temperatura interna de cada zona térmica.

4.2 Evolução temporal da temperatura

Nas Figuras. 5 e 6 apresentam-se os resultados obtidos para o dia típico de verão e inverno, considerando-se as configurações de fechamentos propostas na Tabela 2.

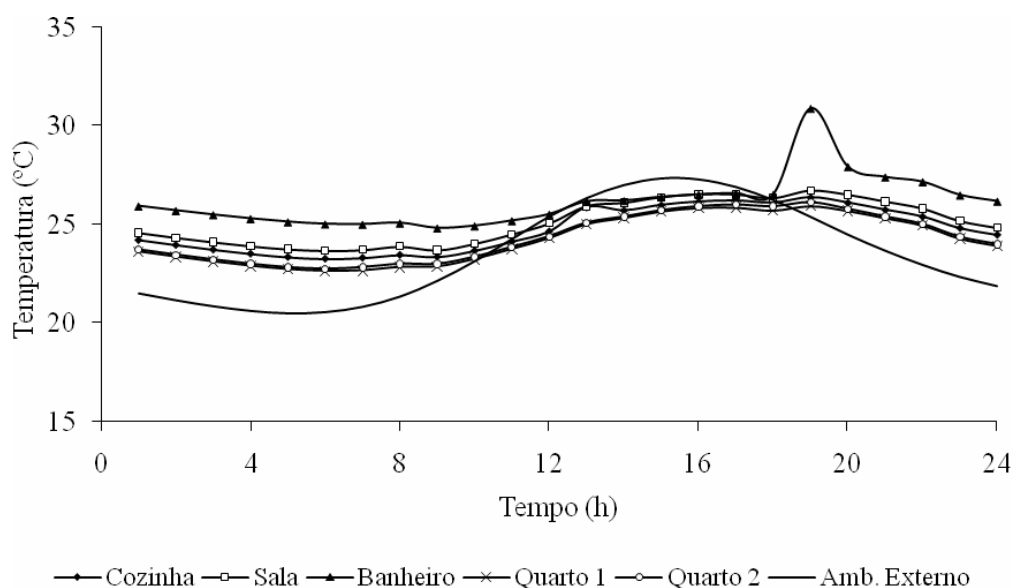


Figura 5 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em São Paulo

Analisando-se as temperaturas internas dos ambientes do modelo, pode-se observar que a edificação apresenta um desempenho térmico adequado para região analisada, com temperaturas internas abaixo de 29°C durante todo o dia típico de verão. Houve um amortecimento da onda de calor exterior para o dia típico de verão analisado.

Observa-se pelos resultados mostrados na Figura 5, a influência das cargas internas no valor da temperatura do ar interno. Como o modelo contempla zonas pequenas, a carga térmica interna (perfil de ocupação) tem grande influência na resposta do ambiente às interações térmicas com ambiente externo. Sendo assim, o acionamento do chuveiro gera um pico na temperatura do ambiente *Banheiro*, que exerce pouco efeito nas outras zonas, devido à simplificação da simulação do fluxo de ar entre zonas (infiltração constante).

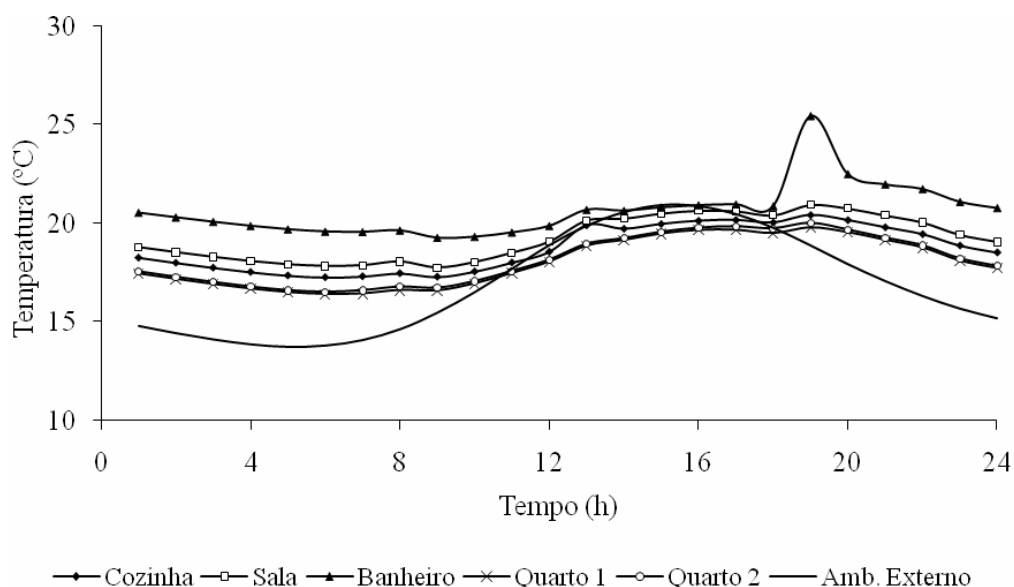


Figura 6 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de inverno em São Paulo

Considerando o dia típico de inverno, pode-se observar que a edificação também apresenta um desempenho térmico adequado, uma vez que as temperaturas internas permanecem acima de 17°C na maior parte do dia, embora a temperatura do ar externo tenha variado de 13°C a 21°C.

Na Figura 7, mostra-se o período no qual a temperatura interna dos ambientes fica abaixo da temperatura de 17°C. Em São Paulo, há a necessidade de aquecimento solar passivo em combinação com o uso de massa térmica nos fechamentos durante o inverno. Nas edificações construídas nesse clima, deve-se permitir a radiação solar direta no interior dos ambientes para minimizar possíveis gastos com aquecimento artificial.

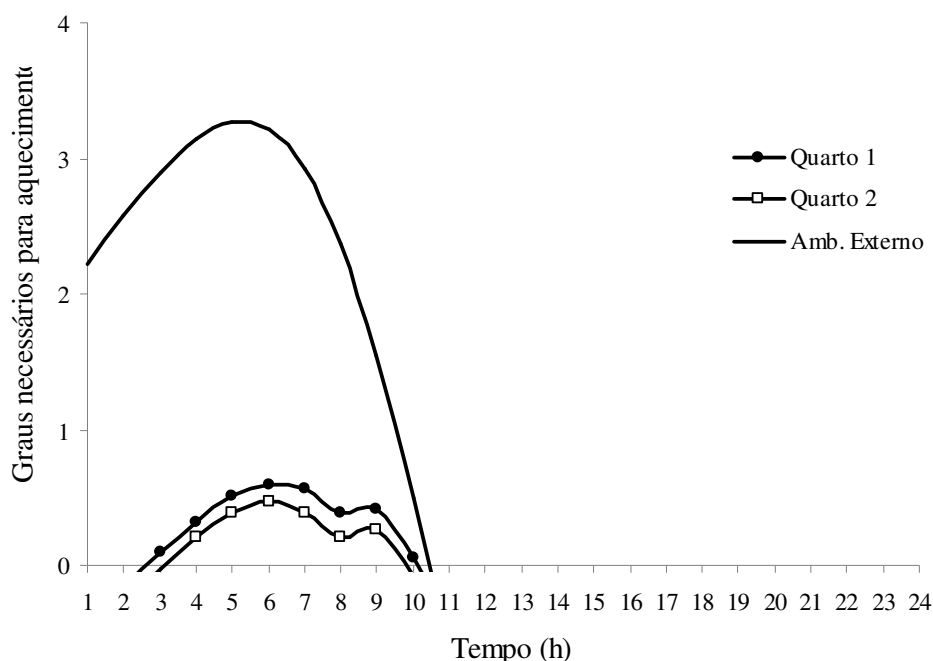


Figura 7 – Graus necessários para aquecimento considerando o dia típico de inverno

4.3 Considerações finais

A recomendação proposta pela norma de desempenho térmico, que diz respeito ao uso de fechamentos internos pesados, pode parecer inviável no sistema LSF, uma vez que a utilização de mais de uma chapa de qualquer material (gesso acartonado, placa cimentícia e placa de OSB) nos fechamentos internos das edificações não é uma prática comum no Brasil. No entanto, a utilização de mais de uma chapa e, principalmente, a colocação de isolamento térmico entre as camadas (Figura 2) aumenta o atraso térmico dos fechamentos.

Como no LSF os componentes de fechamento são posicionados externamente à estrutura, pode-se trabalhar com o conceito de isolamento em multicamada utilizando-se os sistemas de fechamento industrializados. Desse modo, podem-se reproduzir quaisquer sistemas de fechamento que apresentem desempenho térmico de acordo com as exigências do projeto arquitetônico.

Uma alternativa ao uso de mais de um componente de fechamento seria aumentar a alma dos montantes (perfis verticais) a fim de expandir a camada de ar; mas essa medida implicaria em um aumento de custos que não seriam compatíveis com o conceito de uma casa residencial popular.

Embora o Brasil seja de grande extensão territorial e de clima bastante heterogêneo, a industrialização do sistema construtivo LSF facilita a implantação desse sistema em diversas regiões do País, uma vez que as diversas combinações de placas de fechamento e material isolante podem atender a variadas condições climáticas.

Por outro lado, no que diz respeito à simulação numérica, a adoção de um determinado modelo de simulação da ventilação natural é um fator importante, que deve ser considerado na análise dos

resultados. A caracterização da infiltração de ar nas zonas térmicas pode ser feita de dois modos no *EnergyPlus*. O primeiro modo consiste em determinar uma vazão nominal de ar para cada ambiente. A segunda forma se dá por meio da utilização do modelo de cálculo *AirflowNetwork*, que considera o fluxo de ar entre zonas e o exterior. Neste trabalho considerou-se uma taxa de renovação de ar constante para os ambientes, ou seja, um modelo simplificado para as interações do fluxo de ar entre zonas.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações** (2005) – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro.

AKUTSU, Maria (1998). **Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil**. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (2003). **Sistema Construtivo utilizando perfis estruturais formados a frio de aços galvanizados (steel framing)**: requisitos e condições mínimas para financiamento pela CAIXA.

CRASTO, Renata Cristina Moraes de (2005). **Arquitetura e tecnologia em sistemas construtivos industrializados: light steel framing**. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2005.

CRAWLEY, D. B. *et al* (2000). *EnergyPlus: Energy Simulation Program*. **ASHRAE journal**. Atlanta: ASHRAE, v.42, p. 49-56.

FREITAS, Arlene M. Sarmanho; CRASTO, Renata C. Moraes. **Steel Framing**: Arquitetura. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).

GIVONI, B (1992). **Comfort climate analysis and building design guidelines**. *Energy and Buildings*, v. 18, n. 1.

GOMES, A. P. Simulação numérica do desempenho térmico de edificações em *Light Steel Framing*. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2007, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2007. p. 797-806.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S.A. **Critérios mínimos de desempenho para habitações térreas de interesse social**. São Paulo: Ed. Mandarim Ltda, 1998. 82 p. (Relatório Técnico nº 33.800).

RODRIGUES, Francisco Carlos. **Steel Framing**: Engenharia. Rio de Janeiro: IBS/CBCA, 2006. (Série Manual da Construção em Aço).

6 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a FAPEMIG, USIMINAS S.A. e FUNDAÇÃO GORCEIX.