



## INFLUÊNCIA DA INÉRCIA DO SOLO E DA VENTILAÇÃO NATURAL NO DESEMPENHO TÉRMICO: ESTUDO DE CASO DE UM PROJETO RESIDENCIAL EM *LIGHT STEEL FRAMING* PARA BELO HORIZONTE - MG

**Lucas Roquete Amparo (1) Henor Artur de Souza (2) Adriano Pinto Gomes (3)**

(1) Graduação em Engenharia Civil - Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto-UFOP,  
Brasil - lucasroquete@gmail.com

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

(3) Prof. da Área de Desenho e Projeto – Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, Campus Ouro  
Preto, Ouro Preto, Brasil – agomes\_arq@yahoo.com.br

### RESUMO

No Brasil, a tecnologia do sistema *Light Steel Framing* começou a ser introduzida para a montagem de casas residenciais somente no final da década de 90. Por ser um sistema de concepção importado dos Estados Unidos e com uma linguagem típica do país de origem é necessário que algumas adaptações climáticas dos projetos sejam feitas. Neste trabalho avalia-se o desempenho térmico de uma edificação em *Light Steel Framing*, de alto padrão, considerando-se algumas estratégias de ventilação natural e a influência da inércia do solo para Belo Horizonte - MG. Na determinação do comportamento térmico do modelo utiliza-se o programa computacional *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 em concordância com as normas específicas. Observou-se que a estratégia de ventilação natural quando adequadamente utilizada, em função das condições climáticas locais, proporcionou uma melhora significativa no desempenho térmico da edificação. Da mesma forma, em função da geografia do terreno e característica do projeto, observou-se que a influência da inércia térmica do solo somente se torna positiva quando associada às estratégias de ventilação natural e de sombreamento.

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

# 1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a conscientização pelo uso sustentável da energia vem crescendo e como boa parte desta energia é consumida para o aquecimento e resfriamento de edificações, a indústria da construção tem sido afetada. Neste contexto um dos mais importantes fatores é a adequação do sistema de fechamento da construção às condições do clima onde ela se inserirá, bem como a concepção de projeto adaptada à realidade local. O consumo energético de uma edificação está diretamente ligado às características da construção, uma vez que o envelope (forma e tipo de fechamento) desempenha um papel de grande influência nas condições ambientais internas, sendo, portanto, fator determinante no desempenho térmico da edificação (JANSSEN; CARMELIET; HENS, 2004).

Diversos recursos de projeto podem ser utilizados para manter um conforto habitacional adequado. A disponibilidade de vários tipos de fechamento, a utilização de dispositivos de proteção solar, estratégias arquitetônicas que facilitem os mecanismos de ventilação natural, características geográficas do local onde a edificação está inserida, dentre outros, podem ser analisados para garantir um bom desempenho térmico da construção.

## 1.1 Inércia Térmica

O uso da inércia térmica contribui para a diminuição dos picos diários de temperatura e favorece o atraso da condução do calor através do sistema de fechamento. Com a utilização de paredes empregando material com inércia térmica elevada consegue-se uma diminuição na amplitude da temperatura interior em relação à temperatura exterior, ou seja, os picos de temperatura, observados externamente serão percebidos de forma mais amena internamente e com atraso. Por outro lado, a temperatura interna de uma edificação, com baixa inércia térmica, sofre grande influência das condições climáticas externas, ao contrário de uma edificação com elevada inércia térmica.

Elementos construtivos com elevada capacidade térmica são indicados para locais em que se predomina clima quente e seco, onde a temperatura atinge valores altos durante o dia e baixos a noite. Nestes casos, a capacidade térmica do componente possibilita o atraso da onda de calor, e fechamentos externos com alta inércia e sombreamento proporcionam um menor aquecimento no ambiente (PAPST, 1999). O contato com solo também pode servir como uma estratégia de inércia térmica para resfriamento, Figura 1.

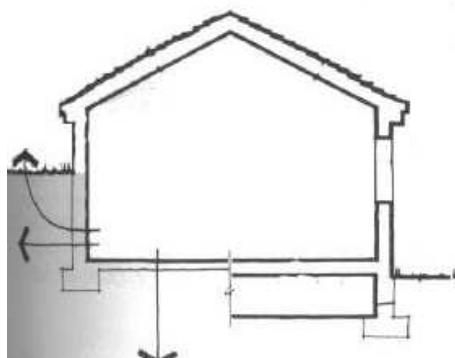


Figura 1 – Solo como uma estratégia de inércia térmica para resfriamento.

Fonte: LAMBERTS et al., 2005.

Em locais onde a amplitude térmica não excede 10 °C e a temperatura externa máxima fica em torno de 31°C o uso da inércia térmica pode ser efetivo quando conjugado com ventilação noturna. De um modo geral, para climas quentes e úmidos o uso de massa térmica associado a uma correta orientação, sombreamento e ventilação pode apresentar um desempenho térmico adequado (GIVONI, 1994; SZOKOLAY, 1996).

## 1.2 Sistema Construtivo

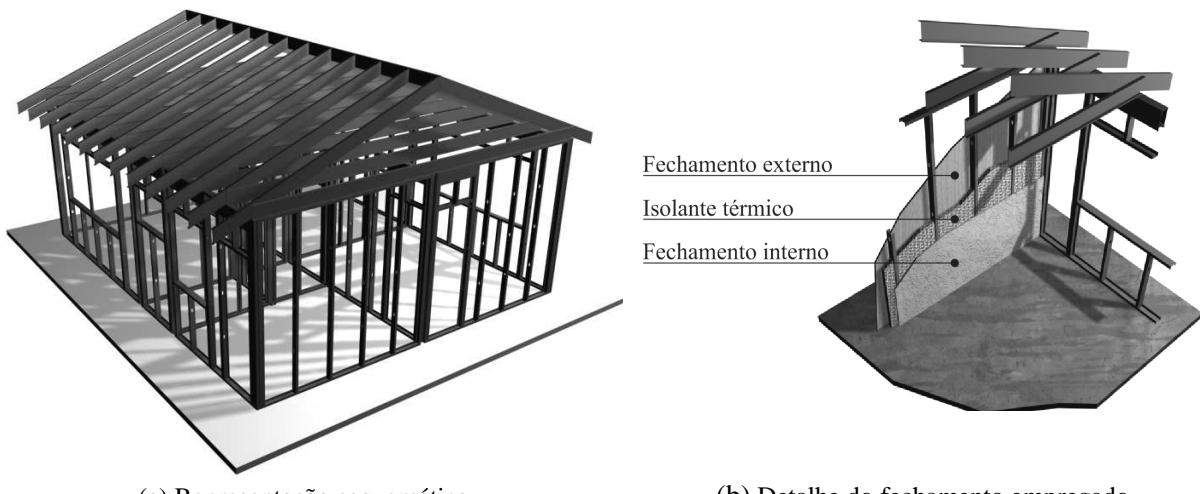
A origem do sistema *Light Steel Framing* remonta ao início do século XIX, com as habitações em madeira construídas pelos colonizadores no território norte americano. Para atender ao crescimento da

população, foi necessário empregar métodos mais rápidos e produtivos na construção de habitações, utilizando os materiais disponíveis na região, no caso a madeira. Esse método consistia em uma estrutura composta de peças em madeira serrada de pequena seção transversal conhecido por *Balloon Framing*. A partir daí, as construções em madeira, conhecidas por *woodframe*, tornaram-se a tipologia residencial mais comum nos Estados Unidos. Cem anos depois, em 1933, com o grande desenvolvimento da indústria do aço, foi lançado na Feira Mundial de Chicago, o protótipo de uma residência em *Steel Framing* que utilizava perfis de aço substituindo a estrutura de madeira (FRECHETTE, 1999).

No Brasil, nos últimos anos a construção estruturada em aço vem sendo empregada cada vez mais na construção civil brasileira e neste contexto a tecnologia do sistema em *Light Steel Framing* (LSF) começou a ser introduzida no país, no final da década de 90. Este sistema construtivo, estruturado em perfis de aço galvanizado formados a frio, vem despertando grande interesse no mercado nacional, para a montagem de casas residenciais (CEF, 2003) e neste sentido trabalhos foram desenvolvidos visando à padronização desse sistema construtivo no país (FREITAS; CRASTO, 2006; RODRIGUES, 2006).

O esqueleto estrutural desse sistema construtivo é projetado para suportar as cargas da edificação e trabalhar em conjunto com outros subsistemas industrializados, o que permite rapidez na execução. 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. Para não alterar o conceito da estrutura os componentes dos fechamentos da edificação, no sistema LSF, que envolvem externamente a estrutura, devem ser elementos leves, proporcionando baixo peso à edificação como um todo, Figuras 2 (a).

Os produtos mais utilizados no mercado nacional, como fechamento de construções em LSF, 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 (lá mineral), Figura 2 (b).



**Figura 2 – Residência em *Light Steel Framing***

Fonte: GOMES; SOUZA, 2008.

## 2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar, via simulação numérica, o desempenho térmico de uma edificação em LSF, utilizando estratégias de ventilação natural e inércia térmica do solo, para Belo Horizonte - MG.

## 3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho abrange as seguintes metas: (a) caracterização da edificação em LSF

analisada; (b) caracterização do sistema de fechamento utilizado; (c) caracterização dos parâmetros para a avaliação numérica de desempenho da edificação estudo de caso e; (d) caracterização das exigências de conforto dos usuários.

### 3.1 A edificação analisada

A edificação analisada é uma residência de dois pavimentos em LSF, localizada na cidade de Belo Horizonte, cuja divisão, dimensões e volumetria são apresentadas nas Figuras 3, 4 e 5. O modelo é constituído por vinte e duas zonas térmicas.

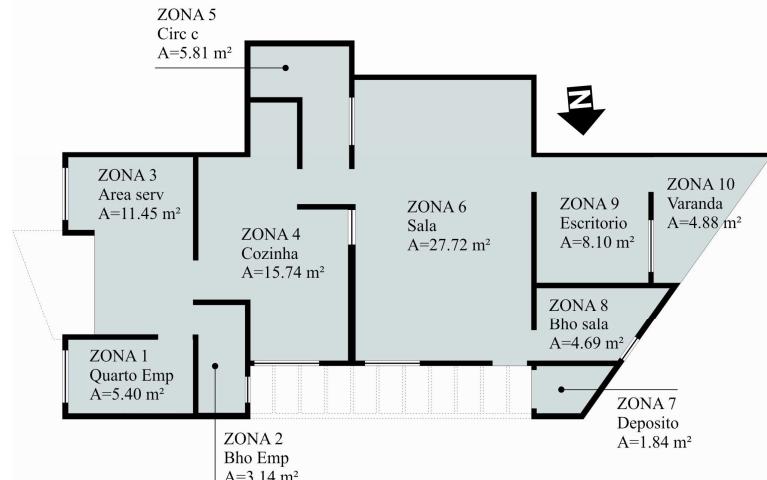


Figura 3 - Planta baixa do 1º pavimento.

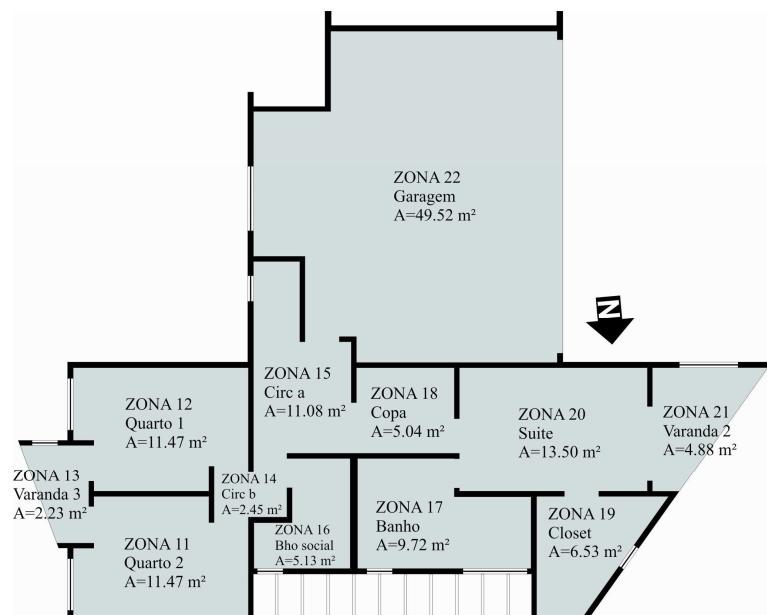


Figura 4 - Planta baixa do 2º pavimento.

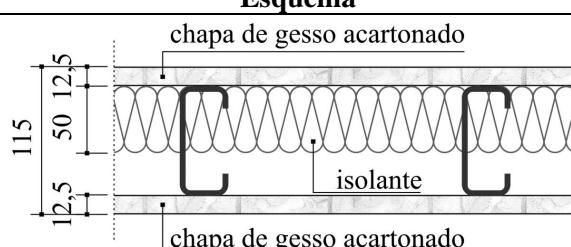
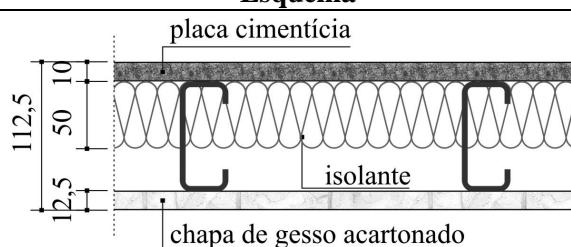
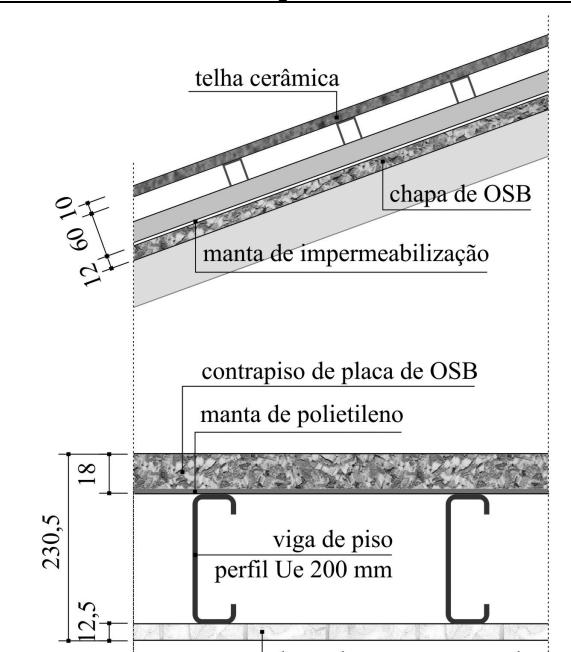
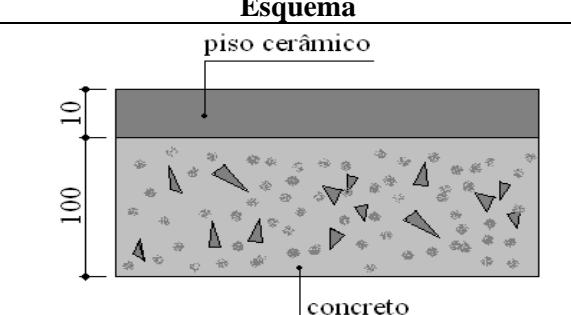


Figura 5 – Corte e perspectiva do modelo.

### 3.2 Sistema de fechamento empregado

O sistema de fechamento empregado na edificação em análise é apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 – Composições dos fechamentos e cobertura**

| <b>Fechamento Interno</b>                   | <b>Esquema</b>   |
|---|--|
| Atraso Térmico: 3,23h<br>Amortecimento: 57% |    |
| <b>Fechamento Externo</b>                   | <b>Esquema</b>   |
| Atraso Térmico: 3,20h<br>Amortecimento: 57% |    |
| <b>Laje e Cobertura</b>                     | <b>Esquema</b>   |
| Atraso Térmico: 4,28h<br>Amortecimento: 67% |  |
| <b>Piso</b>                                 | <b>Esquema</b>   |
| Atraso Térmico: 2,59h                       |  |

### 3.3 Parâmetros da simulação numérica

O estudo foi realizado via simulação numérica utilizando o programa *EnergyPlus* (CRAWLEY *et al.*, 2000). Simula-se para um dia típico de verão considerando o clima da cidade de Belo Horizonte. Todos os ambientes foram simulados adotando-se a condição de ventilação natural com 4 renovações de ar por hora, com as pessoas (4 pessoas) utilizando roupas com resistência térmica de 1,0 clo, taxa de liberação calor de 131 W por pessoa, com uma ocupação de 100 % no período da noite e de 50 % no período diurno. Como outras fontes internas de calor incluiu-se ainda a iluminação artificial, no período das 18 h às 22h, com uma potência dissipada de 10 W/m<sup>2</sup>; e outros ganhos de equipamentos somando mais 410 W, com uma média de utilização diária de 60 minutos. Considera-se uma temperatura média do solo de 21<sup>0</sup>C, correspondente à região climática considerada.

### 3.4 Exigências de conforto térmico

As respostas humanas às condições térmicas em ambientes ventilados naturalmente, dependem além das condições climáticas externas, da aclimatação com o ambiente, da adaptação na vestimenta, da disponibilidade de controle de entrada de ar e de mudanças nas expectativas dos ocupantes. A Norma ASHRAE 55: 2004 apresenta um método adaptativo para os espaços ventilados naturalmente, aqueles onde as condições térmicas do ambiente podem ser reguladas basicamente pelos ocupantes por meio da ação de abrir e fechar janelas. Trata-se de um método para determinar a aceitabilidade às condições térmicas de conforto desses espaços considerando que os usuários possam regular o fluxo de ar no interior do ambiente por meio do ajuste da abertura das janelas.

As exigências humanas quanto ao conforto térmico são caracterizadas por valores, ou intervalos de valores inter-relacionados da temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e temperatura radiante média do ambiente. Segundo o método de conforto adaptativo sugerido pela Norma ASHRAE 55: 2004, a temperatura operativa interna ideal pode ser relacionada com a temperatura externa pela expressão,

$$T_o = 0,31\bar{T}_e + 17,8 \quad (1)$$

onde  $\bar{T}_e$  é temperatura externa média e  $T_o$  é a temperatura operativa interna ideal, quando  $\bar{T}_e$  varia na faixa de 10<sup>0</sup>C a 35<sup>0</sup>C. Considerando que a temperatura do ar ambiente seja igual a temperatura radiante média, e admitindo um limite de aceitabilidade, em relação às condições térmicas de conforto, de 80 %, ou seja, um índice de 20 % de insatisfeitos, obtém-se para o caso de Belo Horizonte uma temperatura operativa interna máxima de 29,8 <sup>0</sup>C, calculada em função da temperatura média mensal para um ano climático típico (DE DEAR; BRAGER, 2001, 2002; VAN DER LINDEN *et al.*, 2006).

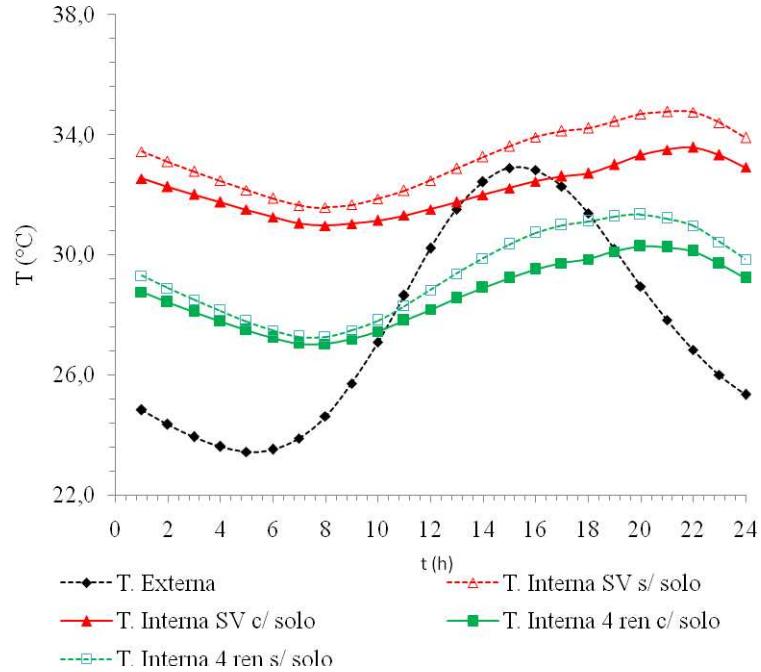
## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A interferência do solo ocorre para algumas paredes localizadas no primeiro pavimento, principalmente aquelas voltadas para a fachada sul (Figura 5). Os resultados obtidos para um dia típico de verão, considerando-se as configurações de fechamentos propostas na Tabela 1, são apresentados nas Figuras 6 a 9, para a zona 6 (Figura 3) localizada no primeiro pavimento.

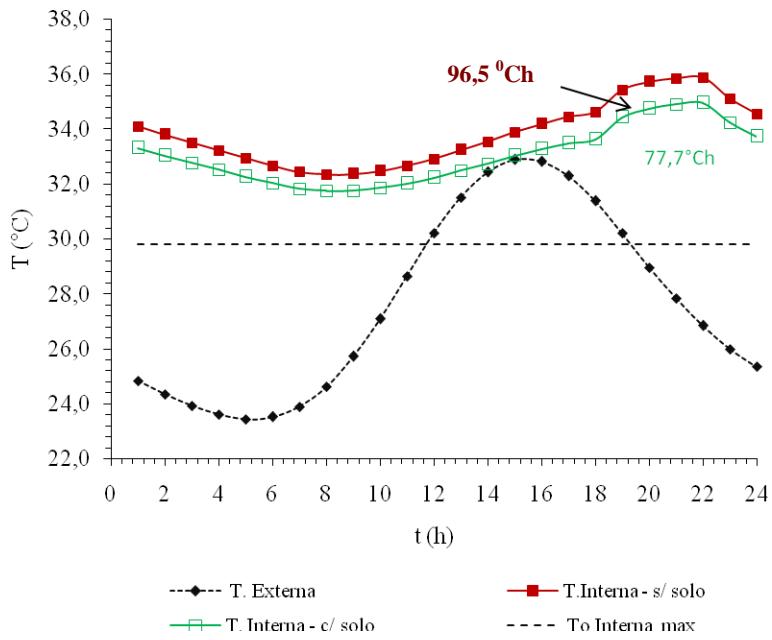
Na Figura 6 apresenta-se o valor da temperatura superficial interna da parede (zona 6) em contato com o terreno, considerando-se o ambiente ventilado, com uma taxa constante de 4 ren/h e também não ventilado. Observa-se que o contato do terreno com o fechamento externo diminui a temperatura superficial, apresentando uma influência mais acentuada para o caso da configuração com ambiente não ventilado.

Os níveis de desconforto térmico interno são quantificados em função do número de graus-hora (<sup>0</sup>Ch) necessários para o resfriamento do ambiente, calculando-se o nível diário (somatório dos níveis ocorridos ao longo do dia) de graus-hora necessários para o resfriamento do ambiente, que representa a diferença da temperatura resultante com a temperatura operativa interna máxima estabelecida pela

equação (1). Nas Figuras 7 e 8 apresenta-se o valor da temperatura interna e o período no qual a mesma fica acima da temperatura operativa interna máxima, e os graus-hora resultantes necessários para o resfriamento do ambiente, em cada configuração, ou seja, não ventilado ou ventilado com 4 renovações por hora.

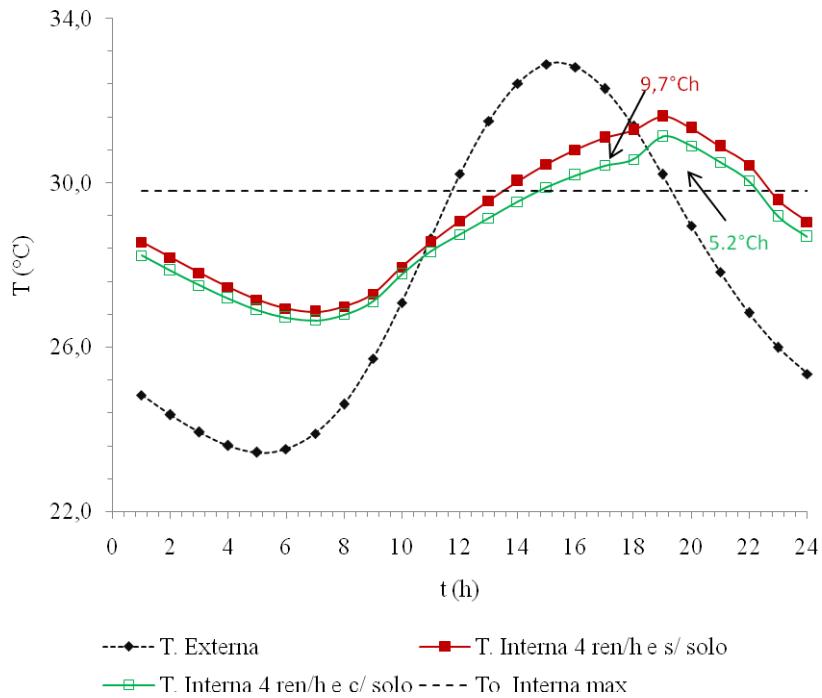


**Figura 6** – Evolução temporal da temperatura da superfície localizada na fachada (zona 6) em contato com o terreno.



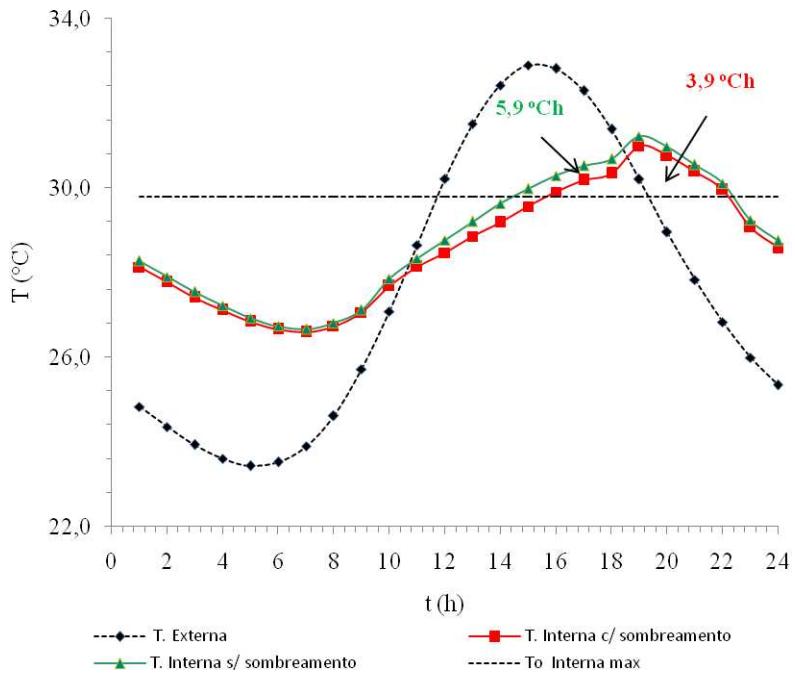
**Figura 7** – Evolução temporal da temperatura interna, zona 6, ambiente não ventilado.

Observa-se que o efeito da inércia térmica é mais acentuado no caso de ambiente não ventilado, conforme indicado pelos resultados mostrados na figura 6. No entanto, em função das condições climáticas, ou seja, clima úmido, com amplitude térmica abaixo de  $10^{\circ}\text{C}$ , somente quando associado à ventilação natural obtém-se um melhor desempenho térmico da edificação reduzindo o número de graus-hora necessários para o resfriamento do ambiente de  $77,7^{\circ}\text{Ch}$  para  $5,2^{\circ}\text{Ch}$  (Figura 8).



**Figura 8** – Evolução temporal da temperatura interna, zona 6, ventilação constante com 4 renovações por hora.

Na Figura 9 apresenta-se o valor da temperatura interna e o período no qual a mesma fica acima da temperatura operativa interna máxima, e os graus-hora resultantes necessários para o resfriamento do ambiente, considerando sombreamento nas fachadas norte e noroeste. Como elemento de sombreamento utiliza-se *brise* horizontal acima das aberturas localizadas no segundo pavimento, Figura 5.



**Figura 9** – Evolução temporal da temperatura interna, zona 6, ventilada.

Observa-se pelos resultados mostrados que o sombreamento ameniza o clima interno nas horas de maior insolação. Desse modo quando o sombreamento é associado à inércia térmica e à ventilação natural, ocorre uma melhora no desempenho térmico do envelope da edificação constituindo-se numa estratégia positiva para as condições de clima quente e úmido, principalmente.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No Brasil a utilização na construção civil de estruturas metálicas compostas por perfis formados a frio de aço galvanizado está em fase de rápido crescimento, devido às vantagens que o emprego destes perfis oferece. Uma das soluções construtivas que empregam os perfis formados a frio de aço galvanizado é o sistema *Light Steel Framing* e surge como uma alternativa, devido à facilidade de execução e obtenção dos seus elementos constituintes. Trata-se de um sistema que reproduz os princípios da industrialização da construção civil, como a racionalização, padronização, coordenação modular e transformação do canteiro de obras em linha de montagem; além de apresentar relativa redução de custos.

Esse sistema também representa uma tecnologia limpa, porque minimiza o uso de recursos naturais e de entulho e permite uma construção a seco, unindo diversos sistemas ou produtos industrializados compatíveis entre si. Assim, essa nova tecnologia tem se mostrado uma grande alternativa para construções habitacionais de médio e alto padrão, que demandam pouca carga e pequenos vãos.

Neste trabalho apresentou-se um estudo de caso de uma edificação em *Light Steel Framing* de alto padrão para Belo Horizonte – MG e observou-se que a influência da inércia térmica do solo somente se torna positiva quando associada às estratégias de ventilação natural e de sombreamento.

No caso de edificações, com ocupação predominante diurna, o uso de fechamentos com elevada massa térmica ameniza os picos diários de temperatura, sendo recomendado, já que o calor armazenado durante o dia é liberado a noite, quando não há ocupação. No entanto, o uso de fechamento com massa térmica elevada pode não ser adequado se não estiver associado com outra estratégia.

## 6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal environmental conditions for human occupancy.** ANSY/ASHRAE 55:2004. Atlanta, 2004. 26p.

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

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

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment, **Int. J. Biometeorol.** n. 45, p.100-108, 2001.

DE DEAR, R. J.; BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. Elsevier Science, **Energy and Buildings**, n. 34, p.549-561, 2002.

FRECHETTE, L. A. **Building smarter with alternative materials.** 1999. Disponível em: <<http://www.build-smarter.com>>. Acesso em 15 out. 2004.

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. **Passive and low energy cooling of buildings.** Nova Iorque, Van Nostrand Reinhold, 1994.

GOMES, A. P.; SOUZA, H. A. Edificações residenciais em Light Steel Framing no Brasil. In: Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural. 2008, Santiago, Chile, **Anais das XXXIII Jornadas Sudamericanas de Ingenieria Estructural.** Santiago-Chile: Universidad Central, v. p. 1-10.

JANSSEN, H.; CARMELIET, J.; HENS, H. The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground. **Building and Environment**, n. 39. p. 825-836, 2004.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P.; CARLO, J. C. Desempenho térmico de edificações. **Apostila** LabEEE, Universidade Federal de Santa Catarina, 3<sup>a</sup> Edição, Florianópolis, SC, 2005.

PAPST, A. L. **Uso de inérica térmica no clima subtropical. Estudo de caso em Florianópolis – SC.** 1999. 165 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)- Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 1999.

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

SZOKOLAY, S.V. Thermal Design of Houses for warm-humid climates. In: **Building & Urban Renewal. Proceedings.** Louvain-la-Neuve, PLEA, 1996. p. 337-342.

VAN DER LINDEN, A. C. ; BOESTRA, A. C.; RAUE, A. K.; KURVERS, S. R.; DE DEAR, R. J. Adaptive temperature limits: A new guideline in the Netherlands a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. **Energy and Buildings**, n. 38, p. 8-17, 2006.

## 7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a FAPEMIG e Fundação Gorceix pelo apoio.