

A influência da estrutura de aço aparente no consumo de energia e na carga térmica para resfriamento em ambientes escolares

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

RESUMO

Neste artigo, apresenta-se um estudo sobre a importância da representação da estrutura de aço em simulações do comportamento térmico de modelos detalhados. O objetivo é avaliar a influência da estrutura de aço aparente no desempenho de um ambiente escolar artificialmente condicionado. Uma sala de aula do Prédio de Medicina da Universidade Federal de Ouro Preto foi analisada por meio de uma simulação computacional utilizando o programa *EnergyPlus*. As simulações consideraram cinco casos diferentes no tratamento das vigas de aço, contemplando soluções de proteção contra incêndio e aplicação de isolantes térmicos na estrutura. Os resultados obtidos são relativos ao consumo anual de energia e à carga térmica para resfriamento. A diferença máxima obtida foi de 2,5 % no consumo anual de energia e 4,1 % na carga térmica. Os valores encontrados são relevantes se considerar que a área de estrutura de aço corresponde somente a 6,3% da área total das superfícies opacas. Observou-se que a estrutura de aço aparente pode contribuir com o conforto térmico de ambientes, se for criteriosamente explorada sua capacidade de perder ou de ganhar calor pelas almas das vigas.

Palavras-chave: estrutura de aço, simulação térmica, eficiência energética.

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, agomes_arq@yahoo.com.br. Prof. da Área de Desenho e Projeto – Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, Campus Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil.

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, henor@em.ufop.br. (autor para correspondência). NUPECON – Núcleo de Pesquisa em Conforto, 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.

1 Introdução

A construção metálica exige uma definição criteriosa do projeto considerando também a eficiência energética da edificação, ainda durante a fase de concepção arquitetônica. O uso de estruturas de aço em edifícios com fins educacionais implica em um aumento no grau de complexidade dos condicionantes projetuais.

O uso de programas computacionais que simulam o comportamento térmico das edificações tem gerado uma série de vantagens construtivas no estabelecimento de uma edificação energeticamente eficiente. O consumo de energia elétrica e o pico da carga térmica de resfriamento podem ser simulados nessas ferramentas para a correta estimativa da capacidade dos diversos componentes de um sistema de ar condicionado, evitando gastos desnecessários com estratégias ineficientes.

Porém, nas simulações do comportamento térmico de edificações, o sistema estrutural somente é considerado na análise se possuir elementos com dimensões robustas. Geralmente nessa análise, consideram-se somente os sistemas de fechamento horizontal e vertical, representando componentes construtivos tradicionais. Quando a análise contempla a estrutura em paralelo com o fechamento, faz-se uma simplificação dos cálculos em regime permanente.

2 objetivo

O objetivo deste trabalho é verificar o impacto da simulação computacional da estrutura de aço no comportamento térmico de uma edificação, considerando-se como estudo de caso um ambiente escolar. Analisam-se diferentes casos de proteção das vigas de aço e seu impacto no consumo de energia e na carga térmica para resfriamento do ambiente.

3 Metodologia

O método empregado consiste em simulações computacionais utilizando o programa *EnergyPlus* (versão: 4.0.0) para o cálculo do consumo anual de energia elétrica e do pico da carga térmica de um estudo de caso. Na simulação, foi considerada a resposta global da edificação em relação às interações térmicas existentes entre o ambiente externo e o ambiente construído. Para a análise, foi selecionada uma sala de aula de uma edificação da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) que apresentasse estrutura de aço aparente e fosse representativa dos novos edifícios escolares do campus.

A simulação do modelo foi dividida em casos conforme os diferentes tipos de proteção das vigas de aço. Além do caso base, que representa as reais condições do ambiente construído, os outros casos se diferenciam considerando a implantação de diferentes tratamentos contra incêndio nas vigas e seu isolamento térmico.

Para todos os casos, foram utilizados os dados climáticos da cidade de Belo Horizonte, devido à ausência do ano climático de referência para Ouro Preto; embora existam diferenças climáticas entre as duas regiões devido ao microclima. A simulação foi realizada considerando o arquivo TRY (Ano Climático de Referência) da cidade de Belo Horizonte, disponível no site do programa *EnergyPlus* (Doe, 2009). Embora existam diferenças climáticas entre as duas regiões devido ao microclima, a adoção dos dados de Belo Horizonte não prejudica a análise dos resultados, uma vez que se trata de uma avaliação comparativa entre os casos simulados, num estudo de caso.

3.1 Objeto de estudo

O objeto de estudo deste trabalho é o Prédio de Medicina da UFOP. O edifício se localiza no Campus Morro do Cruzeiro na cidade de Ouro Preto e faz parte dos novos edifícios implantados com a expansão da Universidade em função do Projeto REUNI/MEC na UFOP no âmbito do Plano de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais implantado em 2007 pelo Governo Federal. O edifício possui dois pavimentos, sendo que cada um é constituído por um corredor central que distribui o acesso às salas e laboratórios, cujas dimensões são moduladas pela estrutura de aço (Figura 1). O sistema estrutural é formado por um conjunto de pórticos verticais de aço, com colunas em perfil tubular fazendo ligação com vigas soldadas de seção “I”. A estrutura foi lançada externamente, sendo que as vigas principais possuem dimensões maiores que o envelope do edifício (Figura 2).



Figura 1: Vista parcial do Prédio de Medicina da UFOP.



Figura 2: Detalhe da ligação da coluna tubular com a viga principal de seção “I”.

Neste estudo, foi definida a sala 103 do primeiro pavimento como ambiente típico a ser analisado, por seus problemas de adequação térmica relatados pelos ocupantes (Velloso, Moura e Souza, 2010). O ambiente analisado possui área interna de 61,56 m² (eixo

a eixo das paredes) e pé direito de 3,80 m, que foi reduzido com a aplicação de um forro a 30 cm da laje de teto. O ambiente possui uma porta que se abre para um corredor e uma janela voltada para sudoeste, sem qualquer tipo de dispositivo de proteção solar (Figura 3). Na simulação, para maior precisão dos resultados, o ambiente estudado foi dividido em duas zonas térmicas: o ambiente da sala de aula (Zona Térmica 1) e a camada de ar não ventilada sobre o forro (Zona Térmica 2). Na Figura 4, é apresentada uma perspectiva da sala cortada por um plano lateral perpendicular ao piso, mostrando a disposição das duas zonas térmicas.

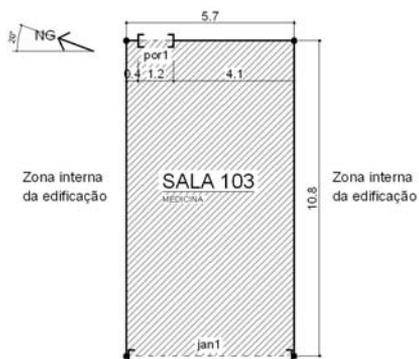


Figura 3: Planta baixa da Sala 103.

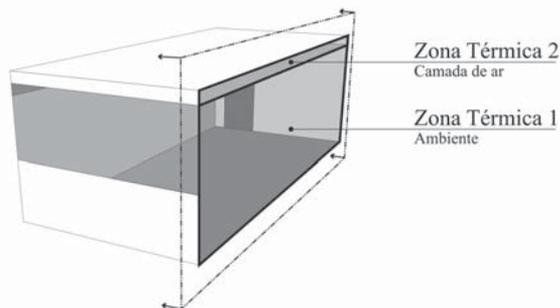


Figura 4: Divisão das zonas térmicas.

Na sala analisada, a estrutura de aço fica aparente nas fachadas sudoeste, sudeste e noroeste; fazendo interface com o exterior e com os demais ambientes adjacentes a sala (Figura 5). No interior da zona térmica 1, somente parte dos perfis fica exposta. Isso ocorre devido à posição do forro, que divide as vigas principais ao meio. Assim, na Zona Térmica 1, somente 30 cm de duas vigas ficam expostas ao longo das fachadas noroeste e sudeste (Figura 6).

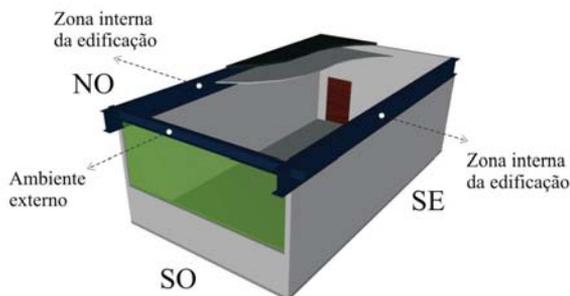


Figura 5: Disposição das vigas.



Figura 6: Vista do interior da Sala 103.

A composição dos fechamentos verticais varia conforme a fachada. Nas fachadas sudeste e noroeste, o fechamento é composto por diferentes materiais e camadas. Parte do fechamento é em bloco de concreto celular (e = 10 cm) revestido internamente e externamente por reboco (e = 2,0 cm). A outra composição desse fechamento vertical é formada pelas vigas principais com altura de 60 cm e alma com espessura de 8 mm. Na fachada sudoeste, o fechamento vertical é composto por meia parede em bloco celular revestido com reboco nas duas faces, por uma janela de esquadria horizontal pivotante com vidro comum de 3 mm e por uma viga com altura de 30 cm e alma com espessura de 4,75 mm. O fechamento vertical interno que faz interface com o corredor é composto somente por bloco celular revestido com reboco, contendo uma porta em compensado (e = 3 cm). A cobertura é composta pela laje pré-moldada com vigotas treliçadas e preenchimento em isopor. O forro é de PVC com espessura de 8 mm e laje de piso é constituída por uma camada de concreto (e = 10 cm) revestida com granilite (Figura 7).

As propriedades termofísicas dos materiais de composição dos fechamentos foram obtidas na norma ABNT NBR 15220:2005 e no Manual de resistência ao fogo das estruturas de aço (Vargas e Silva, 2005).

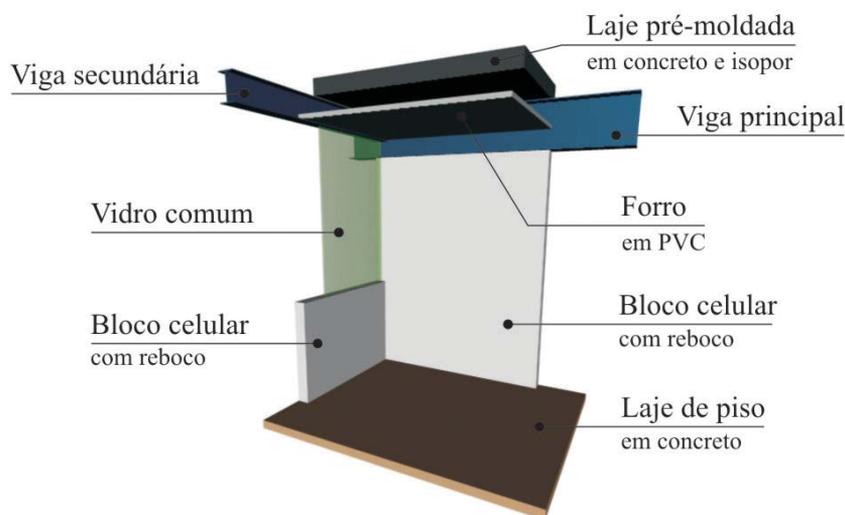


Figura 7: Composição dos fechamentos.

3.2 Rotinas de ocupação

A utilização da Sala 103 (Zona térmica 1) foi considerada nos dias úteis, durante todo o ano no período diurno, com início das atividades às 8:00 h, com intervalo ao meio-dia e reinício às 13:00 h, e término às 17:00 h. Essa rotina foi estipulada para as cargas internas e para o acionamento do ar condicionado. Como fontes internas de calor e umidade foram considerados equipamentos elétricos (1 computador com projetor – 180 W com fração de calor radiante de 0,5), iluminação do tipo fluorescente para uso

comercial (16 W/m^2) e pessoas. Foram considerados 21 ocupantes, utilizando roupas com resistência de 0,5 clo (roupas leves) e realizando atividades que liberam uma taxa de calor de 130 W por pessoa, com fração radiante de 0,3 conforme sugerido pela norma ABNT NBR 16401:2008.

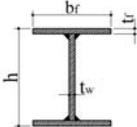
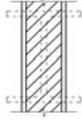
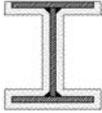
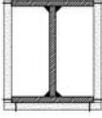
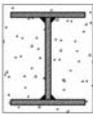
O edifício não possui sistema de climatização artificial, mas neste trabalho foi considerado o uso de ar condicionado, uma vez que as estratégias passivas adotadas no projeto da edificação não foram capazes de promover conforto térmico adequado.

A infiltração foi considerada como um volume ar constante, calculado para a zona térmica 1, com base nos exemplos contidos na norma Ashrae (2005).

3.3 Caracterização dos casos simulados

Na Tabela 1, apresentam-se os tipos de casos simulados, os esquemas de proteção das vigas de aço e a transmitância térmica de cada viga.

Tabela 1: Casos simulados

Casos	Descrição	Esquema	U ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)
Caso base	Representa as reais condições do ambiente construído. Estrutura constituída por perfis soldados série VS sem revestimento contra fogo. Dimensões: - Vigas Principais ($h = 600$; $b_f = 300$; $t_w = 8$; $t_f = 16 \text{ mm}$) - Viga Secundária ($h = 300$; $b_f = 140$; $t_w = 4,75$; $t_f = 6,3 \text{ mm}$) OBS.: Nos parâmetros geométricos da simulação, foi considerada somente a espessura da alma dos perfis (t_w).		6,67
Caso 1	Simulação do ambiente desconsiderando o sistema estrutural, ou seja, substituindo as vigas por fechamento vertical em bloco de concreto celular ($e = 100 \text{ mm}$) com reboco em ambas as faces ($e = 20 \text{ mm}$).		1,23
Caso 2	Vigas de aço revestidas com argamassa projetada à base de vermiculita ($e = 15 \text{ mm}$). Acabamento tipo contorno obtido com o jateamento direto sobre a superfície do aço.		2,85
Caso 3	Vigas isoladas com elementos flexíveis, como lã de rocha, que possui grande aplicação no isolamento de tubulações de ar condicionado.		0,79
Caso 4	Fechamento externo das vigas com materiais pré-fabricados, como placas de gesso formando uma caixa com presença de ar no interior da cavidade. - Placas de gesso acartonado ($e = 15 \text{ mm}$)		2,29
Caso 5	Enclausuramento em concreto das vigas de aço ($e = 15 \text{ mm}$).		3,11

3.4 Cálculo da carga térmica

A norma ABNT NBR 16401:2008 especifica que os cálculos das cargas térmicas de resfriamento e desumidificação devem ser realizados para todas as horas do dia de projeto. Deve-se considerar o efeito dinâmico da massa da edificação sobre a carga térmica. Devido à complexidade no regime dinâmico do efeito do armazenamento térmico e das trocas de calor, o cálculo da transferência de calor em regime transiente através dos fechamentos é inviável de ser resolvido sem o auxílio de um *software*. A Norma de Instalações de Ar Condicionado recomenda que os programas de computador devam ser baseados nos métodos da ASHRAE (TFM – *Transfer Function Method* ou RTS – *Radiant Time Series Method*).

O método TFM é utilizado pelo *EnergyPlus* e apresenta resultados com precisão satisfatória. No método TFM é possível estimar as cargas térmicas de hora em hora, prever o comportamento do ambiente interno para vários tipos de sistema, tipos de controle e rotinas; sendo adequado para a aplicação computacional (Ashrae, 1997).

No *EnergyPlus*, o objeto *IDEAL LOADS AIR SYSTEM* fornece um sistema ideal (sistema 100% eficiente, sem consumo de energia) para suprimento de ar condicionado para a zona; sendo utilizado para o cálculo da carga térmica necessária para atingir a temperatura de controle, tanto para aquecimento quanto para resfriamento (Lbnl, 2009). Estipulou-se a temperatura constante limite de aquecimento em 18°C e a de resfriamento em 24°C.

4 Resultados e discussão

4.1 Estudos preliminares

Primeiramente, foi feito um estudo sobre a representação ou não do forro na simulação numérica. A colocação do forro implica em uma redução de 8,6% no volume de ar do recinto e redução de 26,4% de área de viga diretamente exposta ao ambiente interno.

Na Figura 8, apresentam-se as temperaturas internas da sala, sem condicionamento artificial, para as duas zonas térmicas (Caso Base - Zona 1 e 2) e para o ambiente sem forro (Referência – 1 Zona), considerando o dia 21 de janeiro; data em que se dá o pico da carga térmica. Observa-se que a retirada do forro não altera de forma significativa a temperatura do ar da sala, sendo a variação desprezível.

A camada de ar estagnada (Caso Base – Zona 2) fica pouco suscetível ao perfil de ocupação das cargas internas.

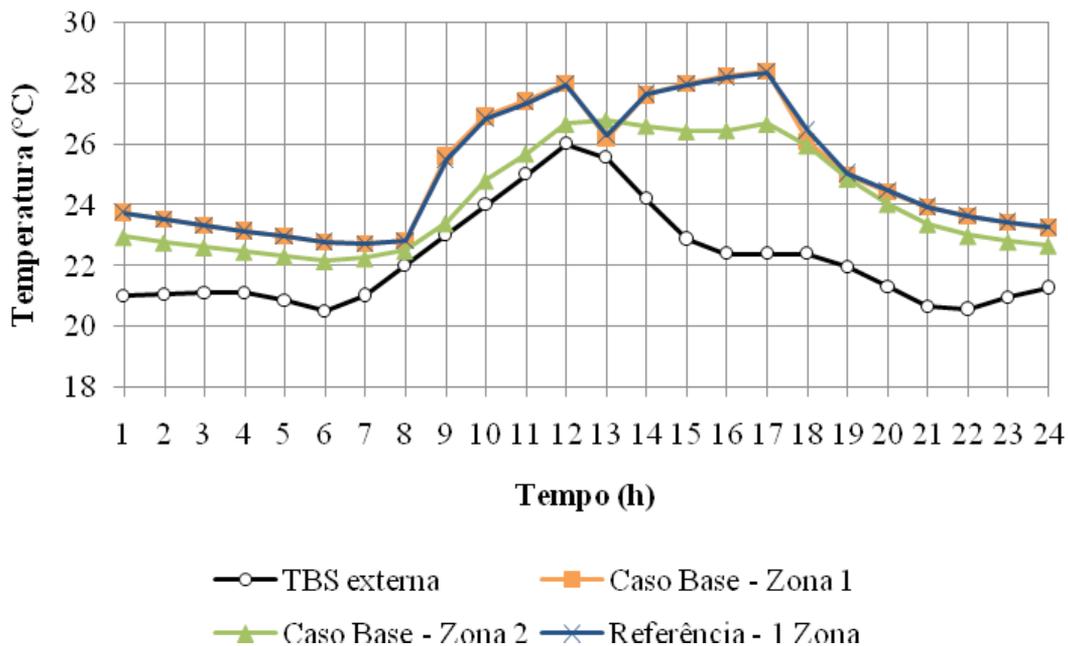


Figura 8: Evolução temporal da temperatura interna para o dia 21 de janeiro

Optou-se por representar o forro para se detalhar ao máximo a entrada de dados, ficando coerente com a simulação do modelo.

Nos próximos itens é apresentada a influência de variável no consumo anual de energia elétrica e no pico de carga térmica para resfriamento. Foram selecionados outros gráficos gerados durante a simulação para a discussão do comportamento energético da edificação.

4.2 Caso 1

Na Tabela 2 é apresentado o consumo anual de energia para resfriamento e o pico da carga térmica para o Caso 1 (substituição das vigas por bloco de concreto) em relação ao Caso Base.

Tabela 2: Consumo anual de energia em kWh e carga térmica em W (Caso 1)

Caso	Consumo anual de energia para resfriamento (kWh)	Varição no consumo em (%)	Pico da carga térmica para resfriamento (W)	Varição na carga térmica em (%)
Caso Base	7544	---	6025	---
Caso 1	7498	- 0,61	5777	- 4,12

Comumente, o sistema estrutural é desconsiderado em simulações numéricas do comportamento térmico de edificações. A partir dos resultados mostrados na Tabela 2, observa-se que, para o objeto de estudo do trabalho, a desconsideração do sistema estrutural em vigas aparentes de aço pode acarretar no aumento de 4% no pico da carga térmica de resfriamento, resultando em um aumento de 0,61% no consumo anual de energia para resfriamento.

Conforme Westphal e Lamberts (2007) constataram, a variação na transmitância térmica (U) pode aumentar ou diminuir o consumo do sistema de condicionamento de ar por meio do ganho ou dissipação do calor gerado internamente, considerando ainda diferentes climas. Pequenas mudanças na transmitância térmica total de um fechamento influenciam pouco no balanço térmico do ambiente. Para o caso 1, a grande diferença entre a transmitância térmica entre a viga de aço e a parede de blocos de concreto não foram capazes de variar consideravelmente o consumo de energia na análise do recinto.

4.3 Caso 2

Na análise global do ambiente, as variações no consumo e na carga térmica considerando o revestimento das vigas com argamassa projetada à base de vermiculita são desprezíveis (Tabela 3).

Embora a camada de vermiculita atue como isolante, com condutividade e densidade menor que o aço, a superfície incorporada não produz variações significativas no fluxo de calor total que entra ou sai pelas paredes da edificação.

Tabela 3 – Consumo anual de energia em kWh e carga térmica em W (Caso 2)

Caso	Consumo anual de energia para resfriamento (kWh)	Varição no consumo em (%)	Pico da carga térmica para resfriamento (W)	Varição na carga térmica em (%)
Caso Base	7544	---	6025	---
Caso 2	7486	- 0,77	6020	- 0,08

4.4 Caso 3

Na Tabela 4 é apresentado o consumo anual de energia para resfriamento e o pico da carga térmica para o Caso 3 (revestimento com lã de rocha) em relação ao Caso Base.

O aumento no consumo de energia em relação ao Caso Base é consequência do aumento da resistência térmica da viga, em função da aplicação do revestimento com lã de rocha, que eleva a temperatura do ar no ambiente por meio da diminuição das perdas de calor pelas almas dos perfis. Esse comportamento pode observado nas curvas mostradas na Figura 9, onde as temperaturas internas ficam levemente maiores com o uso da lã de rocha nas vigas (Caso 3).

Tabela 4 – Consumo anual de energia em kWh e carga térmica em W (Caso 3)

Caso	Consumo anual de energia para resfriamento (kWh)	Varição no consumo em (%)	Pico da carga térmica para resfriamento (W)	Varição na carga térmica em (%)
Caso Base	7544	---	6025	---
Caso 3 (e = 25 mm)	7617	0,97	5863	- 2,09
Caso 3 (e = 50 mm)	7655	1,47	5823	- 3,35

Por outro lado, o pico da carga térmica pode reduzir em até 3,35 % se for utilizado um recobrimento com 50 mm de lã de rocha sobre a viga, uma vez que a inércia térmica total do ambiente foi aumentada, diminuindo a oscilação da temperatura.

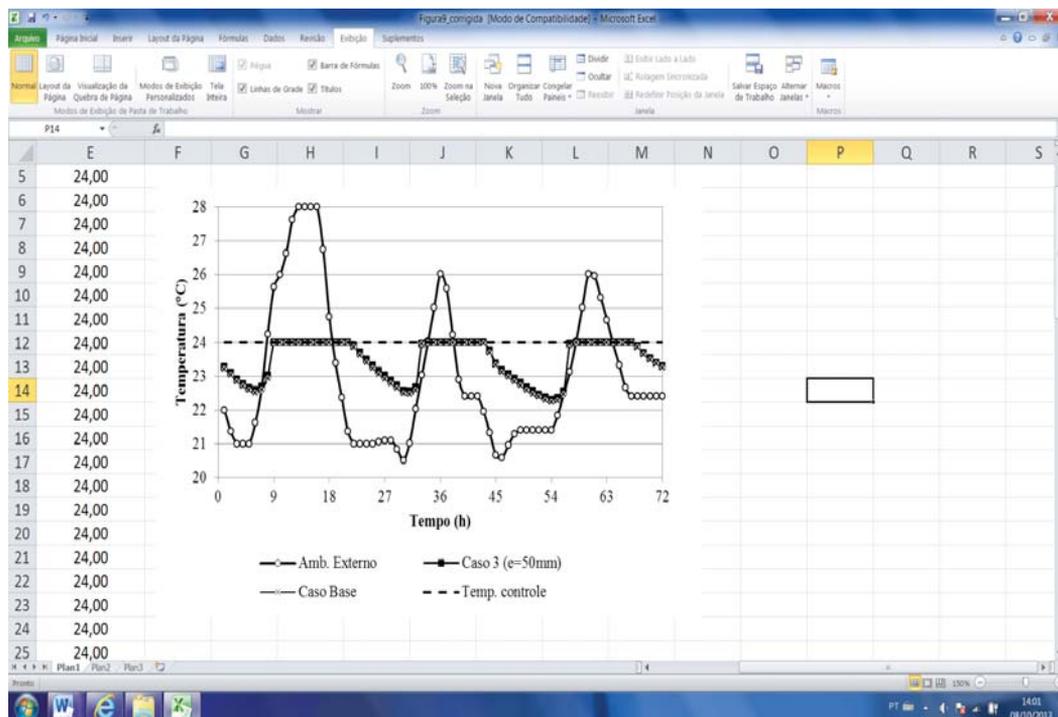


Figura 9: Evolução temporal da temperatura interna para os dias 20, 21 e 22 de janeiro.

4.5. Caso 4

No caso do revestimento da viga com placas de gesso acartonado, o pico da carga térmica aumenta um pouco. Isso se dá pelo aumento da temperatura na superfície interna da viga, que perde mais calor por convecção.

Na Figura 10, apresenta-se a comparação dos resultados obtidos para a temperatura da face interna da viga da fachada SO. Observa-se que a inclusão de uma camada de ar estagnada com fechamento em placas de gesso propicia a retenção de calor no ar próximo à viga, aumentando sua temperatura superficial e, conseqüentemente, aumentando a carga térmica para resfriamento.

Tabela 5: Consumo anual de energia em kWh e carga térmica em W (Caso 4)

Caso	Consumo anual de energia para resfriamento (kWh)	Varição no consumo em (%)	Pico da carga térmica para resfriamento (W)	Varição na carga térmica em (%)
Caso Base	7544	---	6025	---
Caso 4	7492	- 0,69	6058	0,55

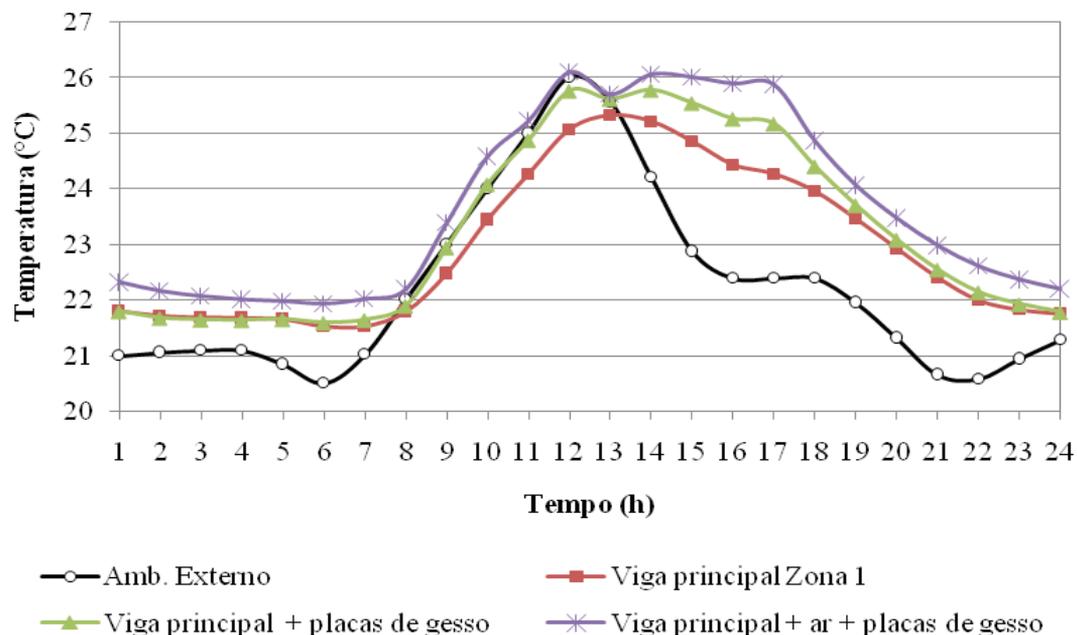


Figura 10: Evolução temporal da temperatura da superfície interna da viga (fachada SO) para o dia 21 de janeiro.

4.6 Caso 5

Na Tabela 6 é apresentado o consumo anual de energia para resfriamento e o pico da carga térmica para o Caso 5 (enclausuramento em concreto das vigas) em relação ao Caso Base.

Tabela 6: Consumo anual de energia em kWh e carga térmica em W (Caso 5)

Caso	Consumo anual de energia para resfriamento (kWh)	Varição no consumo em (%)	Pico da carga térmica para resfriamento (W)	Varição na carga térmica em (%)
Caso Base	7544	---	6025	---
Caso 5	7356	- 2,50	5904	- 2,01

Neste caso, para ambas as variáveis houve uma redução de mais de 2%. Isso ocorre pelo fato de o concreto absorver calor do ambiente durante quase todo o dia, se comparado aos outros casos, como pode ser visto na Figura 11.

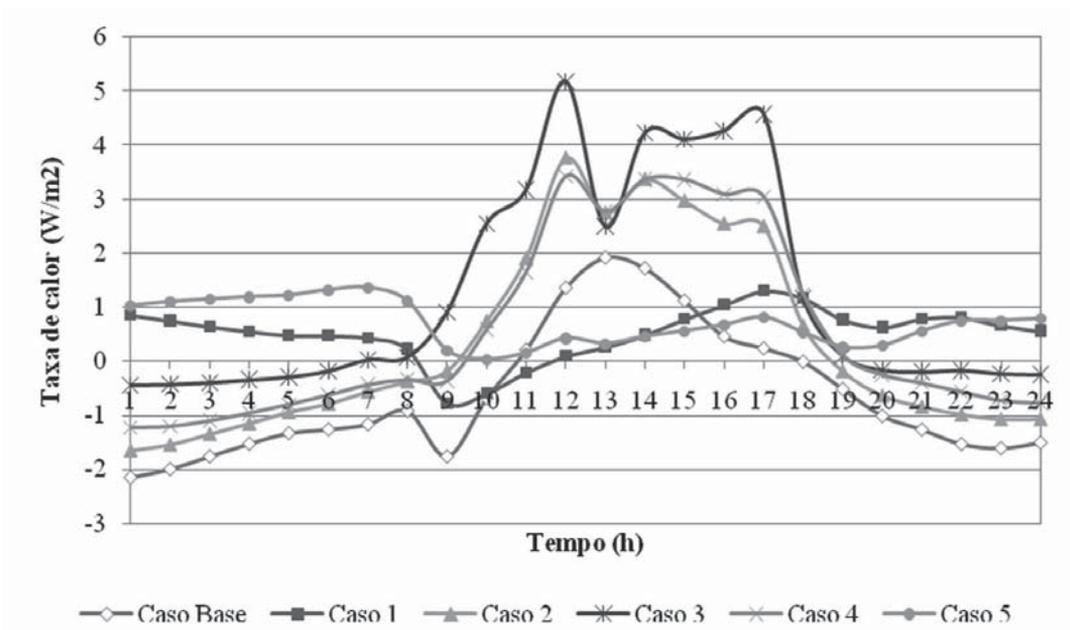


Figura 11: Taxa de calor por convecção para todos casos (viga da fachada NO)

4.7. Resumo das tabelas

Na Figura 12, apresenta-se um resumo dos resultados para comparação dos valores.

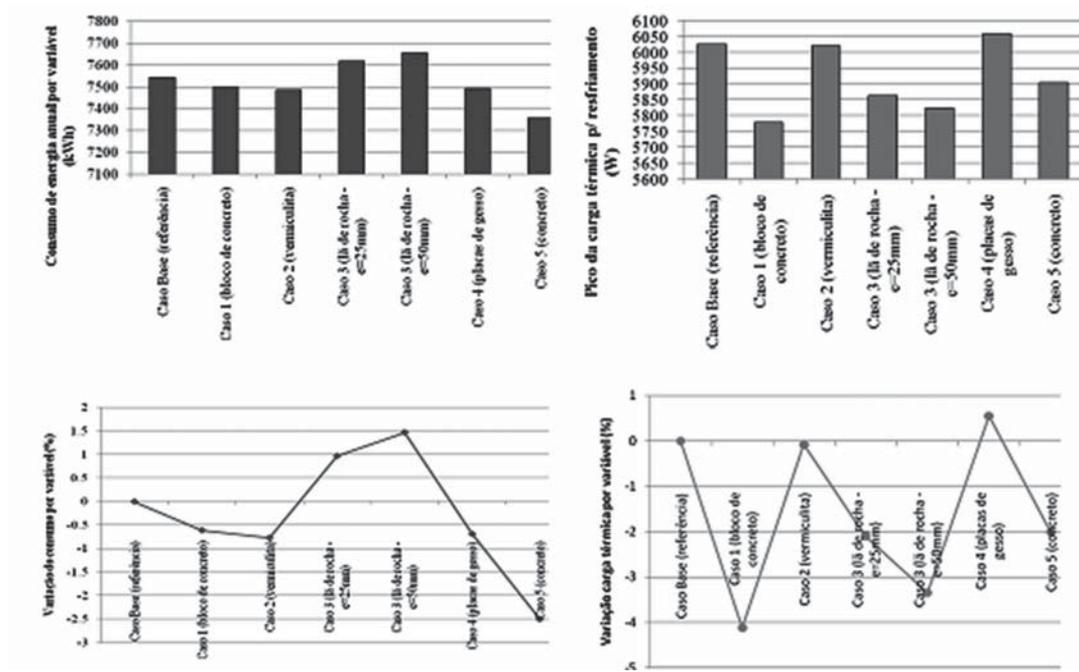


Figura 12: Consumo anual de energia em kWh e carga térmica em W com as respectivas variações para todos os casos

Observa-se pelos resultados que o maior consumo de energia ocorre quando foi adicionada a camada de material isolante mais espessa ($e_{\text{la de rocha}} = 50 \text{ mm}$); enquanto que o pico mais alto da carga térmica ocorre com a inclusão da camada de ar e placas de gesso como contorno da viga. Comparando-se os casos de menor e maior diferença, a variação no consumo de energia é de 2,5 % e na carga térmica é de 4,1 %.

5 Conclusões

Por meio dos resultados obtidos nas simulações, verificou-se que não houve uma variação expressiva no consumo de energia elétrica, com a redução máxima de 2,5%. Em relação ao pico da carga térmica, a diferença entre os resultados dos casos não é suficiente para implicar em sistemas de condicionamento de ar com capacidades diferentes.

Deve-se observar que, no caso analisado, a área de viga corresponde somente a 6,3 % da área total de superfícies opacas da sala. Dependendo do clima e das cargas internas, o aumento na área de viga aparente e sua orientação solar podem interferir nas condições de conforto ambiental em função do aumento ou da diminuição dos ganhos de calor.

A simulação desconsiderando a estrutura de aço pode implicar no aumento da carga térmica e do consumo de energia, considerando os dados climáticos para a cidade de Belo Horizonte.

Os tipos de proteção contra incêndio de estruturas de aço podem contribuir com o conforto térmico proporcionado aos ocupantes. É desejável que o projetista leve em conta as implicações e as propriedades dos elementos constituintes relacionadas ao isolamento térmico

Evidentemente, os resultados obtidos nesse estudo não podem ser generalizados para outras edificações estruturadas em aço. Porém, vale ressaltar, que a estrutura de aço deve fazer parte da análise energética de qualquer tipologia de edificação por meio da simulação computacional do modelo detalhado, uma vez que a variação no consumo de energia e na carga térmica pode inviabilizar algumas soluções de projeto de condicionamento de ar.

6 Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2005). Desempenho Térmico de Edificações, Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. NBR 15220-2. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2008). Instalações de ar-condicionado: sistemas centrais e unitários – Parte 1: Projetos das instalações. NBR 16401-1. Rio de Janeiro.

American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (1997). Handbook Fundamentals – Cap. 28 – Non residential cooling and load calculations. Atlanta GA 0329.

American Society for Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2005). Handbook Fundamentals – Cap. 30 – Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations. Atlanta GA 0329.

Doe, U. S. (2009). Department of Energy. Arquivo Climático de Belo Horizonte. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data.cfm>. Acesso em out. 2009.

Lawrence Berkeley National Laboratory – LBNL (2009). EnergyPlus Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. October 2.

Vargas, M. R.; Silva, V. P. (2005). Resistência ao fogo das estruturas de aço: IBS/CBCA. (Série Manual da Construção em Aço).

Veloso, L. B. C., Moura, N. C e Souza. (2010). Avaliação pós-ocupação de uma edificação estruturada em aço. Estudo de caso: O edifício da medicina da UFOP. Anais do XIX Congresso de Pós-Graduação da UFLA, v.1.

Westphal, F. S. e Lamberts, R. (2007). Análise do impacto de variáveis arquitetônicas e cargas internas no consumo de energia em condicionamento de ar de edificações comerciais. Anais do ENCAC 2007, Ouro Preto, MG.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Influence of apparent steel structure on the energy consumption and on the heat load used in the cooling of school buildings

Abstract

This article presents a study on the importance of the steel structure in simulations of the thermal behavior of detailed models. The objective of the study is to evaluate the influence of the apparent steel structure in the performance of an artificially conditioned school environment. A classroom of the Medicine Building on the campus of the Federal University of Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil, was analyzed using a computer simulation performed by the program *EnergyPlus* (version 4.0.0). The simulations considered five different cases in the treatment of the steel beams, and provided solutions to fire protection and thermal insulation of the structure. The results are related to the annual energy consumption and to the heat load used for the cooling of the ambience. The results were compared with each other and the maximum difference obtained was 2.5% in annual energy consumption and 4.1% in the load. The differences are relevant if it is considered that the area of steel structure only accounts for 6.3% of the total area of the opaque surfaces. It was observed that the apparent steel structure can contribute to the thermal comfort of rooms, if its ability to lose or gain heat through the beams webs is carefully exploited.

Keywords: steel structure, thermal simulation, energy efficiency.

1 Materials, methods and results

the methodology employed in the study comprises computational simulations using the program *EnergyPlus* (version 4.0.0) to calculate the annual energy consumption and the peak of heat load of a case study. The simulation was made considering the building global response concerning the existing thermal interactions between the external and the built environments. For the analysis, it was selected a classroom in a building of the Federal University of Ouro Preto (UFOP) that was built with apparent steel structure and was representative of the new school buildings on the campus (Figures 1 and 2).

The simulation was divided into cases according to the different kinds of protection of the steel beams. The basic case represents the real conditions of the building, and the other cases consider the providing of different treatments against fire in the beams and their thermal insulation. Although there are climatic differences between the two locations, due to the microclimate, in all cases it was used the climatic data of the city of Belo Horizonte, MG, Brazil, because the reference climatic year of Ouro Preto is not available. The simulation used the file TRY (Test Reference Year) for Belo Horizonte, available on the site of the program *EnergyPlus* (Doe, 2009).

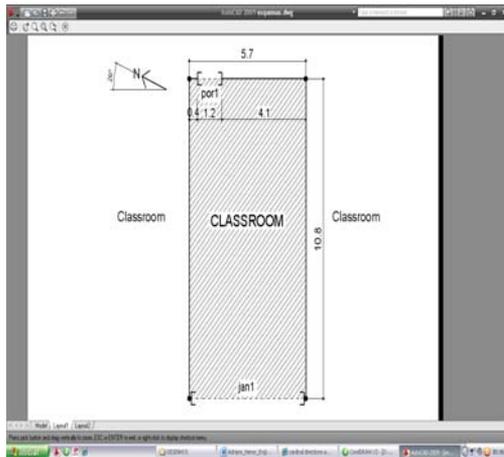


Figure 1: Blueprint of Classroom

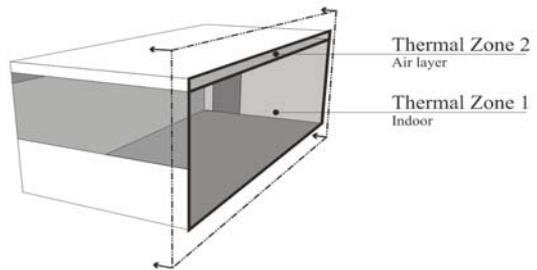


Figure 2: Distribution of the thermal regions

In the classroom under study, the steel structure is apparent on the southwestern, southeastern and northwestern façades and makes an interface with the exterior and with the environments adjoining the classroom (Figure 3). Inside the Thermal Region 1, only part of the profiles is exposed; this is due to the position of the ceiling, which separates the two main beams. Thus, in Thermal Region 1, only 30 cm of the two beams are exposed along the northwestern and the southeastern façades (Figure 4).

The vertical closings are made of different materials on each façade. On the southeastern and northwestern façades, the closings are made of different materials and layers. Part of the closing is in cellular concrete blocks ($e=10$ cm) internally and externally plastered ($e=2.0$ cm). The other component of those vertical closings is the main beams, which are 60 cm high and have 8-mm thick webs. The southwestern façade has a vertical closing consisting of a half wall made of cellular concrete blocks plastered on both faces, a window with horizontally swiveling frame and ordinary 3-mm wide glass, and a 30-cm high beam with a 4.75-cm thick web. The internal vertical closing that faces the connecting corridor is made of plastered cellular concrete blocks and has a hardboard door ($e=3$ cm). The roof consists of prefabricated concrete slab with trussed small beams and Styrofoam stuffing. The ceiling is in 8-mm wide PVC and the floor slab is made of a 10-cm thick concrete layer covered with *granilite* (Figure 5).

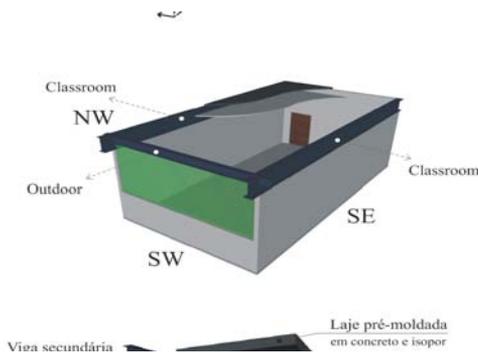


Figure 3: On-site arrangement of the beams



Figure 4: Inside view of Classroom 103

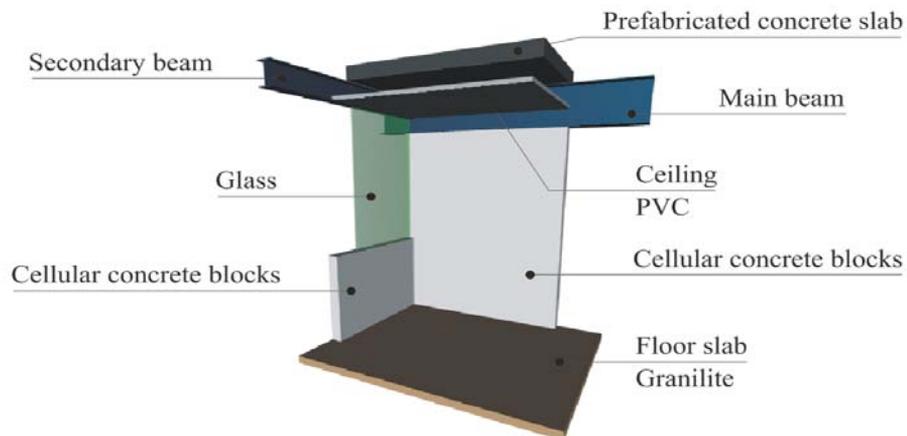
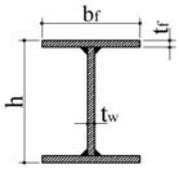
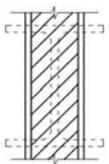
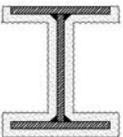
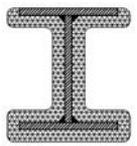
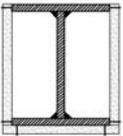
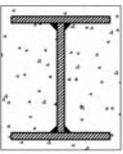


Figure 5: Composition of the vertical closings

It was considered as the usage of Classroom 103 (Thermal Region 1) the routine that happens during the daytime on weekdays along the whole year: activities begin at 8:00, then there is an interval from noon to 13:00, and activities end at 17:00. This routine was established for the internal loads and for turning on the air-conditioning. As inside sources of heat and humidity, it was considered electrical equipment (one computer with a projector – 180 W, with radiant heat fraction of 0.5), commercial fluorescent lighting (16 W/m^2), and people. It was considered 21 occupants wearing 0.5-clo resistant clothes (light clothes) and performing activities that deliver a heat rate of 130 W per person, with a radiant fraction of 0.3 as suggested by the ABNT NBR 16401:2008 Standard. Table 1 shows the types of simulated cases, the schemes for protection of steel beams and the thermal transmittance of each beam.

Table 1: Simulated cases

Cases	Description	Cross section	U (W/m ² .K)
Basic Case	<p>Represents the real conditions of the place. Structure composed by VS-series welded profiles without thermal or fire protection. Dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Main Beams (h = 600; b_r = 300; t_w = 8; t_f = 16 mm) - Secondary Beam (h = 300; b_r = 140; t_w = 4,75; t_f = 6,3 mm) <p>Note: Only the thickness of the profile web (t_w) was considered in the simulation geometric parameters.</p>		6,67
Case 1	<p>Ambience simulation disconsidering the structural system, i.e., substituting the beams by a vertical closing made of cellular concrete blocks (e=100 mm) plastered in both faces (e=20 mm).</p>		1,23
Case 2	<p>Steel beams coated by vermiculite-based projected mortar (e=15 mm). Contour-type finish obtained by direct blasting on the steel surface.</p>		2,85
Case 3	<p>Beams insulated by flexible materials like rock wool, which is largely employed in insulating air-conditioning ducts.</p>		0,79
Case 4	<p>Externally closing the beams using prefabricated materials like drywalls, forming an air-filled case.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Drywall slabs (e = 15 mm). 		2,29
Case 5	<p>The steel beams enclosed in concrete (e = 15 mm).</p>		3,11

The building is not provided with an artificial air-conditioning system, but in this research it was considered as having one, since the passive strategies adopted for the building design were not able to offer a suitable thermal comfort.

The infiltration was considered as having an invariable volume of air, calculated for the Thermal Region 1, based on the examples of Standard Ashrae (2005). The heating limit constant temperature was fixed in 18°C and the cooling one in 24°C. To allow a comparison between values, Figure 6 shows a summary of results.

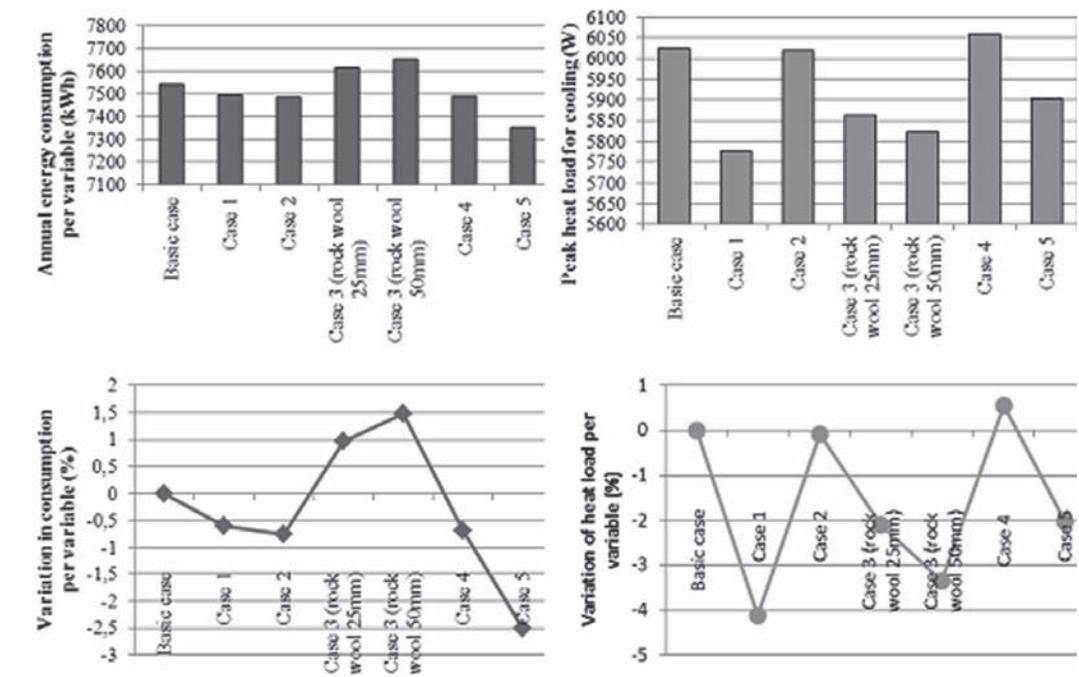


Figure 6: Annual energy consumption in kWh and thermal load in W, and respective variations for all cases

Conclusions

The results show that the largest energy consumption occurred when the thickest insulating coating was used ($e_{rock\ wool} = 50\text{ mm}$), while the highest peak in the thermal load occurred when the drywall air-filled case solution was used. As concerns the thermal load peak, the difference between the results is not sufficient to suggest air-conditioning systems with different capabilities.

It should be noted that in the case analyzed in this article the beams area only accounts for 6.3% of the total area of the classroom opaque surfaces. Depending on the weather and the room internal loads, both an increase in the apparent beam area and its orientation to the sun may interfere with the environmental comfort conditions, depending on the increase or decrease in heat gain.

Obviously, the results of this study cannot be extrapolated to other steel-structured edifications. But there is no doubt that it is worthwhile to include the steel structure in the energetic analysis of all kinds of edifications, for instance with the aid of a detailed model computational simulation, since knowing previously the magnitude of energy consumption and thermal load some air-conditioning system alternatives will provide, they can be rejected in advance by the designer.