



DESEMPENHO TÉRMICO DO EDIFÍCIO DA ESCOLA DE MINAS DA UFOP

Rovadávia Aline Jesus Ribas (1); Ivan Rodrigues Vilela (2); Henor Artur de Souza (3)

- (1) Departamento de Engenharia de Civil – Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto/MG – CEP: 35400-000 – e-mail: metálica@em.ufop.br
(2) Departamento de Engenharia Civil - Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto/MG – CEP: 35400-000 – e-mail: ivanrodriguesvilela@yahoo.com.br
(3) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de Construção Metálica, Escola de Minas – Universidade Federal de Ouro Preto – Ouro Preto/MG – CEP: 35400-000 – e-mail: henor@ufop.br

RESUMO

Proposta: O atual edifício da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP), Ouro Preto, MG, foi construído entre 1994 e 1996, para abrigar cursos de engenharia dessa instituição. É uma edificação estruturada em aço com sistema de fechamento externo constituído por sistemas convencionais em alvenaria e em vidro e fechamento interno, parte em alvenaria e parte em painéis industrializados. O objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho térmico dessa edificação. **Método de pesquisa/Abordagens:** A avaliação do desempenho térmico é feita por meio de medições *in loco* e por meio de simulação computacional, considerando-se a sua configuração de sistema de fechamento proposta. **Resultados:** Observa-se pelos resultados obtidos que a edificação responde de forma adequada às interações térmicas com o meio externo e somente em condições atípicas (de calor e/ou frio) haveria necessidade de uma intervenção mecanizada de aquecimento e/ou resfriamento, somente em algumas horas do período. Nesse estudo são propostos outros sistemas de fechamento praticados no mercado, como estratégia arquitetônica alternativa. **Contribuições/Originalidade:** Análises constantes de desempenho térmico de edificações metálicas, com sistemas convencionais de fechamento ou não, ajudam no desenvolvimento de sistemas de fechamento mais eficientes e projetos mais adequados ao clima e seu entorno.

Palavras-chave: Edificação estruturada em aço, Desempenho térmico, Sistemas de fechamento semi e/ou industrializado.

ABSTRACT

Proposal: The School of Mines building of Federal University of Ouro Preto (EM/UFOP), Ouro Preto, MG, was built between 1994 and 1996, to host courses of engineering of that institution. It is a construction structured in steel with wall system externally constituted by conventional systems in masonry and in glass and internally constituted part in masonry and part in industrialized panels. The objective of this work is to evaluate the thermal performance of that construction. **Methods:** The evaluation of the thermal performance is made by means of measurements *in situ* and by means of numerical simulation, considering its original wall system. **Findings:** It is observed by the obtained results that the construction behaves in an appropriate way to the thermal interactions with the external environment and only in atypical conditions there would be need of mechanical intervention of heating and/or cooling and just in some hours of the period. In this study other wall systems are proposed as alternative architectural solutions. **Originality/value:** Constant analyses of thermal performance of metallic constructions help in the development of more efficient wall systems and designs more adapted to the climate.

Keywords: Construction structured in steel, Thermal performance, Wall systems semi and/or industrialized.

1 INTRODUÇÃO

Na construção industrializada, a definição dos sistemas de fechamento constitui uma das etapas mais importantes no processo construtivo. Encontra-se com freqüência a aplicação de sistemas de fechamentos convencionais em alvenaria em edificações em aço, que é contraditório, por se tratar de sistemas que possuem tempos de execução desproporcionais e interfaces construtivas de soluções particulares acarretando patologias nas interfaces.

A adequação do sistema de fechamento externo e interno da edificação e as condições térmicas internas (temperatura e umidade do ar) influenciam diretamente no conforto e segurança que ela oferece a seus usuários. Esse conforto também está associado às condições internas de iluminação e à transmissão de ruídos e influencia no desempenho global dessa edificação. Também contribui para o desempenho global um projeto arquitetônico que aproveita, de forma eficiente, as condições climáticas locais, associando-as à finalidade da edificação, amenizando o consumo de energia, garantindo ventilação e iluminação naturais adequadas, que, além de economia, trazem bem-estar e saúde ao usuário.

A temperatura interna de um edifício é primordialmente influenciada pelos parâmetros climáticos externos, representados pela radiação solar e temperatura externa, além das cargas internas, ou seja, pelas atividades humanas, lâmpadas e equipamentos (perfil de ocupação). Medições *in loco* e simulações computacionais das interações térmicas entre o ambiente construído e as condições climáticas externas são métodos de análise de desempenho térmico, que podem possibilitar a melhoria na utilização de uma edificação habitada, além de contribuir para o projeto de outras construções.

Como o clima varia de região para região, não sendo possível padronizar soluções, faz-se necessário avaliar edificações habitadas visando caracterizar seu desempenho ambiental. Avaliações pós-construção em estudos de caso podem servir como informação retro-alimentadora para promover o desenvolvimento de sistemas de fechamento em construções estruturadas em aço (BASTOS e SOUZA, 2005).

2 OBJETIVO

O presente trabalho tem com objetivo avaliar o desempenho térmico do edifício da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto-MG (EM/UFOP), investigando-se o sistema de fechamento utilizado nessa edificação que é estruturada em aço com sistema de fechamento externo constituído por sistemas convencionais (alvenaria e vidro).

3 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

O atual edifício da EM/UFOP foi construído no campus Morro do Cruzeiro, na cidade de Ouro Preto-MG, fora dos limites do centro histórico desse município tombado como Patrimônio Cultural da Humanidade pela Unesco. A EM/UFOP abriga os cursos de engenharia dessa instituição, em substituição ao antigo Palácio do Governo de Minas Gerais situado na Praça Tiradentes, que abrigava a Escola de Minas desde 1897, quando houve a mudança da capital de Estado para Belo Horizonte. É uma edificação estruturada em aço, que teve sua obra iniciada no final do ano de 1994, sendo inaugurado em julho de 1996. A estrutura metálica possibilitou esse período de construção relativamente rápido da edificação de dois pavimentos, cuja área construída é de 7.310 m².

Na Figura 1, apresenta-se a planta baixa da edificação, onde estão instaladas salas da diretoria da unidade, salas de professores e de pós-graduandos, laboratórios de computação e secretarias em um primeiro bloco. No segundo bloco, encontram-se salas de aula e biblioteca.

A distribuição e concepção dos espaços de seu projeto seguem dois elementos que lhe emprestam funcionalidade e simplicidade: os “pátios centrais”, ao redor dos quais os volumes e aberturas estão dispostos e um “eixo de simetria central”, a partir do qual são desenvolvidos os percursos e a setorização espacial (OLIVEIRA *et al.*, 1996). A fachada principal aponta para o leste e o eixo de simetria se orienta de leste a oeste permitindo boa disposição ambiental de luz e ventilação para as salas de aula e de estudos, cujas aberturas ficam orientadas para norte e sul. Os pátios contribuem com a ventilação e a iluminação naturais no interior e proporcionam áreas de convívio (Figuras 2 e 3).

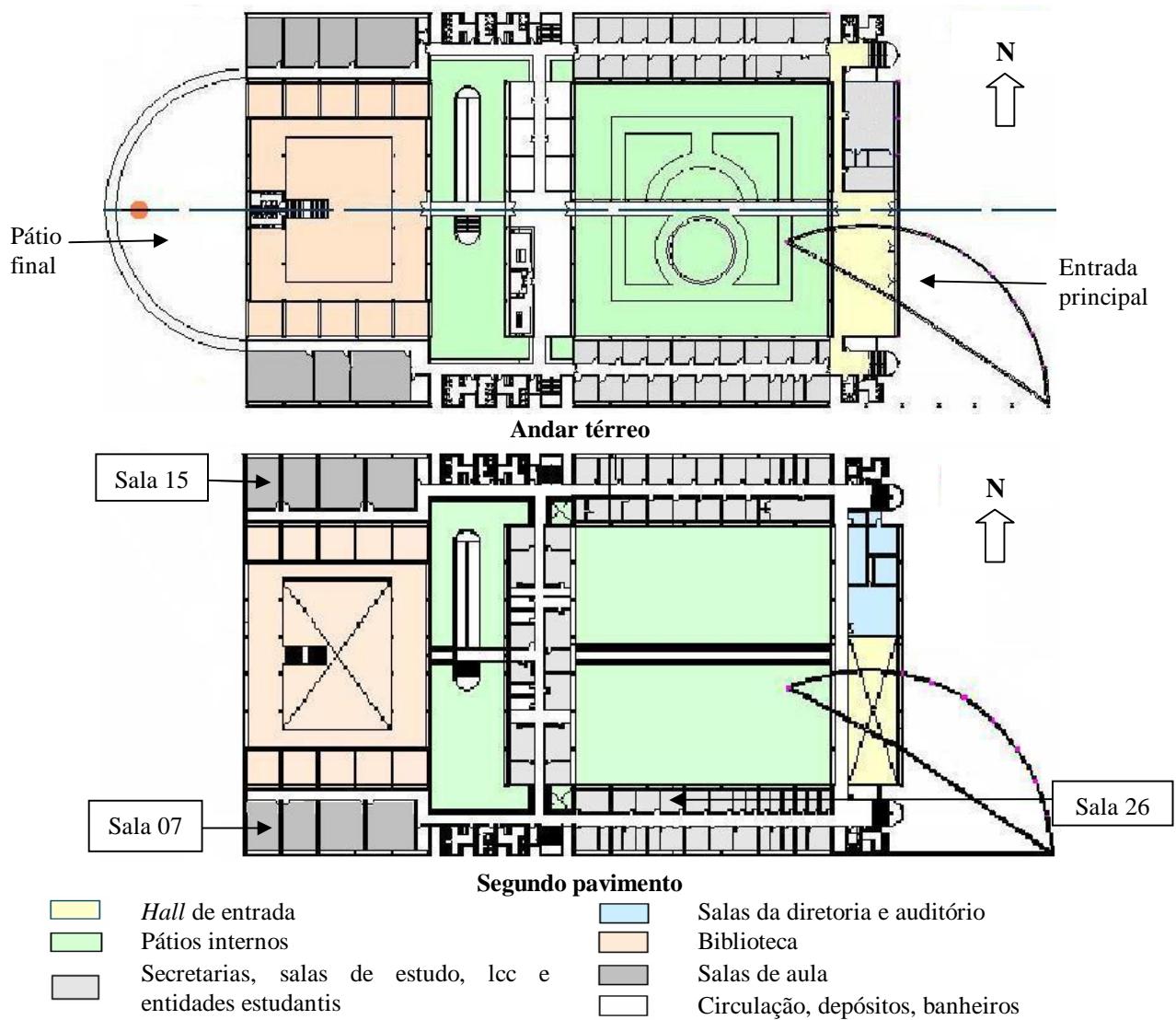


Figura 1 – Planta baixa esquemática da edificação - Fonte: RIBAS e SOUZA, 2007

O fechamento externo, no primeiro pavimento, é em alvenaria (tijolo laminado a vista por fora e revestimento em reboco por dentro) até meia altura e vidro no restante da parede. No segundo pavimento, o fechamento externo é todo feito em esquadria metálica e vidro (Figuras 3 e 4).

O fechamento interno, no primeiro bloco, devido à necessidade de flexibilização e adaptação da área administrativa conforme o uso, é constituído por material industrializado. São utilizadas divisórias de fácil instalação e manutenção, cujos painéis são compostos por duas chapas duras de fibras de eucalipto prensadas com acabamento em resina melamínica de baixa pressão, intermediadas por uma camada de papelão em forma de colméia, sendo a espessura dos painéis de 35 mm (Figura 5). No segundo bloco, onde estão as salas de aula, o fechamento interno é constituído por paredes de tijolo furado rebocado com argamassa nas duas faces (RIBAS *et al.*, 2006).

Janelas do tipo máximo ar ocupam toda a largura das paredes e sua modulação marca a fachada principal e as laterais da edificação proporcionando iluminação e ventilação naturais (Figuras 3 e 4).

O piso interno é em agregado cimentício de alta resistência, polido e escurecido, enquanto que os pátios internos e os arredores do prédio são gramados. A cobertura é em laje maciça e telhas de aço zincadas pré-pintadas, em uma parte, e telhas de fibra de vidro, em outra. Forro em PVC reveste a laje maciça dos dois pavimentos, existindo entre o forro e a laje um espaço de aproximadamente 0,40 m.

O aço empregado na estrutura é o USI-SAC-41, atualmente denominado de USI SAC 300, da empresa Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S.A. – USIMINAS, que possui propriedades anti-corrosivas, boa resistência mecânica (limite de escoamento de 300 MPa e limite de ruptura entre 400 a 550 MPa), boa soldabilidade, conformabilidade e tenacidade, além de ótima aderência da pintura.



Figura 2 – Fachada principal



Figura 3 – Pátio interno

A estrutura em aço é afastada do fechamento de vidro de aproximadamente 0,40 m, formando um beiral na edificação (Figura 4), e é composta, principalmente, por perfis soldados de seção transversal H, para os pilares, e de seção transversal I e H para as vigas, cujas chapas possuem espessuras variando de 4,75 a 16,00 mm.



Figura 4 – Fechamento externo



Figura 5 – Fechamento interno

4 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA EDIFICAÇÃO

4.1 Metodologia Adotada

O desempenho térmico é avaliado em função do perfil da temperatura e umidade internas. É realizada uma avaliação da resposta global do projeto arquitetônico proposto, observando-se as exigências humanas de conforto térmico, as condições climáticas e a caracterização da edificação e de sua ocupação. Utilizam-se duas abordagens: medições *in loco* e simulações computacionais.

4.2 Medições *in loco*

São realizadas medições internas e externas da temperatura e umidade relativa do ar, simultaneamente. Para as medições internas, *in loco*, utiliza-se um sistema de aquisição de dados com *data logger* e sensores para a medição de umidade e temperatura do ar. Os sensores são fixados em um suporte, em posições determinadas, seguindo recomendação da norma ISO 7726:1985 e que correspondem às alturas da cabeça, do abdome e do calcâncar de uma pessoa. Para as medições externas, utilizam-se sensor de silício para medição da temperatura, e sensor capacitivo para medição da umidade, conectados a um microcomputador (AHLBORN, 2003).

Essas medições são realizadas em três salas (salas 07, 15 e 26) localizadas no segundo pavimento em posições distintas dentro da edificação, em fachadas que recebem bastante insolação (Figura 1). As salas 07 e 15 possuem fechamento externo em painéis de esquadria e vidro e interno em alvenaria de tijolo cerâmico revestido com argamassa, com espessura de 15 cm, e suas janelas estão orientadas para o sul e para norte, respectivamente. A sala 26 possui fechamento externo em esquadria e painel de vidro e interno em painel de divisória e suas janelas estão orientadas para o norte.

As medições são feitas em meses correspondentes ao período de verão e de inverno, em geral, para três dias, procurando-se observar a seqüência de dias homogêneos, ou seja, com valores máximos diários e mínimos diários da mesma ordem de grandeza. Os resultados obtidos são mostrados nas Figuras 7 a 12. Observa-se que somente em duas medições não são mostrados os valores referentes a três dias

consecutivos, ou seja, para a sala 15, são apresentados os resultados referentes ao dia 26/01/2006 apenas (Figura 7), e, para a sala 07, são apresentados os resultados referentes aos dias 28 e 29/01/2006 (Figura 9).

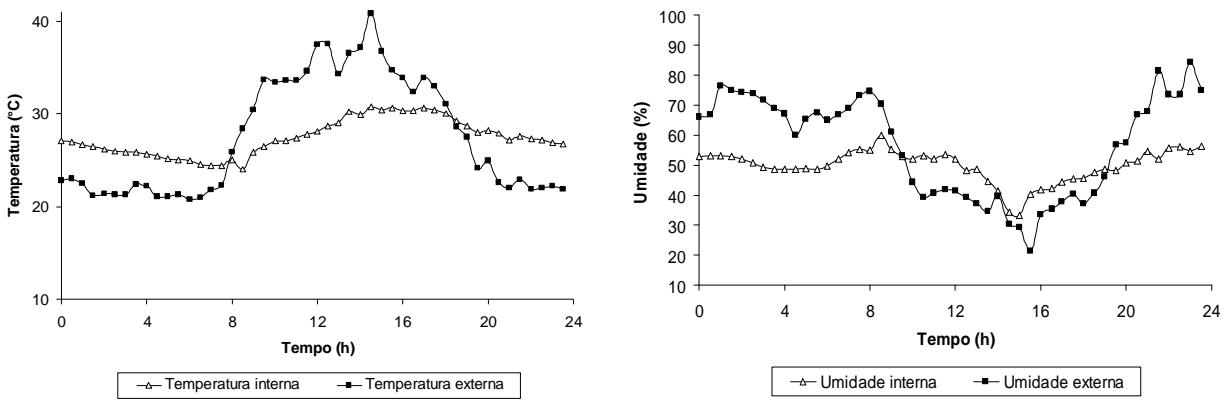


Figura 7 – Temperatura e umidade interna e externa, sala 15, 26/01/2006

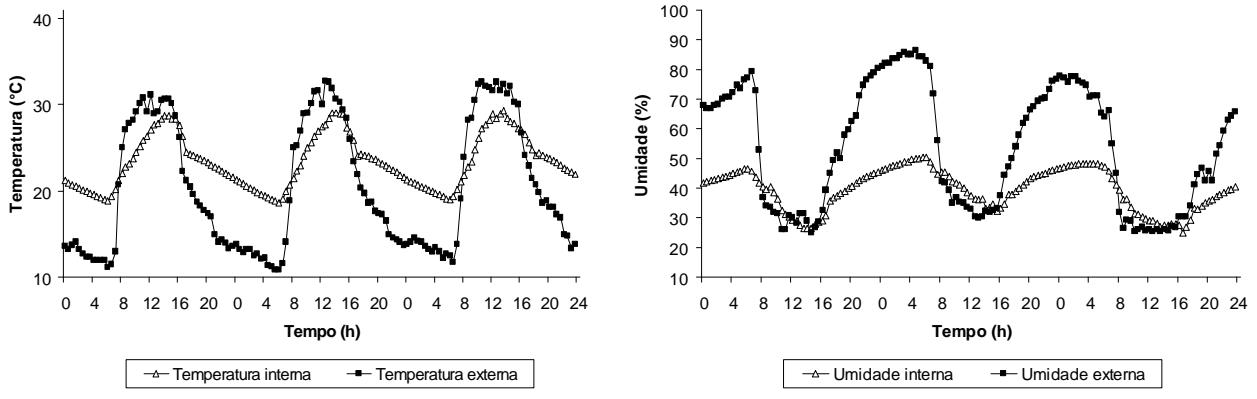


Figura 8 – Temperatura e umidade interna e externa, sala 15, de 25 a 27/07/2006

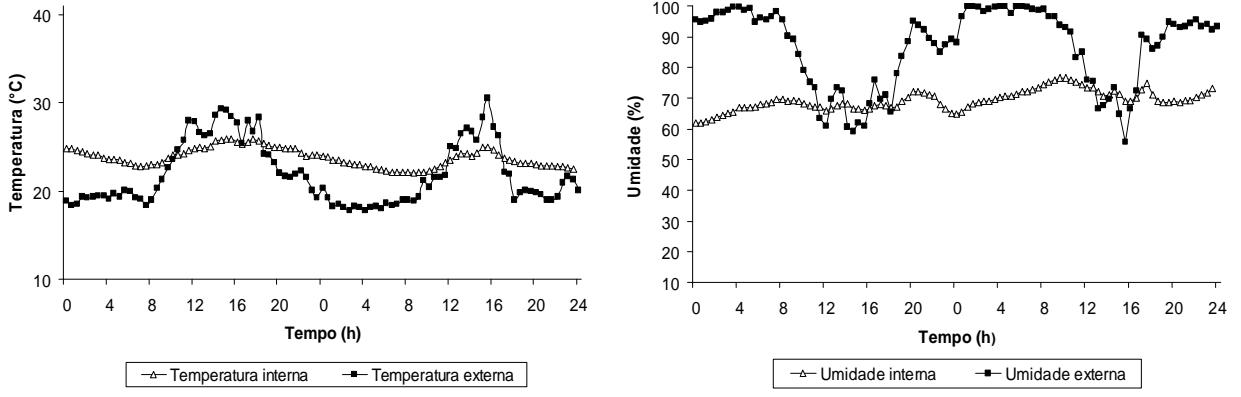


Figura 9 – Temperatura e umidade interna e externa, sala 07, de 28 a 29/01/2006

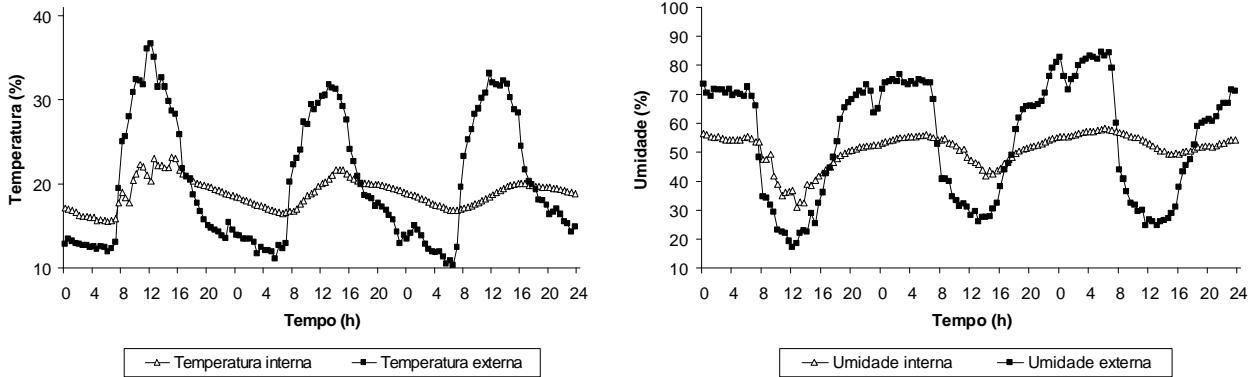


Figura 10 – Temperatura e umidade interna e externa, sala 07, de 20 a 22/07/2006

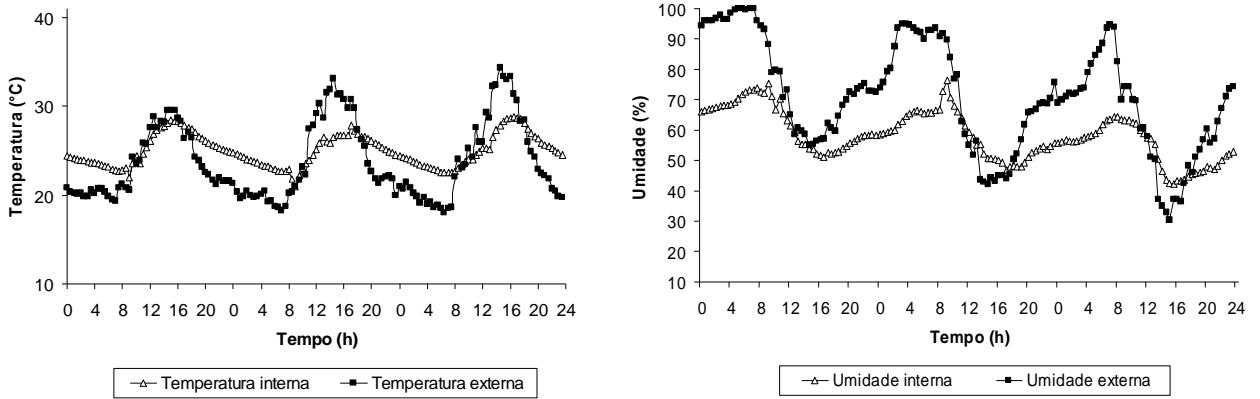


Figura 11 – Temperatura e umidade interna e externa, sala 26, de 02 a 04/02/2006

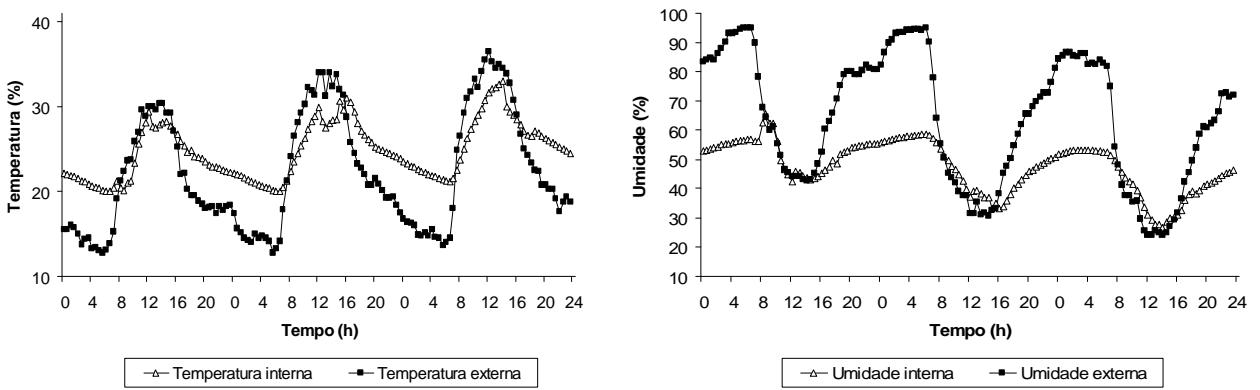


Figura 12 – Temperatura e umidade interna e externa, sala 26, de 15 a 17/08/2006

Em relação aos resultados obtidos nas medições *in loco*, observa-se uma grande oscilação climática em Ouro Preto em um curto período de tempo. No período correspondente a meses de verão, a temperatura externa variou de 18 °C a 40 °C, enquanto a umidade relativa variou de 22 % a quase 100 %. A temperatura interna variou de 21 °C a 31 °C, enquanto a umidade relativa variou de 33 % a 77 %. Vê-se que os valores internos obtidos para temperatura, no horário de temperatura externa mais elevada, resultaram em um valor máximo em torno de 6 °C abaixo do valor da temperatura externa. Similarmente, tem-se a variação da umidade relativa do ar interno, mas com comportamento oposto.

No período correspondente a meses de inverno, a temperatura externa também apresentou uma variação acentuada de 11 °C a 37 °C, enquanto que a umidade relativa variou de 18 % a 95 %. Nesse mesmo período, a temperatura interna variou nos ambientes avaliados de 15 °C a 33 °C e a umidade interna variou de 26 % a 67 %. Observa-se que nesse período a variação em relação ao valor externo alcança um máximo de 4 °C. O comportamento da temperatura interna se repete, com valores menores, comparado à temperatura externa, no horário de valor extremo da mesma, e com valores maiores no período da noite e início da manhã, evidenciando o efeito da massa térmica da envoltória.

Durante o período das medições foi difícil conseguir seqüências de dias com comportamento térmico homogêneo em função da grande variação climática na cidade. Em apenas um período isso ocorreu, como mostrado na Figura 8. Durante as demais medições ocorreram alterações no clima local, seqüência de dias com valores máximos diários e mínimos diários decrescentes, Figura 10, ou, a seqüência de dias com valores diários crescentes e aumento da temperatura máxima diária, Figura 12. Em função da indisponibilidade de medição simultânea, em todas as três salas, por se dispor no momento de somente um conjunto de sensores, procurou-se apresentar os valores medidos representativos de períodos de medição mais próximos, que mostrasse o comportamento da edificação em condições climáticas as mais homogêneas possíveis.

Um atraso, na variação da temperatura do ar interior em relação à temperatura do ar exterior, é observado nas curvas mostradas (Figura 8), sendo resultado da inércia térmica do sistema de fechamento utilizado na edificação. No período noturno (de 0:00 h até as primeiras horas da manhã em

torno de 9:00 h), as temperaturas internas são mais elevadas que a temperatura externa mostrando a influência da massa térmica do sistema de fechamento.

Considerando os resultados obtidos, nesse período de avaliação, verifica-se que a edificação responde, de forma adequada, às interações térmicas com o meio externo, tanto nas condições de frio quanto nas condições de calor. Somente em condições de temperatura fora da região de conforto, compreendida entre 20 °C e 27 °C, segundo as considerações das normas ASHRAE 55:1992 e ISO 7730:1994, haveria necessidade de um condicionamento mecânico.

4.3 Simulações Computacionais

A avaliação de desempenho térmico de edificações, por meio de simulação computacional, é uma ferramenta que possibilita análises térmicas globais das edificações para se determinar as condições térmicas internas no ambiente construído, tanto na etapa de projeto quanto na fase de ocupação. Neste trabalho a análise numérica é realizada empregando-se o *software* de simulação computacional *ESP-r* (*Energy Simulation Program – research*). Esse programa computacional utiliza métodos numéricos de elementos finitos e de diferenças finitas para calcular o comportamento térmico dos ambientes, avaliando os gradientes de temperatura e de umidade internas e o fluxo do ar com bom grau de refinamento (CLARKE *et al.*, 1993).

São apresentados resultados para apenas duas salas e os dados físicos das mesmas são mostrados na Tabela 1. As simulações são feitas tomando-se a edificação com seu sistema de fechamento original e configurando-se o fechamento externo da edificação com outros materiais praticados no mercado, os quais sejam: painéis constituídos por placas de microconcreto recheadas por EPS (isolite); painéis de placa cimentícia recheadas por lã de vidro; parede de alvenaria de 0,15 m de espessura, constituída por tijolo cerâmico, revestido por argamassa nas duas faces. Nas configurações propostas com esses fechamentos diferentes, a área constituída por vidros nas aberturas das fachadas é considerada menor, tendo-se reduzido a área de vidro de 8,83 m² para 3,25 m² (sala 07) e de 11,02 m² para 5,52 m² (sala 15) (Tabela 1).

Os dados climáticos do local, representados pela temperatura de bulbo seco, velocidade do ar, direção do vento, irradiação solar difusa na horizontal, intensidade solar na direção normal e umidade relativa do ar são considerados, nesse estudo, para condições de dias típicos de verão. São utilizados dados climáticos da zona climática três, conforme o zoneamento climático sugerido pela norma NBR 15220:2005.

Tabela 1 – Características físicas das salas avaliadas

	Sala 07	Sala 15
área do piso (m ²)	39,29	48,30
cota do nível do piso (m)	2,75	2,75
altura do pé direito (m)	5,50	5,50
área constituída por portas (m ²)	1,89	1,89
área constituída por vidros nas aberturas das fachadas na configuração original de fechamento externo (m ²)	8,83	11,02
área constituída por vidros nas aberturas das fachadas para as outras configurações de fechamento externo (m ²)	3,25	5,52

Na Tabela 2 são apresentados as propriedades termo-físicas e os coeficientes globais dos elementos dos sistemas de fechamento empregados na configuração original da edificação e aqueles propostos.

A taxa de ventilação expressa por meio do índice de renovação de ar por hora (ren/h) é adotada como sendo igual a 5 ren/h, valor esse que indica uma boa ventilação nos ambientes internos (COSTA, 2005). Como estão sendo avaliadas salas de aula, o ganho de calor vem também de lâmpadas acesas e varia conforme o fluxo dos usuários, não sendo levado em conta o ganho de calor devido a equipamentos. O tipo de lâmpadas usado é a fluorescente luz do dia e, conforme o tamanho das salas, prevêem-se 12, 18 ou 24 lâmpadas de 40 W, nos períodos de 08 às 12 e de 14 às 18 horas. Nos corredores, como recebem iluminação natural de dia, são consideradas acesas 08 lâmpadas de 20 W entre 16 e 18 horas, somente.

Tabela 2 – Propriedades termofísicas dos elementos dos sistemas de fechamento ($T = 300K$)

Materiais e/ou elementos	Espessura total (m)	Nº de camadas	Materiais das camadas	Espessura das camadas (m)	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m °C))	c (kg/°C)	ϵ	α	U (W/(m ² °C))
Parede tijolo maciço aparente	0,25	2	argamassa	0,025	2.000	0,96	650	0,90	0,63	2,19
			tijolo	0,225	1.860	0,72	780	0,91	0,60	
Parede tijolo furado	0,15	3	argamassa	0,100	2.000	0,96	650	0,90	0,63	2,84
			tijolo	0,025	1.860	0,72	780	0,91	0,60	
			argamassa	0,100	2.000	0,96	650	0,90	0,63	
Parede aço	0,003	1	Aço	0,003	7.800	50	502	0,85	0,80	5,62
Painel isolite	0,10	3	microconcreto	0,03	2.250	1,80	750	0,90	0,75	0,83
			EPS	0,04	16	0,04	1.000	0,90	0,30	
			microconcreto	0,03	2.250	1,80	750	0,90	0,75	
Painel placa cimentícia c/ lâ de vidro	0,10	3	argamassa	0,0125	1.360	0,35	1.050	0,96	0,60	0,45
			lâ de vidro	0,075	28	0,038	700	0,90	0,30	
			argamassa	0,0125	1.360	0,35	1.050	0,96	0,60	
Laje concreto com forro PVC	0,503	3	laje	0,100	2.100	1,40	653	0,90	0,65	2,28
			Ar	0,400	---	---	---	---	---	
			forro PVC	0,003	1.379	0,16	1.004	0,90	0,65	
Piso cimentado	0,125	2	argamassa	0,025	1.860	0,72	780	0,91	0,60	3,20
			tijolo	0,100	2.250	1,00	840	0,90	0,65	
Portas de madeira	0,025	1	madeira	0,025	700	0,19	2.390	0,90	0,65	3,23
Vidro 6 mm de espessura	0,006	1	vidro	0,006	2.500	1,05	750	0,59	0,06	5,44
Telha fibrocimento	0,008	1	fibrocimento	0,008	1.600	0,56	1.000	0,96	0,60	5,20

O perfil de ocupação leva em conta o fluxo de usuários pelos corredores e nas salas de aula. Assim, as salas de aula são consideradas com metade de sua ocupação total, 20 pessoas para salas maiores e 15 pessoas para salas menores, nos períodos de 08 às 12 e de 14 às 18 horas. Entre 13 e 14 horas considera-se a presença de uma pessoa somente, por exemplo, o responsável pela limpeza, em cada sala. Nos corredores, como o fluxo de pessoas é rápido, considera-se a presença de apenas uma pessoa no período de 08 às 18 horas. Deve-se salientar que o perfil de ocupação admitido nas simulações numéricas não corresponde ao fluxo real de pessoas durante o período das medições *in loco*, uma vez que esse controle não foi realizado. Sendo assim, não é feita a comparação direta entre os resultados obtidos pelas medições e pelas simulações numéricas.

Nas Figuras 13 e 14, são mostrados os resultados obtidos nas simulações, sendo apresentadas as temperaturas internas e a externa, e comparados os resultados para o sistema de fechamento original e os outros sistemas de fechamento sugeridos já citados.

Os resultados obtidos nas simulações, considerando o perfil de ocupação adotado, mostram uma diferença máxima da temperatura interna em torno de 3 °C para o ambiente que resultou nas maiores variações, entre o fechamento original e a alvenaria de 15 cm (Figura 13). De um modo geral ocorre uma variação, em torno de 1 °C, no comportamento dos fechamentos sugeridos em relação ao original, o que representa um desempenho térmico um pouco melhor dos fechamentos analisados em relação àquele do sistema de fechamento externo original. Vê-se também que, se a área envidraçada fosse menor (Tabela 1), as condições internas seriam um pouco melhores.

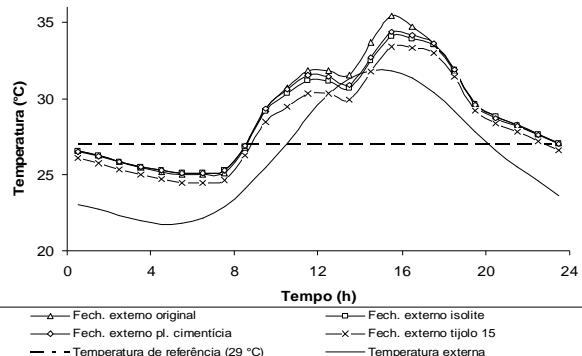


Figura 13 – Temperatura interna, sala 07, dia típico de verão

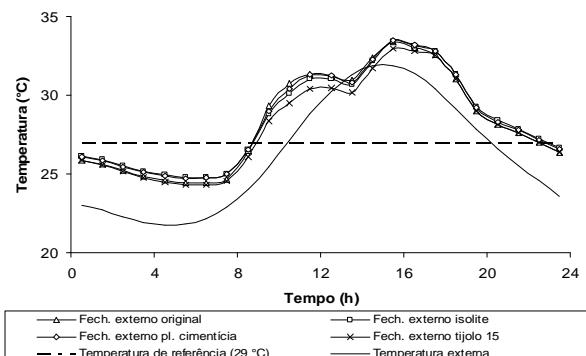


Figura 14 – Temperatura interna, sala 15, dia típico de verão

As simulações apresentam resultados bastante diferenciados das medições, sendo que nessas últimas, as temperaturas internas são maiores do que as externas, no período noturno, enquanto que nas simulações, tanto para o fechamento original quanto para os outros fechamentos propostos, as temperaturas internas se apresentam maiores do que a temperatura externa, na maior parte do dia e à noite. Observa-se que na maior parte do período diurno as condições de conforto térmico são insatisfatórias, pois as temperaturas resultantes se apresentam acima dos padrões de conforto humano adotados pelas normas (ASHRAE 55:1992 e ISO 7730:1994). Neste caso torna-se necessário o resfriamento nessas horas para todas as configurações de fechamento.

Nos horários de temperatura externa mais elevada, em que a temperatura interna mostra-se superior a 27 °C, calcula-se o somatório dos graus.hora necessários para o resfriamento do ar no interior das salas, bem como o somatório diário desses graus.hora, para a configuração de fechamento original. São apresentados apenas os resultados de uma sala (Figuras 15 e 16). Observa-se que o fechamento em alvenaria, dentre as alternativas propostas, apresenta o melhor desempenho em relação à configuração original.

A estratégia de ventilação cruzada, não utilizada nessa edificação, poderia amenizar um pouco mais a temperatura interna, no período de verão. Na Figura 17 apresentam-se os resultados (apenas para uma sala) levando-se em consideração a ventilação cruzada, que é obtida admitindo-se aberturas não existentes no projeto original, de 0,5 m de altura, entre salas e corredores ao longo de paredes opostas às janelas externas. Os resultados obtidos, para a configuração com fechamento original, mostram uma diminuição de temperatura interna da ordem 1,5 °C, o que poderia contribuir para a redução do somatório de graus.hora necessários para o resfriamento da edificação, naqueles horários de temperaturas externas elevadas.

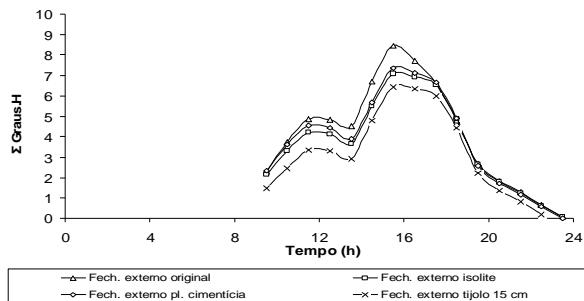


Figura 15 – Somatório graus.hora necessários para o resfriamento, sala 07

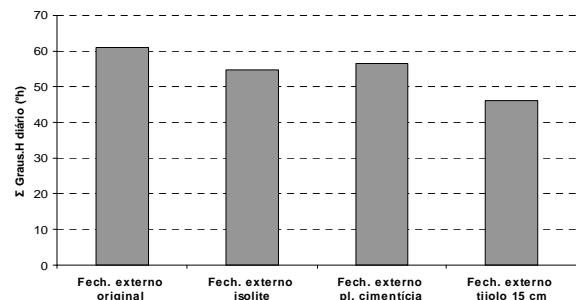


Figura 16 – Somatório graus.hora necessários para o resfriamento, sala 07

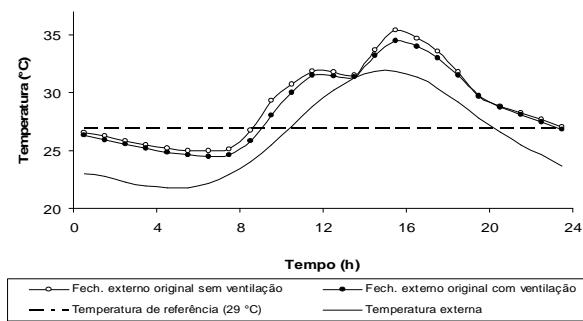


Figura 17 – Temperatura interna, sala 07

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de análise de desempenho térmico aqui adotados, medições *in loco* e simulações computacionais, possibilitaram a verificação das condições térmicas internas da edificação. A análise numérica objetivou ser mais uma comparação entre alguns sistemas de fechamento diferentes, que poderiam ser aplicados, e mostrar algumas estratégias de ventilação não contempladas no projeto.

Nesse contexto, a abordagem computacional é uma ferramenta muito importante para esse tipo de análise, pois permite investigações com diferentes tipologias e configurações de sistemas de fechamento, levando em conta a variação no perfil de ocupação da edificação, ainda na etapa de pré-projeto.

Em relação à edificação em estudo, além da ventilação cruzada, outra estratégia que poderia diminuir a temperatura interna, no período de verão, seria a utilização de beiral maior nas fachadas mais ensolaradas e/ou a utilização de fechamento interno com inércia térmica mais elevada. Essas opções, não foram simuladas nesse trabalho e talvez sejam impraticáveis para essa edificação, mas podem ser avaliadas para aplicação em ampliações e/ou outras construções estruturadas em aço que venham a ser edificadas na região.

De modo geral, pode-se dizer que, em condições climáticas atípicas do seu entorno, nenhum tipo construção, seja em aço ou em concreto, independentemente do sistema de fechamento utilizado, proporcionaria condições de conforto térmico, em todo período do dia. Isso tanto nos dias mais críticos de inverno quanto nos de verão, sendo necessário o uso de algum recurso adicional para garantir a satisfação de seus usuários.

No entanto, no caso de climas mais amenos e em projetos onde são adotadas estratégias passivas adequadas, é possível alcançar condições internas de conforto, durante todos os dias de inverno e de verão.

6 REFERÊNCIAS

- AHLBORN. **Almemo manual, for all almemo measuring instruments.** V. 5. Ahlborn Meß- und Regelungstechnik GmbH, 4^a ed. Holzkirchen: Germany, 2003.
- AMERICAN SOCIETY FOR HEATING, REFRIGERATING AND AIR CONDITIONING ENGINEERING. **Thermal environmental conditions for human occupancy.** ANSY/ASHRAE 55. New York: ASHRAE, 1992.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social:** NBR 15220:2005. Rio de Janeiro: ABNT, 2005. 30p.
- BASTOS, M.A.R., SOUZA, H.A. **O usuário versus a cadeia produtiva do espaço edificado.** In: CD-ROM, Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção, IV SIBRAGEC. Porto Alegre, 2005.
- CLARKE, J.A. *et al.* **ESP-r: A program for building energy simulation.** Version 9 Series, ESRU Manual U93/1. Glasgow, Scotland, 1993.
- COSTA, E.C. **Ventilação.** São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 256p.
- OLIVEIRA, E.N.M.B. *et al.* Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto. **AP Revista de Arquitetura,** Belo Horizonte, n.5, p.24-31, 1996.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Thermal environments instruments and methods for measuring physical quantities.** ISO 7726:1985. Genebre, 1985.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.** ISO 7730:1994. Genebre, 1994.
- RIBAS, R.A.J.; SALES, U.C; SOUZA, H.A. Escola de Minas da UFOP: Estudo de caso de uma edificação estruturada em aço. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2006, A construção do Futuro. **Anais...** Florianópolis, ANTAC, 2006. p.3.058-3.067.
- RIBAS, R.A.J.; SOUZA, H.A. Avaliação construtiva e de desempenho térmico do prédio da Escola de Minas da UFOP. **Revista Escola de Minas,** Ouro Preto, vol. 60, n. 4. p. 628-638, 2007.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG e à Fundação Gorceix.