

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAMING*

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

(1) Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – área de Construção Metálica

e-mail: agomes_arq@yahoo.com.br

(2) Universidade Federal de Ouro Preto - Escola de Minas / Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – área de Construção Metálica

e-mail: henor@ufop.br

RESUMO

Associadas à industrialização do processo construtivo no Brasil, têm sido desenvolvidas estruturas metálicas mais leves e econômicas, utilizando perfis formados a frio de aço galvanizado. Uma das soluções construtivas que empregam esses perfis é o sistema *Light Steel Framing*, 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. Porém, como a tecnologia do *Light Steel Framing* é recente no Brasil, 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. Tendo em vista esses aspectos, neste trabalho avalia-se uma edificação em *Light Steel Framing*, ventilada naturalmente, por meio de um *software* de simulação do comportamento térmico (*EnergyPlus*). 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. Os resultados obtidos permitem constatar que para todos os casos, o uso dos fechamentos e cobertura com atraso térmico indicados pela norma NBR 15220:2005 de desempenho térmico de edificações foram capazes de amortecer os picos de calor num dia típico de verão.

ABSTRACT

The metallic structures are associated to industrialization of the constructive process in Brazil and have been developed lighter and more economic, using cold formed shapes with galvanized steel. One of the constructive solutions that use these shapes is the *Light Steel Framing* system that reproduces the principles of industrialization in the civil construction, as the rationalization, standardization, modular coordination and transformation of construction site in assembly line. However, as *Light Steel Framing* technology is recent in Brazil, there are still some climatic adaptations of projects to be done, because the conception's system is imported and with a typical language of its native country. By looking at these aspects, in this work a construction in *Light Steel Framing* is evaluated, naturally ventilated by thermal behavior simulation software (*EnergyPlus*). A study of internal temperatures of environments is developed considering the global response of the construction and verifying the accomplishment of the requirements for thermal comfort of its users. The results allow us to evidence that for all cases, the use of enclosures and covering with thermal delay indicated by norm NBR 15220:2005 for thermal performance of constructions has been capable of cushion the heat peaks in typical day of summer.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a construção metálica vem se consolidando como uma forte alternativa tecnológica no cenário da construção civil brasileira. A estrutura metálica tem sido cada vez mais utilizada em edifícios de múltiplos andares no Brasil e, em particular, em habitações residenciais. Associadas à industrialização do processo construtivo, têm sido desenvolvidas estruturas metálicas mais leves e econômicas, utilizando perfis formados a frio de aço galvanizado. Segundo Crasto (2005), no Brasil a utilização na construção civil de estruturas metálicas compostas por perfis formados a frio está em fase de rápido crescimento, devido às vantagens que o emprego destes perfis oferece como facilidade de montagem, manuseio e transporte devido à leveza dos elementos.

Uma das soluções construtivas que empregam os perfis formados a frio de aço galvanizado é o sistema *Light Steel Framing*, que tem despertado grande interesse no mercado nacional. 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. O *Light Steel Framing* surge como uma alternativa, devido à facilidade de execução e obtenção dos seus elementos constituintes, e por ser uma tecnologia já amplamente empregada em países como Estados Unidos, Inglaterra, Japão, Canadá e Austrália. 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.

Sob um ponto de vista mais amplo, 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. Mesmo em condições climáticas muito rígidas, devem-se procurar soluções de projeto que maximizem o desempenho térmico natural, visto que se pode evitar ou reduzir os sistemas de condicionamento artificial de ar, otimizando o consumo de energia na edificação.

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.

O objetivo deste trabalho é avaliar uma edificação em *Light Steel Framing*, ventilada naturalmente, por meio de um software de simulação do comportamento térmico (*EnergyPlus*), para a região metropolitana de Belo Horizonte. 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. A pesquisa relacionada à avaliação do desempenho térmico de habitações em *Light Steel Framing* é um assunto de grande importância para a ampliação e consolidação desse sistema construtivo no contexto brasileiro. Os resultados permitem o estabelecimento de tipos de fechamentos verticais que garantam conforto térmico nas edificações da região de interesse, oferecendo uma alternativa consistente aos sistemas construtivos comumente utilizados em habitações unifamiliares.

2. EDIFICAÇÕES EM *LIGHT STEEL FRAMING*

2.1. O Sistema *Light Steel Framing*

O sistema construtivo *Light Steel Framing* 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 (FIG. 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 (CRASTO, 2005).

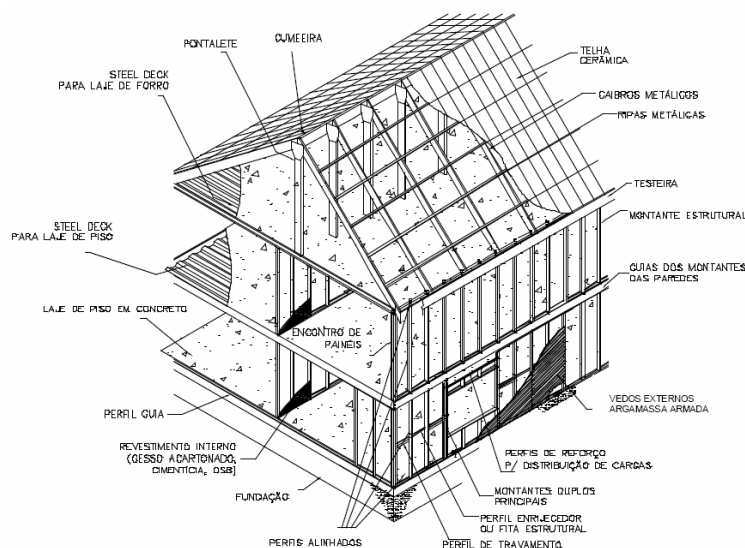


FIGURA 1 – Modelo esquemático do sistema *Light Steel Framing*. Fonte: CEF, 2003, p. 7.

2.2. O Fechamento Vertical no Sistema *Light Steel Framing*

O fechamento vertical influencia significativamente na racionalização da produção de edifícios com estrutura metálica. A introdução de novas tecnologias nessa área, como novos materiais, componentes e sistemas construtivos propiciam aumento do desempenho da edificação como um todo, além de criar condições de segurança e habitabilidade aos usuários. Maior organização e limpeza no canteiro de obras, redução do prazo de execução, facilidade de introdução de isolamentos e precisão dimensional são algumas das vantagens da utilização do sistema de fechamento vertical industrializado.

No *Light Steel Framing*, os fechamentos internos e externos da edificação são formados por seus componentes, posicionados externamente à estrutura, e pelos perfis galvanizados. 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.

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

i) Painéis de OSB

Os painéis de OSB são constituídos por tiras de madeira de reflorestamento orientadas em três camadas perpendiculares, unidas com resinas e prensadas sob alta temperatura. O OSB é utilizado como fechamento da face interna e externa dos painéis, em forros, pisos e como substrato para cobertura do telhado. Segundo Crasto (2005), devem-se prever juntas de dilatação entre as placas de fechamento externo e proteção contra a umidade e a água por meio de uma manta ou membrana de

polietileno de alta densidade (Tyvek), que reveste toda a área externa das placas. Esta manta garante a estanqueidade das paredes e evita a condensação no interior dos painéis, permitindo a passagem da umidade da parte interna do fechamento para o exterior. Para o acabamento final podem ser adotados o *siding* vinílico, de madeira ou cimentício e a argamassa.

ii) Placas cimentícias

As placas cimentícias são utilizadas principalmente em áreas molhadas ou expostas a intempéries, mas podem constituir fechamentos externos e internos. Essas placas são compostas basicamente por uma mistura de cimento Portland, fibras de celulose ou sintéticas e agregados. Os acabamentos como pintura ou revestimentos podem ser aplicados diretamente sobre as placas cimentícias.

iii) Chapas de gesso acartonado

As chapas de gesso acartonado são aplicadas no sistema *Light Steel Framing* como fechamento vertical da face interna dos painéis estruturais e não-estruturais externos da edificação, e também como fechamento interno. As chapas de gesso acartonado são fabricadas industrialmente por meio de um processo de laminação contínua de uma mistura de gesso, água e aditivos entre duas lâminas de cartão. A configuração das chapas combina a resistência à compressão do gesso com a resistência à tração do cartão. No mercado nacional são disponibilizados três tipos de chapas conforme a aplicação: Placa Standard (ST) para aplicação em áreas secas; Placa Resistente à Umidade (RU), conhecida como placa verde, para paredes destinadas a ambientes sujeitos à ação da umidade e Placa Resistente ao Fogo (RF), conhecida como placa rosa, para aplicação em áreas secas que necessitem de um maior desempenho em relação ao fogo.

3. DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

3.1. Simulação Numérica de Edificações Ventiladas Naturalmente

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) e também as interações térmicas entre ambiente interno e externo.

3.2. O Programa *EnergyPlus*

O programa computacional *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.

O *EnergyPlus* possibilita grande flexibilidade nas simulações e maior precisão na simulação de ambientes condicionados naturalmente. A modelagem matemática empregada no *EnergyPlus* utiliza o menor número de hipóteses simplificadoras entre todos os *softwares* disponíveis, implicando na melhor representação física das trocas térmicas no interior dos ambientes em modelos de simulação detalhada.

3.3. A Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações

Na parte 3 da norma NBR 15220:2005, que trata do zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, é adotada 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.

Foi considerado o tamanho das aberturas para ventilação; a proteção das aberturas; os fechamentos externos e as estratégias de condicionamento térmico passivo. Estas diretrizes construtivas visam à otimização do desempenho térmico das habitações unifamiliares de interesse social (com até três pavimentos) por meio de sua adequação ao clima.

De acordo com o anexo “A” da norma NBR 15220:2005, a cidade de Belo Horizonte está classificada como Zona bioclimática 3. Segundo essa norma, para essa zona deve ser atendida as diretrizes apresentadas nas TAB. 1 a 3.

TABELA 1- Aberturas para ventilação e sombreamento das aberturas para a zona bioclimática 3

Aberturas para ventilação	Médias = 15% < A < 25% A (em % da área de piso em ambientes de longa permanência)
Sombreamento das aberturas	Permitir sol durante o inverno

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 2- Tipos de fechamentos externos para a zona bioclimática 3

Vedações externas		Transmitância térmica (W/m ² .K)	Atraso térmico (h)	Fator solar (%)
Parede	Leve refletora	$U \leq 3,60$	$\phi \leq 4,3$	$FS_o \leq 4,0$
Cobertura (telhado, ático e forro)	Leve isolada	$U \leq 2,00$	$\phi \leq 3,3$	$FS_o \leq 6,5$

Fonte: NBR 15220:2005

TABELA 3 - Estratégias de condicionamento térmico passivo para a zona bioclimática 3

Estação	Estratégias de condicionamento térmico passivo
verão	Ventilação cruzada
Inverno	Aquecimento solar da edificação Vedações internas pesadas (inércia térmica)

Fonte: NBR 15220:2005

4. METODOLOGIA ADOTADA

A avaliação do desempenho térmico de uma edificação, ventilada naturalmente, consiste em verificar se as condições de temperatura do ar interior podem proporcionar sensação de conforto térmico aos usuários. Esta análise é feita considerando a resposta global da edificação em relação às interações térmicas existentes entre o ambiente natural externo e o ambiente construído e não somente o comportamento térmico de elementos de fechamento isoladamente.

As etapas relevantes do processo de avaliação do desempenho térmico de uma edificação, por meio de simulação numérica, abrangem principalmente a caracterização das exigências humanas de conforto térmico, a caracterização das condições típicas de exposição ao clima, a caracterização da edificação e seu perfil de ocupação e também a caracterização do sistema de fechamento vertical, horizontal e cobertura.

Para a determinação do comportamento térmico do modelo utiliza-se o programa computacional de simulação numérica *EnergyPlus*, seguindo as seguintes etapas: Caracterização das condições climáticas; Caracterização da edificação; Caracterização e configuração dos fechamentos; Simulação numérica das interações térmicas entre o ambiente externo e interno; Obtenção do perfil da temperatura do ar interno e Avaliação das condições de conforto térmico interno.

5. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

5.1. Caracterização da Edificação

O projeto arquitetônico do modelo da edificação é baseado em um protótipo residencial em *Light Steel Framing* construído em Indaiatuba, cidade do interior do Estado de São Paulo, que segue as recomendações propostas pela Caixa Econômica Federal para edificações residenciais em *Light Steel Framing*. 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 (FIG. 2).

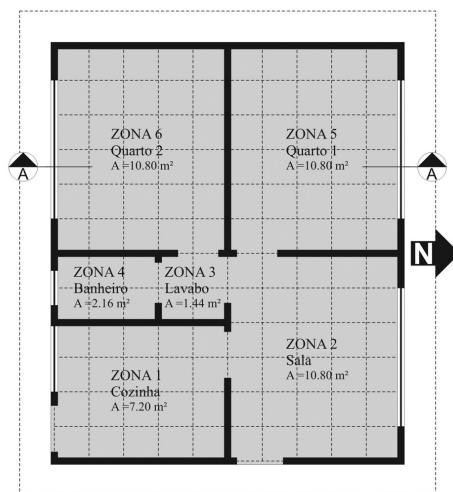


FIGURA 2 – Planta baixa do modelo (malha de 600 x 600 mm).

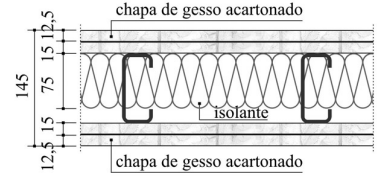
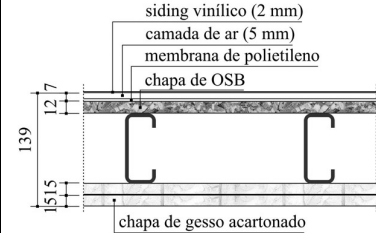
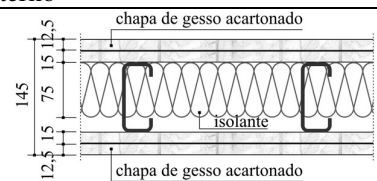
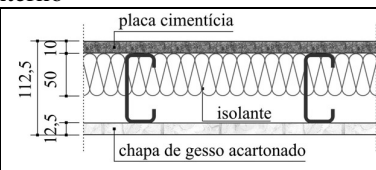
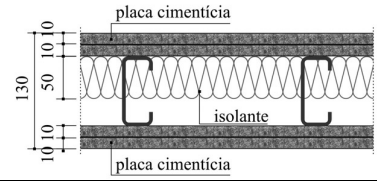
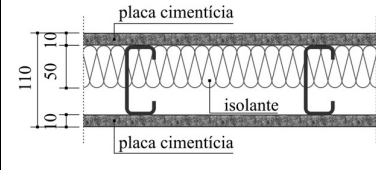
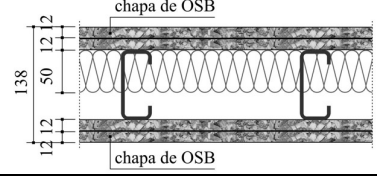
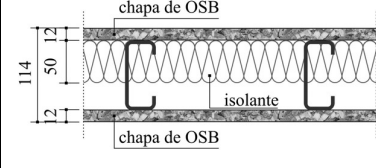
5.2. Configuração dos Fechamentos Analisados

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 ($\varphi = 3,3$ 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 TAB. 4 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 de 600 mm. As cotas apresentadas nas composições dos fechamentos estão em milímetros.

O modelo foi simulado para o dia típico de verão, considerando a cidade de Belo Horizonte. Para a cidade de Belo Horizonte foram montadas quatro configurações de fechamentos (A, B, C e D) de acordo com o atraso térmico recomendado pela norma NBR 15220:2005. Para todos os casos foi considerada a laje com uma placa de OSB de 18 mm, sem material isolante.

TABELA 4 – Composições dos fechamentos analisados

Esquema “A”			
Fechamento interno		Fechamento externo	
Retardamento: 6.81 h Amortecimento: 83 %		Retardamento: 3.18 h Amortecimento: 56 %	
Esquema “B”			
Fechamento interno		Fechamento externo	
Retardamento: 6.81 h Amortecimento: 83 %		Retardamento: 3.20 h Amortecimento: 57 %	
Esquema “C”			
Fechamento interno		Fechamento externo	
Retardamento: 6.67 h Amortecimento: 83 %		Retardamento: 4.04 h Amortecimento: 65 %	
Esquema “D”			
Fechamento interno		Fechamento externo	
Retardamento: 6.87 h Amortecimento: 83 %		Retardamento: 3.98 h Amortecimento: 65 %	

5.3. Rotinas de Ocupação

Por meio do item *Schedule* do programa *EnergyPlus*, define-se a rotina de ocupação ao longo do dia de projeto. 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.

6. RESULTADOS

A abordagem numérica para avaliação de desempenho térmico de edificações, ventiladas naturalmente e/ou condicionadas artificialmente, permite prever o desempenho energético de um projeto arquitetônico e conhecer o comportamento dos elementos construtivos propostos, ainda na fase de estudo preliminar. Em função da complexidade do modelo físico e matemático, que representa as interações térmicas entre o ambiente interno e externo, a solução numérica é uma ferramenta imprescindível.

Embora sejam muitos os programas computacionais de avaliação de desempenho de edificações disponibilizados, a aplicação prática dessas ferramentas tem sido pouco expressiva devido ao tempo necessário para treinamento do usuário (CRAWLEY et al, 2000). Em função da preocupação com a preservação ambiental, esse tipo de ferramenta deveria ser mais usual entre os profissionais da área de construção civil (engenheiros e arquitetos).

Nas FIG. 3, 4, 5 e 6 apresentam-se os resultados obtidos considerando-se as configurações de fechamentos propostas (TAB. 4). Na FIG. 7 apresenta-se a comparação dos resultados obtidos para todas as configurações, considerando um cômodo da edificação.

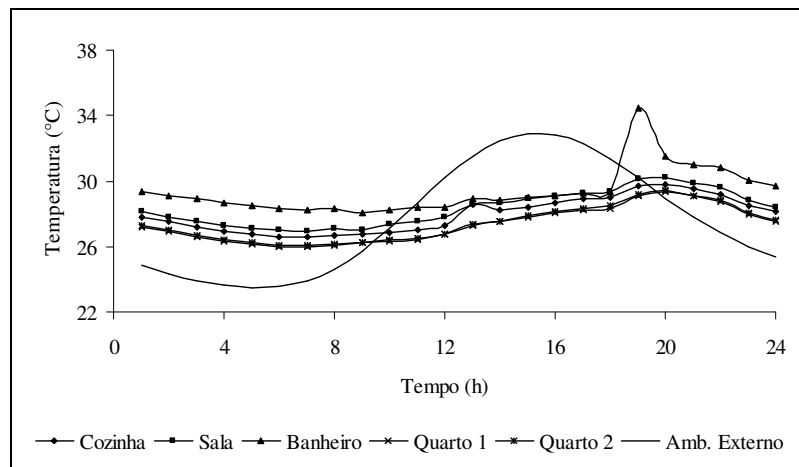


FIGURA 3 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “A”).

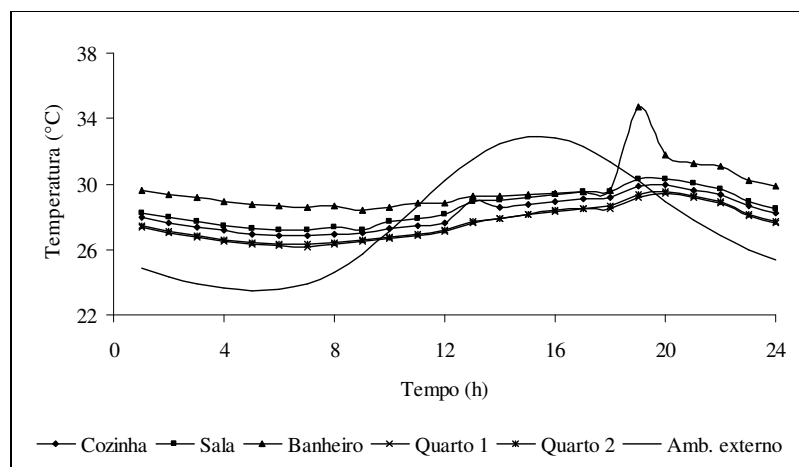


FIGURA 4 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “B”).

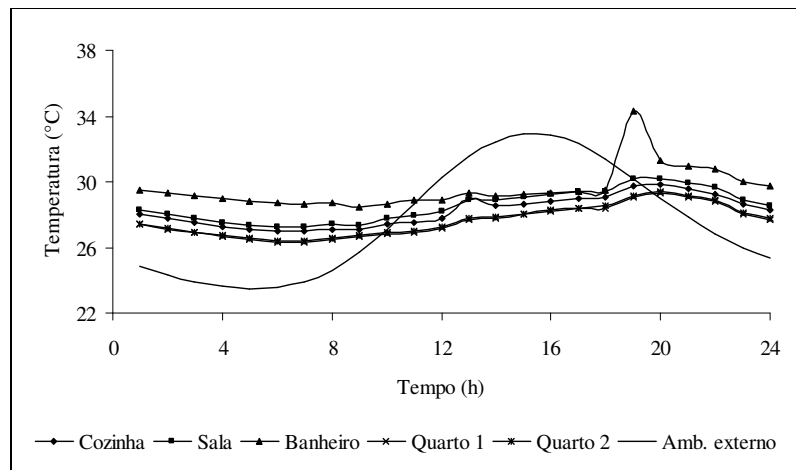


FIGURA 5 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “C”).

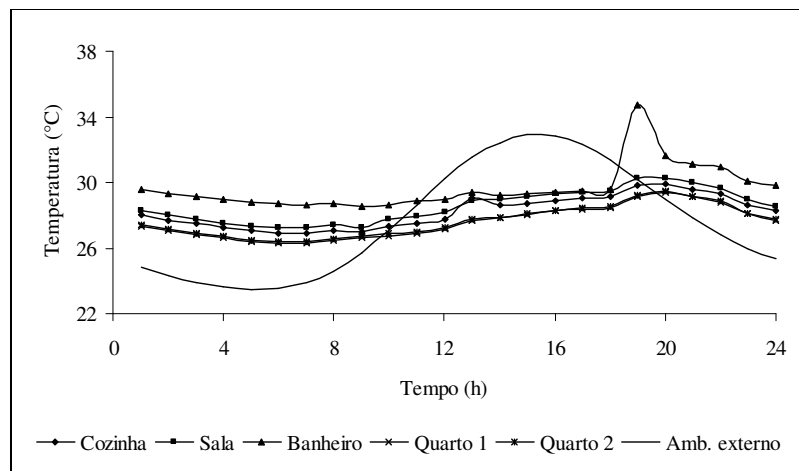


FIGURA 6 – Evolução temporal da temperatura para o dia típico de verão em Belo Horizonte (ESQUEMA “D”).

Considerando o modelo simulado, nos períodos do dia em que a temperatura externa está mais amena, os ambientes de maior permanência como os quartos apresentam temperaturas mais elevadas. Este comportamento ocorre devido à falta de ventilação dos ambientes no horário de 22 às 8 horas (previamente estabelecido nas rotinas de ocupação) e à inércia térmica da edificação, FIG 3, 4, 5 e 6.

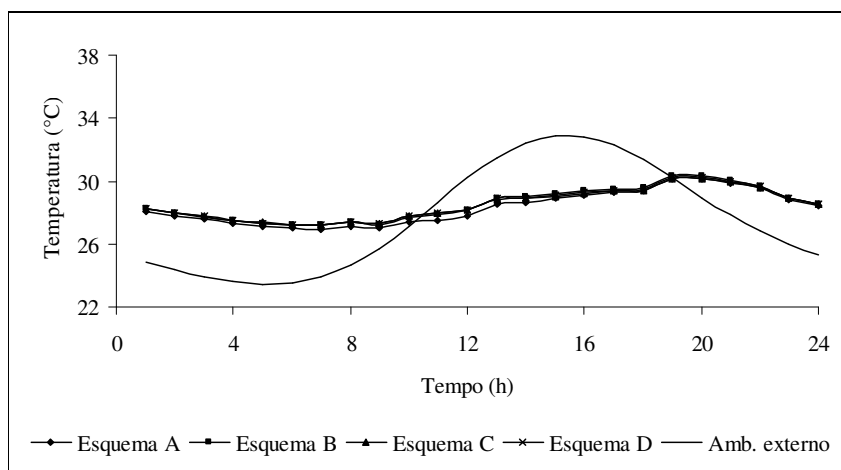


FIGURA 7 – Comparação dos esquemas A, B, C e D considerando a sala para o dia típico de verão em Belo Horizonte.

Observando-se os resultados mostrados na FIG 7, quando se compara os sistemas de fechamentos com atraso térmico indicado pela norma NBR 15220:2005, obtém-se para qualquer configuração de

fechamento adotada (A, B, C ou D), um amortecimento da onda de calor exterior para a condição climática considerada.

7. CONCLUSÕES

A inércia térmica na maioria das vezes exerce uma influência reguladora nas flutuações da temperatura interna, contribuindo com o conforto no ambiente construído. No entanto, nos climas quentes e úmidos é interessante que as construções de uso noturno não tenham uma inércia térmica muito grande, para proporcionar uma maior retirada do calor armazenado pela ventilação noturna.

Analisando-se a temperatura interna, para um mesmo ambiente, considerando-se os diferentes esquemas, pode-se observar que as diferenças das temperaturas internas máximas e mínimas obtidas são pequenas, em torno de 0,5 °C. Observando os resultados, a edificação analisada apresenta um desempenho térmico adequado para região analisada, com temperaturas internas abaixo de 29 °C na maior parte do dia.

No entanto, a escolha entre qualquer um dos sistemas de fechamento deve, além do desempenho térmico, contemplar o custo, a facilidade construtiva, a disponibilidade local do produto e também a estética.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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.

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

LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY (2006). *EnergyPlus Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*. April 20.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à USIMINAS – Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A. pelo apoio.